



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA  
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

## IPv6

Luca Veltri

(mail.to: luca.veltri@unipr.it)

Corso di Reti di Telecomunicazioni C, a.a. 2004/2005

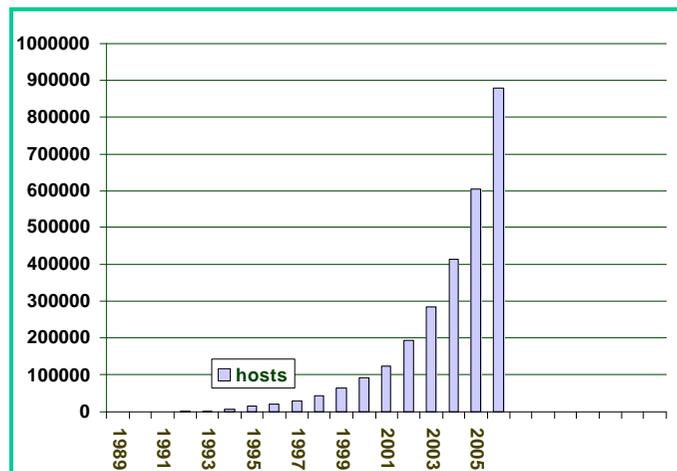
<http://www.tlc.unipr.it/veltri>

## IPv4

- RFC 791 del 1981
- Pressoché inalterato da 20 anni
- Maggiori problemi oggi:
  - Spazio di indirizzamento limitato
  - Dimensione delle tabelle di routing
  - Configurazione degli host
  - Sicurezza
  - Qualità di servizio
  - Gestione della mobilità

2

## Internet Host Count 1989-2006



Internet Hosts (000s)

3

## Problemi: Indirizzamento

- Crescente richiesta di nuovi indirizzi IP
- Dispositivi always-on
  - Connettività diretta (non commutata) ad Internet e.g xDSL, Cable modem, Fiber to the home
- Apparati mobili always-addressable
  - GPRS
  - UMTS (backbone IMS in IPv6)
- ISP al di fuori degli USA
- Cina ed altri paesi asiatici

4

## Problemi: Indirizzamento

- Soluzione attuale: estensivo uso del Network Address Translator (NAT/NAPT)
  - **Mapping di più indirizzi privati su un numero ristretto di indirizzi pubblici (tipicamente 1 solo indirizzo)**
  - **Riuso degli spazi di indirizzamento privati**
- Aspetti negativi del NAT
  - **Alcune applicazioni si devono gestire ad-hoc tramite ALG (FTP, DNS, ICMP, ...)**
  - **Limita l'impiego di nuove applicazioni**
  - **Impedisce l'uso di alcuni meccanismi di sicurezza standard (alcune configurazioni di IPsec )**

5

## Problemi: Tabelle di routing

- I router del backbone di Internet hanno bisogno di una conoscenza completa della topologia della rete (non hanno instradamenti di default)
- Circa 110.000 righe nelle tabelle dei router BGP
- Sarebbero enormemente di più senza il Classless Inter Domain Routing (CIDR - 1992)
- Limiti del CIDR
  - **Organizzazioni multi-homed**
  - **Organizzazioni che cambiano provider senza rinumerare**
  - **Indirizzi assegnati in modo non gerarchico e non restituiti**

6

## Problemi: Configurazione degli host

- Spesso manuale
- Necessità di rinumerazione se cambia l'ISP
- Può essere utile il DHCP

7

## Problemi: QoS, Sicurezza, Mobilità

- Sicurezza
  - **Sono state definite differenti meccanismi**
    - IPsec v4
    - SSL
    - SHTTP
  - **Non sono però intrinseci nel protocollo IP**
- Qualità di servizio
  - **Differenziated services**
  - **Integrated services**
    - Vantaggi e svantaggi per entrambe le soluzioni
    - Complessità
- Mobilità
  - **Mobile IP v4**
- Ogni nuova aggiunta ad IPv4 comporta aumenti di complessità

8

## IPv6 vs IPv4

- Formato ottimizzato del datagramma
  - il formato del datagramma è stato ottimizzato per rendere più efficiente il suo processamento
  - sono stati eliminati campi superflui e adottato uno schema di allineamento a 32 bit
- Identificativo di flusso
  - rende possibile distinguere i flussi emessi da una sorgente
  - apre la possibilità di un trattamento differenziato dei flussi in rete
- Indirizzamento a 128 bit

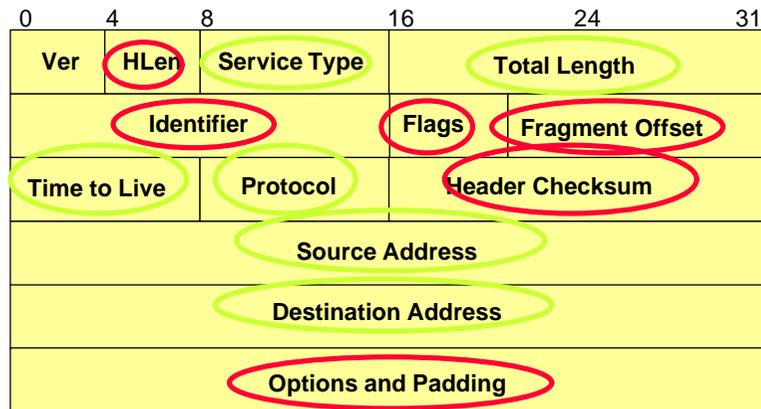
9

## IPv6 vs IPv4

- Eliminazione del header checksum
- Segmentazione effettuata solo dall'host sorgente
  - i router intermedi non possono segmentare un datagramma
- Estensioni dell'header
  - rendono possibile l'implementazione di opzioni
- Inclusione di procedure di security
  - supporto di meccanismi di autenticazione e confidenzialità a livello di rete

10

## Header IPv4



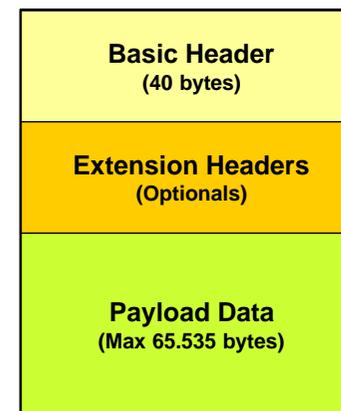
Modificato

Eliminato

- 20 ottetti + opzioni
- 13 campi obbligatori (di cui 1 composto da 3 bit di flag)

11

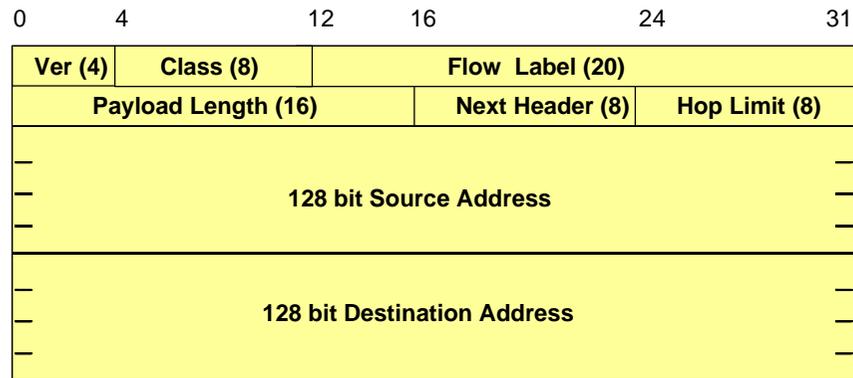
## Formato generale datagramma IPv6



- Basic header
  - contiene le informazioni comuni a tutti i datagrammi
- Extension Headers
  - contengono le opzioni utilizzate dai router intermedi e/o dall'host di destinazione
- Payload Data
  - sono i bit informativi elaborati dall'host di destinazione

12

## IPv6 Basic Header



- 40 ottetti
- 8 campi

13

## Spazio di indirizzamento IPv6

- Campi di indirizzo di 128 bit (16 byte)
  - n. di indirizzi IPv6 totale  $\approx 3.40 * 10^{38}$
  - **paria a  $\approx 6,65 * 10^{23}$  indirizzi/m2 di superficie della Terra**
  - **o anche un indirizzo ogni  $\approx 5 \text{ cm}^3$  di spazio nella sfera di raggio pari alla distanza Terra-Sole**
- In realtà, poiché 64 bit sono riservati per l'identificatore dell'interfaccia (indirizzi unicast), si avranno:
  - n. totale di reti IP  $\approx 1.8 * 10^{19}$
  - **paria a  $\approx 36.000$  reti IPv6 per m2 di superficie terrestre**

14

## IPv6 Basic Header

- Version (4 bit)
  - **versione del protocollo, è possibile la coesistenza di più versioni di IP**
- Traffic Class (8 bit)
  - **Originariamente definito il campo Priority di 4 bit (RFC 1883)**
  - **Stabilisce la classe di traffico o priorità del datagramma**
  - **Originariamente definite due classi di priorità**
    - Congestion Controlled Traffic: livelli 0 - 7
    - Noncongestion Controlled Traffic: livelli 8 - 15
  - **La relazione di priorità ha valore solo all'interno di una classe**
  - **Non è definita nessuna relazione di priorità tra datagrammi appartenenti a classi diverse**
  - **Definizione di algoritmi di scheduling nei router**

15

## IPv6 Basic Header

- Priority
  - **Livelli di priorità suggeriti (RFC 1883) per la classe Congestion Controlled Traffic**
    - 0 : no-specific priority
    - 1 : background traffic (e.g. news)
    - 2 : unattended data transfer (e.g. e-mail)
    - 3 : reserved
    - 4 : attended bulk traffic (e.g. file transfer)
    - 5 : reserved
    - 6 : interactive traffic (e.g. remote login)
    - 7 : control traffic (e.g. routing protocols and network mgmt)

16

## IPv6 Basic Header

- Flow label (20 bit)
  - Originariamente di 24bit (RFC 1883)
  - Ha lo scopo di identificare, insieme con il campo source address, un particolare flusso di datagrammi emessi da una sorgente
  - E' un numero scelto casualmente dall'host mittente nell'intervallo 1-0xFFFFFFFF (0 identifica traffico non associato a nessun flusso)
  - Consente di ridurre i tempi di elaborazione dei datagrammi nei router di rete
  - Consente di instradare i datagrammi in hardware mediante consultazione di tabelle di cache evitando l'applicazione della normale procedura di IP forwarding
  - Il life-time delle tabelle di cache è stato fissato in 6 secondi
  - Il concetto di flusso si adatta anche a procedure di riservazione di risorse per traffico con qualità di servizio garantita (protocollo RSVP)

17

## IPv6 Basic Header

- Payload Length (16 bit)
  - indica la lunghezza in byte del datagramma IP (escluso il basic header)
  - normalmente la lunghezza massima del payload è 65.535 byte; è possibile l'uso dell'opzione "jumbo payload" (hop-by-hop options header)
- Next Header (8 bit)
  - identifica quali header seguono il basic header nel datagramma

0	Hop-by-hop options header	46	Resource Reservation Protocol
4	Internet Protocol	50	Encapsulating Security Payload
6	Transmission Control Protocol	51	Authentication Header
17	User Datagram Protocol	58	Internet Control Message Protocol
43	Routing Header	59	No Next Header
44	Fragment Header	60	Destination Options Header

18

## IPv6 Basic Header

- Hop Limit (8 bit)
  - l'host sorgente indica il numero massimo di tratte di rete che il datagramma può attraversare
  - ogni router decrementa di una unità tale campo
  - se il contatore si azzerava prima che la destinazione sia raggiunta, il datagramma è scartato
  - evita gli effetti di eventuali loop in rete e può essere utilizzato per effettuare delle ricerche di host in rete a distanza prefissata
- Source e Destination Addresses (128 bit)
  - indicano gli indirizzi IP degli host sorgente e di destinazione

19

## IPv6: migliori prestazioni

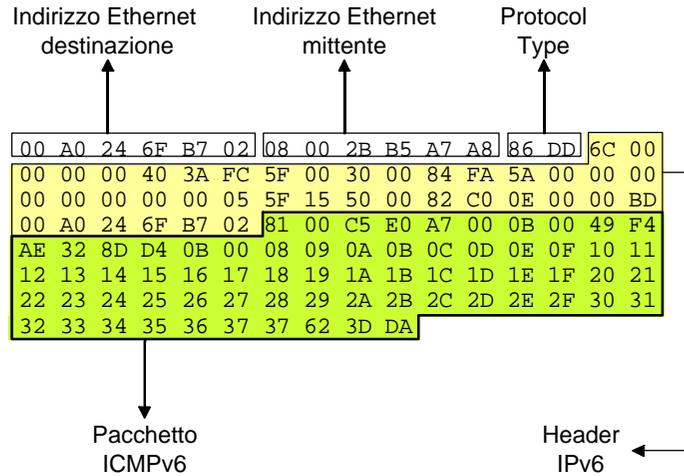
- IPv6 Header di dimensione fissa
  - Extension headers aggiuntivi se serve (non limitati a 40 bytes come in IPv4)
- Meno campi nell'intestazione
  - Elaborazione più veloce nella maggior parte dei casi
  - Non c'è più il checksum (che doveva essere ricalcolato per effetto della modifica del TTL)
- Elaborazione degli "Extension Header"
  - Per la maggior parte solo nell'host di destinazione
- Assenza di segmentazione nella rete



MAGGIORE SEMPLICITA' DI ESECUZIONE SU SILICIO

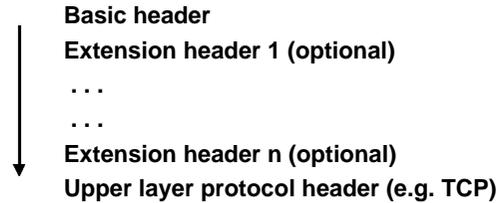
20

## Esempio di pacchetto IPv6



## IPv6 Extension Headers

- Meccanismo utilizzato per inviare informazioni aggiuntive alla destinazione o ai sistemi intermedi
- Sostituiscono le opzioni presenti nel header IPv4
- Tutti gli Ext. Header hanno lunghezza multipla intera di 8 ottetti (64 byte)
- Quando sono presenti più Extension Header il loro ordine non è arbitrario (ma stabilito nella RFC 1883)
- Nella maggior parte dei casi sono trattate solo dai nodi estremi



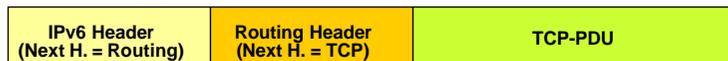
## IPv6 Extension Headers

- Gli Extension headers sono inseriti tra l'header IPv6 e l'header di protocollo superiore (es. TCP)

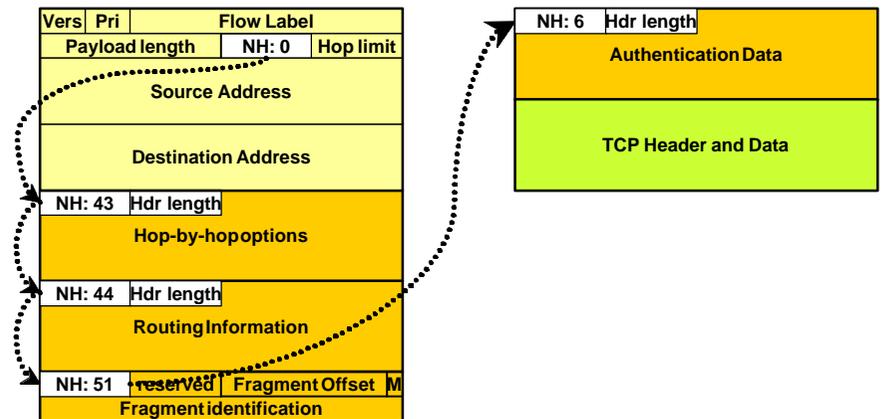
Pacchetto IPv6 "normale"



Esempi di pacchetti IPv6 con "Extension Headers"



## IPv6 Extension Headers



## IPv6 Extension Headers

- Sono definite i seguenti Extension Headers opzionali
  - Hop-by-hop option header
  - Routing header
  - Fragment header (solo destinazione)
  - Authentication header (solo destinazione)
  - Encapsulation security payload header (solo destinazione)
  - Destination options header (solo destinazione)
- Ogni intestazione opzionale (eccetto quelle per la sicurezza) contiene un puntatore alla prossima intestazione opzionale (Next header) e ha una lunghezza uguale a  $64 \cdot (1+n)$  bit, ove n è il contenuto del campo Header Extension Length

25

## IPv6 Extension Headers

- Hop-by-hop Options (Type=0)
  - Racchiude opzioni che coinvolgono tutti i router attraversati: es. Jumbo Option (per pacchetti >65.575 ottetti)
- Routing (Type=43)
  - Specifica una lista di router da attraversare (Strict o Loose)
- Fragment (Type=44)
  - I pacchetti senza questo header non possono essere frammentati. Se eccedono la MTU del link (MTU minima = 576 bytes in IPv6!!) devono essere scartati e ne viene data comunicazione alla sorgente, la quale potrà
    - i) diminuire la lunghezza dei successivi pacchetti o
    - ii) inviare pacchetti con l' EH Fragment
- Destination Options (Type=60)
  - Racchiude opzioni che devono essere elaborate solo nel/nei nodo/nodi di destinazione
- Authentication (Type=51)
- Encapsulating Security Payload (ESP) (Type=50)

26

## IPv6 Extension Headers

- L'ordine degli Extension Headers è il seguente
  - Hop-by-hop options header
  - Destination Options header (1)
  - Routing header
  - Fragment header
  - Authentication header
  - Encapsulating Security Payload header
  - Destination Options header
- (1) Nel caso di opzioni che devono essere elaborate anche dai nodi intermedi indirizzati nel Routing header

27

## Hop-by-Hop Options

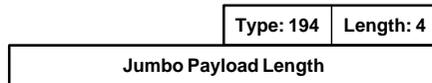
- Contiene le opzioni per ogni sistema intermedio sul percorso del datagramma
  - E' elaborato anche nei nodi intermedi
- E' costituito da un numero variabile di opzioni codificate come triplette TLV (Type-Length-Value)
  - Type (8 bit): indica il tipo di opzione
  - Length (8 bit): indica la lunghezza del campo value
  - Value: trasporta il valore dell'opzione e alcune indicazioni per il router utili per l'elaborazione dell'opzione
- Opzioni definite:

Type	Option	Size	Allineamento
0	Pad 1	1 byte	nessuno
1	Pad N	2+n bytes	nessuno
194	Jumbo Payload Length	2+4 bytes	4-n + 2

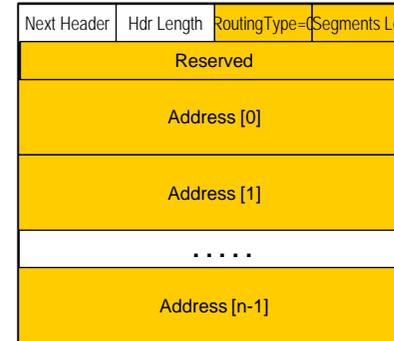
28

## Hop-by-Hop Options Header

- Pad1 e PadN options
  - servono a inserire degli ottetti di riempimento nell'header per questioni di allineamento
  - consentono di aumentare la velocità di elaborazione dei router
- Jumbo Payload Length Option
  - serve ad aumentare la lunghezza massima del datagramma rispetto a quanto consentito dal basic header
  - nel caso di tale opzione sia utilizzata il campo payload length del basic header deve contenere il valore 0

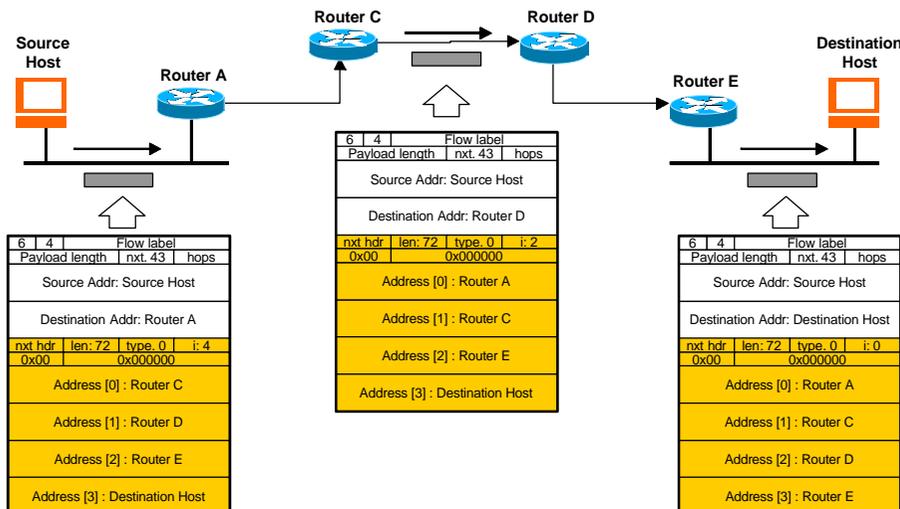


## Routing Header



- Fornisce ai router indicazioni per l'instradamento del datagramma, forzando l'uso di un particolare cammino
- Routing Type
  - identifica il tipo di routing (0)
- Segments left
  - indica il numero di indirizzi che devono essere ancora elaborati
  - ogni router indirizzato decrementa tale valore
- Address [i]
  - $i = n - (\text{Segments left})$
  - i-esimo router da utilizzare come destinazione intermedia lungo il percorso
  - l'i-esimo address viene scambiato con il destination address nel Header

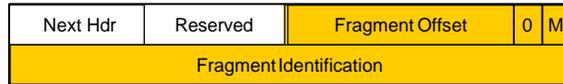
## Routing Header



## Fragment Header

- Header di lunghezza fissa pari a 64bit
- Usato per la segmentazione e ricostruzione dei datagrammi
- In IPv6 solo il nodo mittente può effettuare la frammentazione di un datagramma
  - Quando un nodo intermedio riceve un datagramma di lunghezza superiore alla MTU lo scarta e notifica l'errore al mittente tramite ICMP
- Ogni datagramma è composto da una parte non frammentabile e da una parte frammentabile
  - La parte non frammentabile è formata dagli header che devono poter essere elaborati anche nei nodi intermedi (Basic Header, Hop by Hop Header e Routing Header)
- Tutti i frammenti tranne l'ultimo hanno lunghezza multipla di 8 bytes

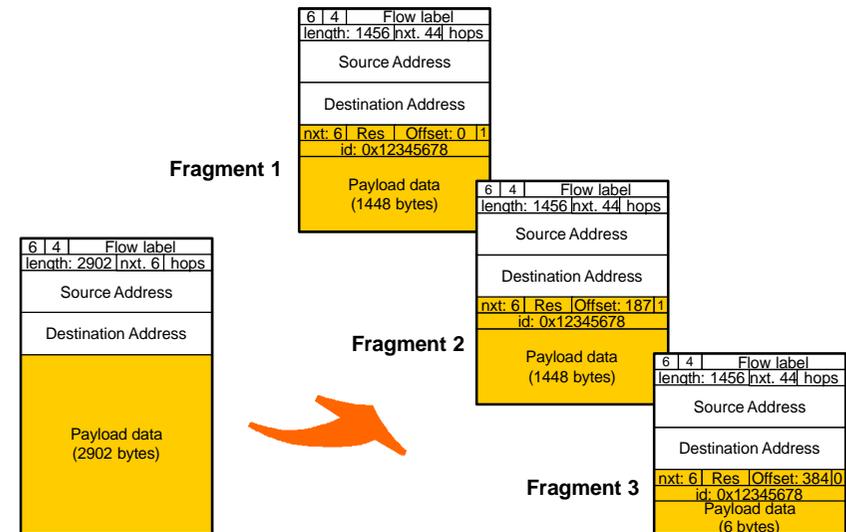
## Fragment Header



- Fragment Offset
  - **specifica la posizione (in unità di 8 bytes) del primo byte del frammento nel datagramma originale**
- Bit M (More Fragments)
  - **il suo valore è posto a 1 in tutti i frammenti del datagramma tranne l'ultimo in cui è posto ad 0**
- Fragment identification
  - **identifica il datagramma a cui il frammento appartiene**

33

## Fragment Header



34

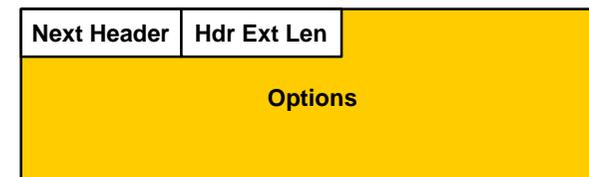
## Destination Options Header

- Trasporta informazioni che devono essere lette dal destinatario (o eventualmente da alcuni router intermedi)
  - **Se le Destination options sono effettivamente per l'utente finale, questa extension header è l'ultima**
  - **Se sono dirette ad un router intermedio, tale opzione è usata in unione con l'opzione routing header e precede quest'ultima**
- Si possono inserire due destination options per distinguere le informazioni dirette ai router intermedi da quelle dirette all'utente finale

35

## Destination Options Header

- Il campo Options ha lunghezza variabile e contiene una o più opzioni codificate come sequenze di triplette TLV (Type-Length-Value)
  - **Attualmente la RFC 2460 definisce solo le opzioni Pad1 e PadN (le stesse dell'Hop by Hop Extension Header)**



- Nota: nuove informazioni per il destinatario possono essere inserite come
  - **Destination options**
  - **Separato Extension header**

36

# Indirizzamento

## Indirizzamento

- Schema di assegnazione degli indirizzi gerarchico mirato a minimizzare le dimensioni delle tabelle di instradamento sui router
- Indirizzi globali per Internet e locali per Intranet
- Indirizzi associati alle interfacce e possibilità di avere più indirizzi per ogni interfaccia

38

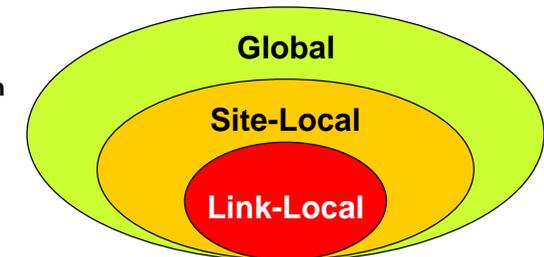
## Indirizzi IPv6: Categorie

- Gli indirizzi IPv6 possono essere:
  - **Unicast**
    - analogo ad IPv4
  - **Multicast**
    - analogo ad IPv4
  - **Anycast**
    - Un indirizzo IPv6 anycast è un indirizzo assegnato a più di una interfaccia
    - Un pacchetto inviato ad un indirizzo anycast viene instradato verso la più vicina interfaccia con quell'indirizzo, in accordo alla distanza rilevata dal protocollo di routing
- Sono stati eliminati gli indirizzi broadcast

39

## Indirizzi IPv6: Visibilità

- Come in IPv4
  - **gli indirizzi sono assegnati alle interfacce**
  - **un'interfaccia può avere più indirizzi**
- A differenza di IPv4
  - **Gli indirizzi hanno un ambito di validità**
    - Link Local
    - Site Local
    - Global
- Ogni interfaccia deve avere almeno un indirizzo unicast "link-local"



40

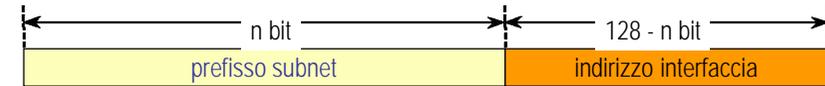
## Indirizzi IPv6: Notazione esadecimale



- Rappresentati in esadecimale come 8 blocchi da 16 bit separati da “:” `2080:0000:0000:0040:0200:A00B:0000:1234`
- Semplificazioni:
  - in ogni blocco si possono omettere gli zero iniziali
    - `2080:0:0:40:200:A00B:0:1234`
  - si può sostituire una SINGOLA serie di più uno o più blocchi consecutivi da 16 bit tutti a zero con “::”
    - `2080::40:200:A00B:0:1234`
- Gli indirizzi di compatibilità IPv4 si scrivono:
  - `0:0:0:0:0:A00:1`
  - `::A00:1`
  - `::10.0.0.1`

41

## Indirizzi IPv6: Notazione CIDR



- Scompare il concetto di Netmask, sostituito da quello di “Prefix” che indica:
  - Il tipo di indirizzo
  - La sottorete a cui appartiene l'interfaccia
- Il prefix si indica aggiungendo ad un indirizzo “/N”, dove N è la lunghezza in bit del prefix
- Esempio:
  - `FEDC:0123:8700::1:2:3:4 /36`

42

## Indirizzi IPv6: Spazio di indirizzi

- Gli indirizzi IPv6 iniziano con un primo campo di lunghezza variabile chiamato “Type prefix”



- Il “Type prefix” identifica la tipologia di indirizzo
  - Unspecified
  - Loopback
  - IPv4 compatible e IPv4 mapped
  - NSAP address
  - IPX address
  - Local use IPv6 unicast address
    - site local
    - link local
  - Multicast Addresses
  - Aggregatable Unicast address

43

## Indirizzi IPv6: Spazio di indirizzi

Allocazione	Prefisso	Frazione dello spazio totale
Reserved	0000 0000	1/256
Reserved	0000 0001	1/256
NSAP (Network SAP)	0000 001	1/128
IPX (Novell)	0000 010	1/128
Reserved	0000 011	1/128
Reserved	0000 1	1/32
Reserved	0001	1/16
Reserved	001	1/8
Provider based unicast	010	1/8
Reserved	011	1/8

44

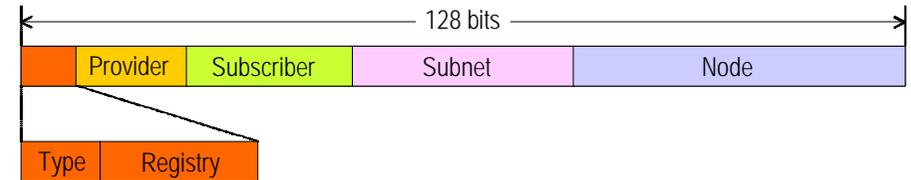
## Indirizzi IPv6: Spazio di indirizzi

Allocazione	Prefisso	Frazione dello spazio totale
Geographical unicast	100	1/8
Reserved	101	1/8
Reserved	110	1/8
Reserved	1110	1/16
Reserved	1111 0	1/32
Reserved	1111 10	1/64
Reserved	1111 110	1/128
Reserved	1111 1110 0	1/512
Link-Local unicast	1111 1110 10	1/1024
Site-Local unicast	1111 1110 11	1/1024
Multicast	1111 1111	1/256

45

## Provider-based Unicast Addresses

- Utilizzati solitamente dai normali host come indirizzi unicast



- Type ID (3 bit)
  - identifica il tipo Provider-based unicast
- Registry ID (5 bit)
  - identifica l'autorità/agenzia che ha registrato l'indirizzo
    - INTERNIC (11000) - for North America
    - RIPNIC (01000) - for Europe
    - APNIC (10100) - for Asia and Pacific area

46

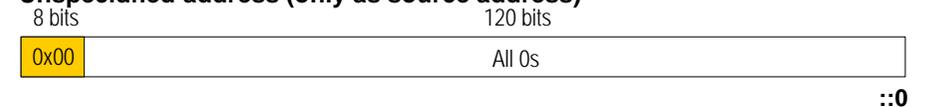
## Provider-based Unicast Addresses

- Provider ID (variable - 16 bit recommended)
  - l'Internet access provider (ISP)
- Subscriber ID (variable - 24 bit recommended)
  - l'organizzazione che accede tramite l'ISP
- Subnet ID (variable - 32 bit recommended)
  - ogni organizzazione (subscriber) può avere differenti sottoreti
- Node ID (variable - 48 bit recommended)
  - identifica il nodo connesso alla sottorete
  - potrebbe coincidere con il MAC address

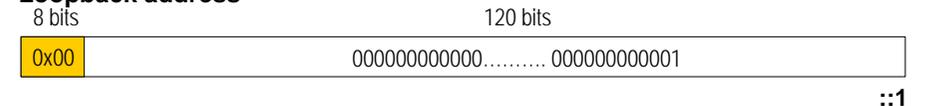
47

## Reserved Addresses with prefix 0x00

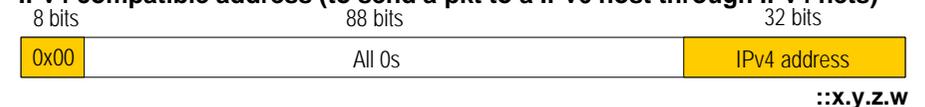
### Unspecified address (only as source address)



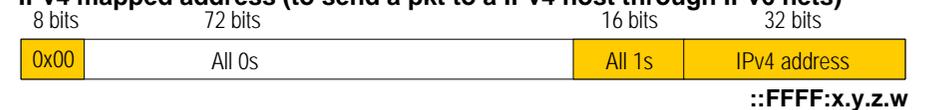
### Loopback address



### IPv4 compatible address (to send a pkt to a IPv6 host through IPv4 nets)



### IPv4 mapped address (to send a pkt to a IPv4 host through IPv6 nets)



## Local Addresses

### Link local address (only within a subnet, e.g. LAN)



### Site local address (only though private subnets)



49

## Indirizzi Anycast

- Formalmente identici agli indirizzi Unicast
- Assegnati simultaneamente a più interfacce
  - Indicano il server più vicino al mittente che fornisce un dato servizio
  - Sono instradati dai router come indirizzi unicast
  - Nell'ambito della area topologica identificata dal "subnet prefix" ogni singola interfaccia appartenente al gruppo è annunciata individualmente dai protocolli di routing
  - I nodi a cui sono assegnati indirizzi anycast sono esplicitamente configurati per sapere che il loro indirizzo è di tipo anycast

- Sino ad ora è stato definito un solo indirizzo anycast:

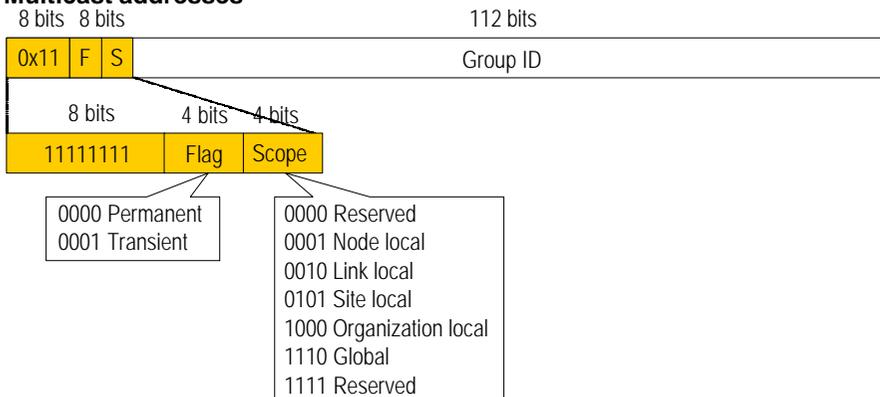
- subnet router anycast address:



50

## Multicast Addresses

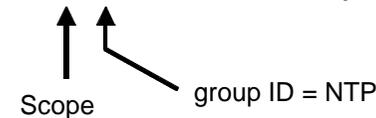
### Multicast addresses



51

## Multicast Addresses: Esempio

- NTP: Network Time Protocol
  - FF01::43 - tutti i server NTP sul nodo mittente
  - FF02::43 - tutti i server NTP sullo stesso link del mittente
  - FF05::43 - tutti i server NTP nello stesso sito del mittente
  - FF08::43 - tutti i server NTP nell'organizzazione mittente
  - FF0E::43 - tutti i server NTP presenti sulla rete



52

# ICMPv6

## ICMPv6

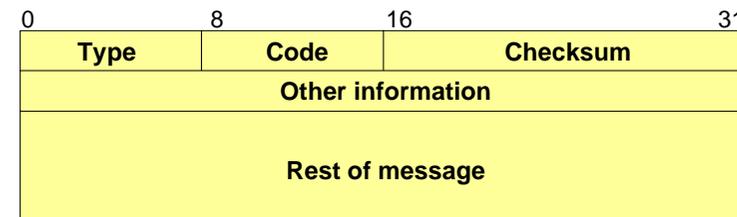
- Internet Control Message Protocol per IPv6, Ha tre impieghi principali:
  - Diagnostica
  - Neighbor Discovery
  - Gestione dei gruppi multicast
  
- Svolge le funzionalità che in IPv4 erano suddivise tra:
  - ICMP
  - ARP (Address Resolution Protocol)
  - IGMP (Internet Group Membership Protocol)

## Messaggi ICMPv6

- ICMPv6 prende il posto di
  - ICMPv4
  - ARP
  - IGMP
- ICMPv6 prevede due classi di messaggi
  - messaggi di errore (Error reporting)
  - messaggi di informazione (Query)
- I messaggi di informazione a loro volta comprendono tre tipi di messaggi
  - diagnostica (echo)
  - messaggi per la gestione dei gruppi multicast
  - messaggi per la funzione di Neighbor Discovery

## Formato del pacchetto ICMP

- Il messaggio ICMPv6 è trasportato in un pacchetto IPv6 ed è indicato dal valore 58 nel campo Next Header
  - La dimensione complessiva di un pacchetto ICMPv6 non deve superare 576 bytes (MTU garantita da qualunque link)



- Type (8 bits)
  - indica il tipo di messaggio ICMPv6
- Code (8 bits)
  - specifica la ragione del particolare messaggio

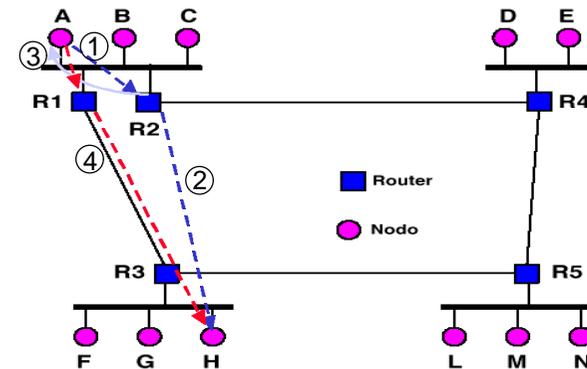
## Messaggi ICMPv6

- Error Reporting: 5 tipi di errori
  - destination unreachable
  - packet too big
  - time exceeded
  - parameter problems
  - redirection
  
- Query: 4 tipi di eventi
  - Echo request and reply
  - Router solicitation and advertisement
  - Neighbor solicitation and advertisement
  - Group management

57

## Redirection

- Suggerisce il miglior next hop
- Serve anche ad evitare il passaggio attraverso un router nello scambio di pacchetti tra host appartenenti a due subnet diverse sullo stesso link



58

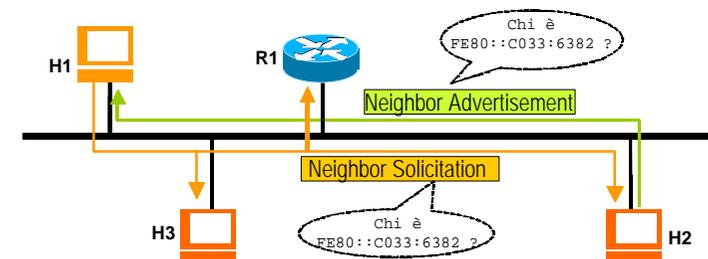
## Neighbor Discovery

- Riguarda l'interazione tra nodi collegati ad un medesimo link (sottorete)
- Neighbor Discovery consente di:
  - localizzare i router attestati e individuare quali prefissi di rete sono configurati sul collegamento
  - autoconfigurazione dell'indirizzo IP
  - individuare la duplicazione di indirizzi IP
  - provvedere a far tradurre l'indirizzo IP nel corrispondente indirizzo Link layer

59

## Neighbor Discovery

- Neighbor Solicitation
  - Inviato da un host per determinare l'indirizzo "Link Layer" di un vicino, o per verificare che il vicino sia ancora raggiungibile
  - Usato anche per Duplicate Address Detection
  - Indirizzo: `FF02:0000:0000:0000:0001:xxxx:yyyy`
    - dove xxxx:yyyy sono i 32 bit meno significativi dell'indirizzo IPv6 sollecitato
- Neighbor Advertisement
  - Risposta al messaggio di Neighbor Solicitation
  - Può essere inviato anche per notificare un cambiamento di indirizzo



60

## Address Resolution

- Consente di tradurre un indirizzo IP nel corrispondente indirizzo Link Layer (e.g. MAC address)
- In IPv4 è realizzato tramite ARP
- In IPv6 è realizzato dallo strato IP tramite ICMP
- Si basa su IP multicast
  - consente un risparmio di elaborazione rispetto al broadcast
- Per risolvere un indirizzo IP nel corrispondente indirizzo MAC
  - viene inviata una richiesta ICMP di tipo Neighbor Solicitation
  - il messaggio contiene il proprio indirizzo IP, il proprio indirizzo MAC e quello IP della destinazione
  - viene inviato ad 1 indirizzo multicast ottenuto facendo seguire a un prefisso multicast convenzionale (prefisso FF02::1/96) gli ultimi 32 bit dell'indirizzo IP della destinazione
  - il destinatario risponde con un Neighbor Advertisement in cui è inserito il proprio indirizzo MAC
- Le risposte sono memorizzate in una memoria cache

61

## Host Autoconfiguration

- IPv6 consente differenti forme di autoconfigurazione, che permettono di interconnettere gli host in modo Plug-and-Play
- 2 approcci Plug-and-Play:
  - **Stateful**
    - DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol) simile ad IPv4
    - prevede lo scambio di informazioni di configurazione tra il nodo che deve configurare l'indirizzo e un server secondo il protocollo DHCPv6
    - Permette di controllare in modo più diretto l'assegnazione degli indirizzi
  - **Stateless**
    - Colloquio tra Host e Router
    - il prefisso di rete è ottenuto tramite una procedura che strutta messaggi ICMP Router Solicitation/Advertisement
    - il nodo ricostruisce il proprio indirizzo da solo, concatenando il prefisso di rete all'indirizzo PH/DL (e.g. MAC address)
    - Usata quando non ci sono particolari esigenze di attribuire specifici indirizzi agli host
  - **Le due modalità possono coesistere**

62

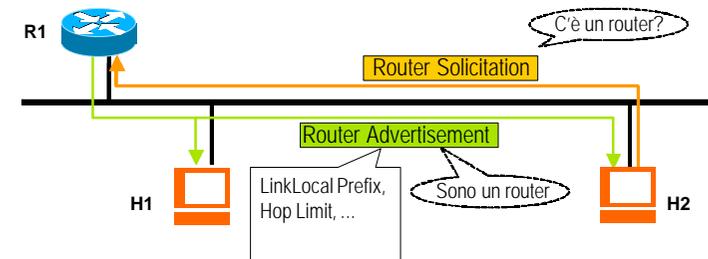
## Router Discovery

- Router Discovery
  - Individuare i router attestati al collegamento e i prefissi di rete su di esso configurati
  - permettere la Stateless Address Autoconfiguration dei nodi del link
  - permettere ai nodi di determinare per ogni loro interfaccia lo stato di "on link" ovvero "off link"
- I router periodicamente inviano in rete messaggi di Router Advertisement
  - Questi messaggi contengono varie informazioni, tra cui
    - indirizzo link-local del router
    - la lista dei prefissi di rete configurati sul collegamento
    - MTU sul link
    - vari parametri (timeout..)
- Le macchine terminali possono così individuare quali destinazioni sono direttamente raggiungibili
- I router possono essere "sollecitati" tramite ICMP Router Solicitation

63

## Router Discovery

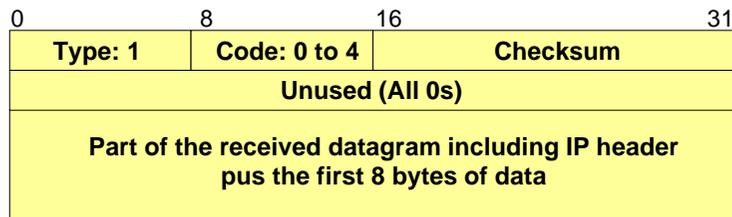
- Router Solicitation
  - Inviato da un host che attiva un'interfaccia; ha come destination address l'indirizzo multicast "all-router"
- Router Advertisement
  - Il router annuncia la sua presenza, fornisce i prefissi da usare sul link, suggerisce il parametro di hop limit, MTU, etc.
  - Periodicamente o in risposta ad un Router Solicitation



64

## Destination unreachable

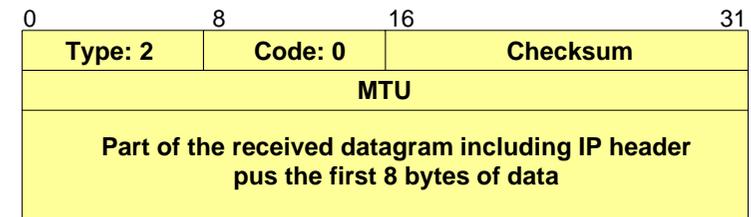
- Destination unreachable (type=1)
  - no path to destination (code=0)
  - communication is prohibited (code=1)
  - strict source routing is impossible (code=2)
  - destination address is unreachable (code=3)
  - port is not available (code=4)



65

## Packet too big

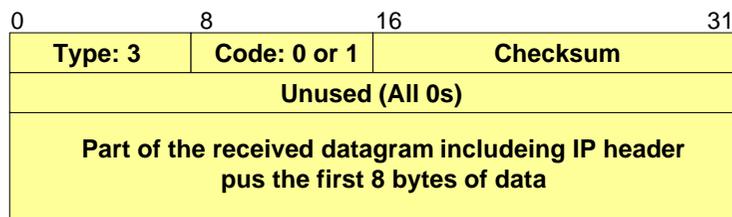
- packet too big (type=2)
  - code=0



66

## Time exceeded

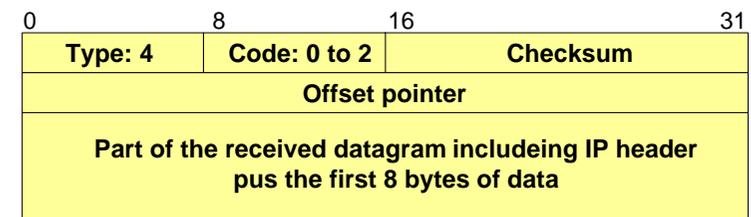
- Time exceeded (type=3)
  - code=0 when a datagram is discarded
  - code=1 when a fragment is discarded



67

## Parameter problems

- Parameter problems (type=4)
  - error or ambiguity in one header field (code=0)
  - unrecognized extension header (code=1)
  - unrecognized option (code=2)



68

## Redirection

- Redirection (type=137)

➢ code=0

0	8	16	31
Type: 137	Code: 0	Checksum	
Target (router) IP address			
Destination IP address			
OPT. code	OPT. length		
Target (router) PH address			
Part of the received datagram including IP header plus the first 8 bytes of data			

69

## Echo request and reply

- Echo request and reply (type=128 and 129)

➢ Echo request (type=128, code=0)

➢ Echo reply (type= 129, code=0)

0	8	16	31
Type: 128-129	Code: 0	Checksum	
Identifier		Sequence number	
Optional data repeated by the reply			

70

## Router solicitation and advertisement

- Router solicitation (type= 133, code=0)

Type: 133	Code: 0	Checksum	
Unused (All 0s)			
OPT. Code:1	OPT. length		
Host PH address			

- Router advertisement (type= 134, code=0)

Type: 134	Code: 0	Checksum	
Max hop	M/O	Unused	Router lifetime
Reachability lifetime			
OPT. Code: 1	OPT. length		
Router PH address			
OPT. Code: 1	OPT. length	Unused (All 0s)	
MTU size			

71

## Neighbor solicitation and advertisement

- Neighbor solicitation (type=135, code=0)

Type: 135	Code: 0	Checksum	
Unused (All 0s)			
Target IP address			
OPT. Code: 2	OPT. length		
Solicitor PH address			

- Neighbor advertisement (type=136, code=0)

Type: 136	Code: 0	Checksum	
R/S	Unused (All 0s)		
Target IP address			
OPT. Code: 2	OPT. length		
Target PH address			

72

## Group management

- Query (type=130, code=0)

Type: 130	Code: 0	Checksum
Maximum response delay		Reserved
IP multicast address		

- Report (type=131, code=0)
- Termination (type=132, code=0)

Type: 131-132	Code: 0	Checksum
Reserved		
IP multicast address		

73

## Sicurezza

## Sicurezza in IPv6

- Il protocollo IPv6 comprende funzionalità per assicurare
  - l'autenticazione dei dati scambiati, cioè che il pacchetto
    - non sia stato alterato durante il transito in rete
    - sia stato emesso effettivamente dal sender indicato nel datagramma
  - la confidenzialità dello scambio informativo, ovvero la sicurezza che i dati non siano utilizzabili da altri se non il destinatario
- IPv6 utilizza due appositi Extension Headers:
  - Authentication Header (AH)
  - Encapsulating Security Payload (ESP)

75

## Sicurezza in IPv6

- Sia AH che ESP sfruttano il concetto di Security Association (SA) che specifica:
  - l'algoritmo di encryption (default: Message digest 5 - MD5)
  - le chiavi di di codifica
  - la durata limite dell'associazione
  - tipo di protezione (e.g. secret, top secret, etc.)
- Per ogni comunicazione sicura in corso il nodo IPv6 gestisce una SA diversa, che è individuata da un SPI (Security Parameter Index)
- La negoziazione di una SA (e quindi del relativo SPI) è parte integrante dell'algoritmo di scambio delle chiavi

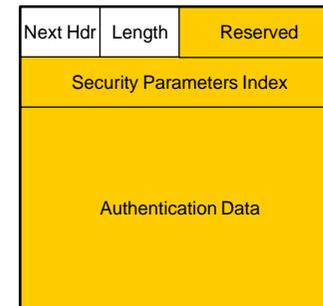
76

## Authentication Header

- Assicura che il datagramma sia autentico
  - non sia stato alterato durante il transito in rete
  - sia stato emesso effettivamente dal sender indicato nel datagramma, in modo da evitare attacchi di:
    - IP spoofing (falsificazione dell'indirizzo IP del mittente)
    - Connection Hijacking (inserimento in una comunicazione in corso)

77

## Authentication Header



- Security Parameter Index (SPI) (32 bit)
  - definisce la security association
  - è usato in associazione con l'indirizzo di destinazione
- Authentication data (multiplo di 32 bit)
  - Se è utilizzato l'algoritmo MD5 la lunghezza è di 16 bytes
  - I 128 bit di questo campo sono calcolati dall'algoritmo MD5 sulla base di
    - i bit del datagramma
    - la chiave segreta di encryption del sender
- il ricevente verifica l'autenticità del datagramma, compiendo l'operazione inversa mediante la stessa chiave

78

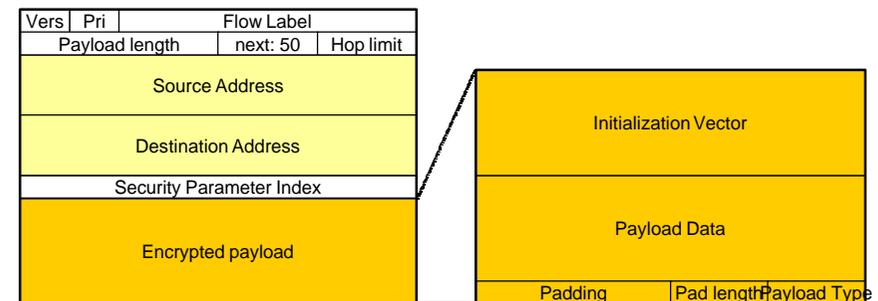
## Encapsulating Security Payload Header

- Assicura la confidenzialità dello scambio informativo
  - Viene utilizzato per evitare attacchi di Packet Sniffing
- E' sempre l'ultimo header nella catena
  - Viene utilizzato per crittografare il contenuto del payload che lo segue immediatamente
  - Esso stesso è solo parzialmente in chiaro

79

## Encapsulating Security Payload Header

- è costituito dal SPI (in chiaro) e dal payload criptato
- L'Encrypted Payload è preceduto dal vettore di inizializzazione
- Il padding è usato per portare la lunghezza complessiva ad un multiplo di 64 byte
- Il campo payload type ripete il contenuto del campo Next Header



80

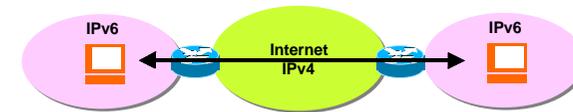
## Transizione verso IPv6

### La transizione ad IPv6

- Elemento chiave per una transizione con successo ad IPv6 è la compatibilità con la base installata IPv4
- Durante la fase di transizione sono necessari meccanismi per:
  - Permettere il colloquio tra nuovi host IPv6 e la Internet preesistente IPv4



- Realizzare connettività tra isole IPv6 utilizzando l'infrastruttura IPv4



- Inoltre, reti IPv6 verranno utilizzate per interconnettere reti IPv4 (e.g. backbone UMTS)

82

### La transizione ad IPv6

- Lo sviluppo della rete IPv6 avverrà in modalità sovrapposta
  - **Dual stacked nodes**
    - i nodi implementano entrambe le pile protocollari IPv4 e IPv6
  - **Tunneling**
    - il traffico IPv6 viene trasportato da IPv4 mediante tunnel
- E tramite meccanismi di traduzione
  - **protocol translation**
    - il traffico IPv6 viene tradotto in IPv4 e viceversa

83

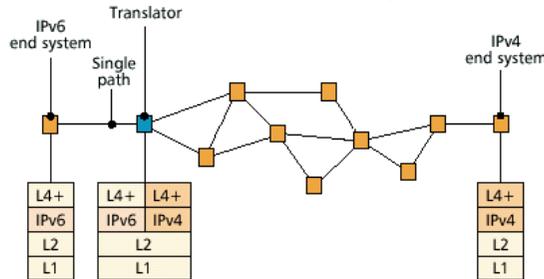
### Transition mechanisms

- Transition mechanisms generally come in one of three forms
  - **Dual stack**
  - **Translation**
  - **Tunneling**
- Dual stack
  - **two protocol stacks are separately maintained and operate in parallel**
  - **the device can operate via either protocols**
  - **can be implemented in both end systems and network nodes**
    - in end systems: it enables both IPv4 and IPv6 applications to operate on the same node
    - in network nodes: it allows handling of both IPv4 and IPv6 packets

84

## Transition mechanisms (cont.)

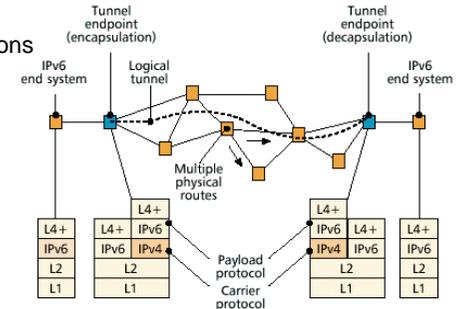
- Translation
  - direct conversion of protocols
  - can occur at different layer in the protocol stack
  - often results in feature loss where there is not clear mapping (e.g. QoS)
  - can be either stateless or stateful
  - can be performed by end-systems or network nodes
  - in the latter case, it is considered “transparent”



85

## Transition mechanisms (cont.)

- Tunneling
  - used to bridge compatible nodes (e.g. IPv6) across incompatible networks (e.g. IPv4)
  - IPv6-over-IPv4 or IPv4-over-IPv6
  - main problem is the configuration of tunnels (on tunnel endpoints)
  - tunnel endpoint addresses are generally attained:
    - manually or by tools (e.g. tunnel broker)
    - through existing services such as DNS or DHCP options
    - by embedding information in the link layer addresses or IP addresses



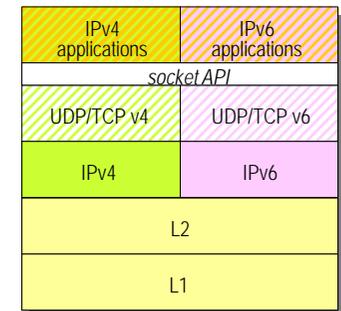
## Transition mechanisms (cont.)

Name	Connectivity	Type	Location
Dual stack	4-to-4 over 4, 6-to-6 over 6	Dual stack	In single ES or ND
SIIT	6-to-4, 4-to-6	Translator	In single ES or ND
Bump-in-Stack (BIS)	4-to-6	Translator	In single ES
Bump-in-API (BIA)	4-to-6	Translator	In single ES
NAT-PT	6-to-4, 4-to-6	Translator	In single ND
MTP	4-to-6, 4-to-6 (multicast)	Translator	In single ND
TRT	6-to-4	Translator	In single ND
SOCKS64	4-to-6, 4-to-6	Translator	Between ES and ND
6over4	6-to-6 over 4	Tunnel	Between ES and ND
ISATAP	6-to-6 over 4	Tunnel	Between ES and ND
DSTM	4-to-4 over 6	Tunnel	Between ES and ND
Configured IP-in-IP	6-to-6 over 4, 4-to-4 over 6	Tunnel	Between ES and ND, two NDs or two ESs
6to4	6-to-6 over 4	Tunnel	Between two NDs

87

## Dual stack [RFC 2893]

- A node installs both IPv4 and IPv6 stacks in parallel
  - IPv4 applications use IPv4 stack
  - IPv6 applications use IPv6 stack
- Flow decisions are based on
  - IP header version field, for receiving
  - destination address type, for sending
- Address types typically come from DNS lookups (maintains both IPv4 and IPv6 addresses)
- Many OSs already provide dual IP stacks
- Dual stack only enables communications between compatible nodes
  - IPv6-to-IPv6 or IPv4-to-IPv4
- Often used in combination with other mechanisms (e.g. tunnels)



88

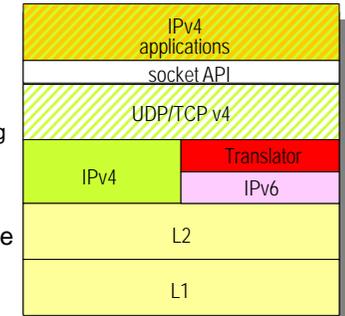
## Translation mechanisms

- Basically consists on converting IP and ICMP packets
- Stateless IP/ICMP Translation (SIIT) [RFC 2765]
  - bidirectional translation between IPv4-IPv6 and ICMPv4-ICMPv6
  - ignores many IPv6 extension headers and IPv4 options
  - translation mechanism does not affect UDP and TCP pseudo-header checksums
  - two SIIT mechanisms are BIS (Bump in the Stack) and NAT-PT (see later)
- Translation can occur in network nodes or in the end systems
- In case of end systems, translation may occur at different layers
  - e.g. BIS (Bump in the Stack) or BIA (Bump in the API)

89

## Translation mechanisms: Bump-in-the-Stack

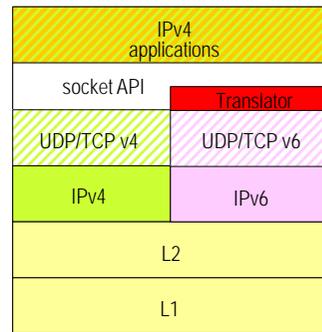
- Bump-in-the-Stack (BIS) [RFC 2767]:
  - comprises a TCP/IPv4 module and a translator module
  - packets from IPv4 applications flow into the TCP/IPv4 module
  - here, packets are translated into IPv6 and forwarded into the IPv6 module
- Three bump components:
  - extension name resolver
    - snoops DNS lookups to decide whether the peer node is IPv6-only
  - address mapper
    - allocates a temporary IPv4 address for the IPv6 peer and caches the address mapping
  - translator
    - translates packets between IPv4 and IPv6
- Since temporary IPv4 address are not visible outside the node, it doesn't work with address-dependent applications



90

## Translation mechanisms: Bump-in-the-API

- Bump-in-the-API (BIA):
  - a translator module inserted directly within the socket API
  - in such way it avoids translation of IP packets (allowing, for example, IP level security)
  - avoids modification of the OS kernel (IPv4/IPv6 stacks)
- Three bump components:
  - name resolver
    - similar to BIS
  - address mapper
    - similar to BIS
  - function mapper
    - intercepts IPv4 socket function
    - calls and translates them to the equivalent IPv6 socket calls
- As with BIS, BIA doesn't work with address-dependent applications



91

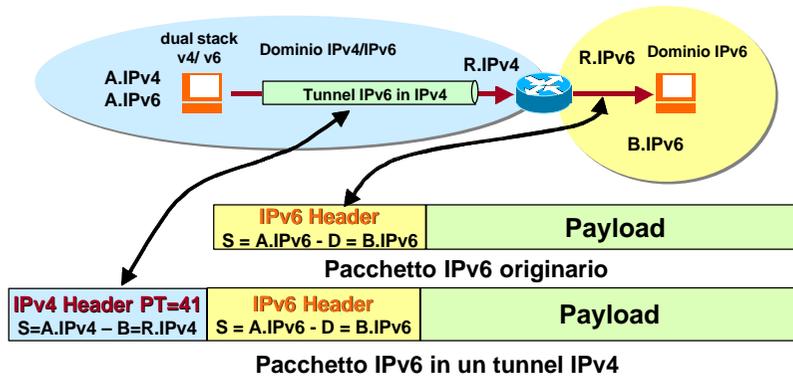
## Translation mechanisms: NAT-PT

- Translator can be implemented in the network
  - avoiding increased complexity in end systems (scalable solution for end systems)
  - due to the heavy process load, it is suitable at network edge
- Network Address Translation-Protocol Translation (NAT-PT) [RFC 2767]
  - stateful IPv4/IPv6 translator (SIIT)
  - acts as a communication proxy towards IPv4 peers
  - serves multiple IPv6 nodes allocating a temporary IPv4 address to each
  - allocation is triggered either
    - by the first outbound IPv6 packet (using an IPv4-compatible IPv6 destination address) or
    - by the inbound IPv4 DNS lookup (from the peer) arriving at a co-located Application Level Gateway (ALG)
  - due to stateful behavior, each session must be routed via the same NAT-PT device

92

## Tunneling di IPv6 su IPv4

- Il pacchetto IPv6 è inserito in un pacchetto IPv4 con campo *protocol* = 41



93

## Tunneling mechanisms: "6over4"

- 6over4 [RFC 2529]
  - an IPv4 multicast domain (network) is view as IPv6 link (local network)
  - 6over4 embeds IPv4 addresses in the IPv6 address link layer identifier part (i.e., last 64 bits) and
  - it defines Neighbor Discovery (ND) over IPv4 by using organization-local multicast
- In 6over4, IPv4 network behaves as a virtual LAN
  - a sender resolves the IPv6 target address (i.e., that of the offlink router or isolated end system) on the virtual LAN via ND
  - the resulting address bears the destination tunnel endpoint's IPv4 address
- 6over4 maintains all of the features of IPv6
  - including end-to-end security and stateless auto-configuration
  - supports multicast by defining a mapping between IPv6 multicast addresses and IPv4 organization-local multicast addresses

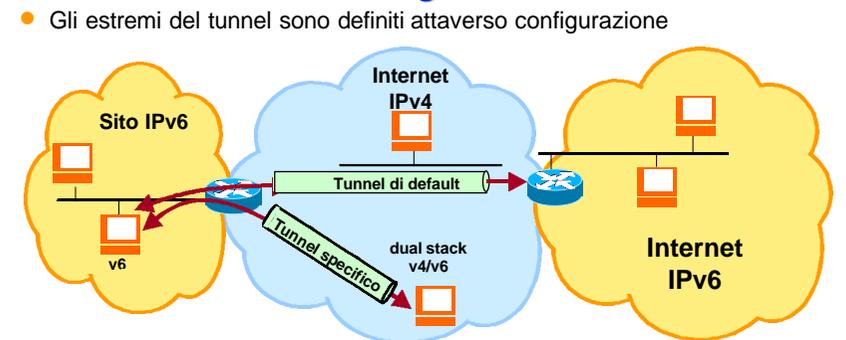
94

## Tunneling mechanisms: Configured Tunneling

- Configured IP-in-IP Tunneling
  - nodes within the network are statically configured to perform tunneling
  - tunneling parameters are managed either
    - through manual data entry or
    - via some automated service provided by a tunnel broker
- Tunnel brokers alleviate the management effort required
  - their services are generally provided through Web-based applications

95

## Tunneling Statico

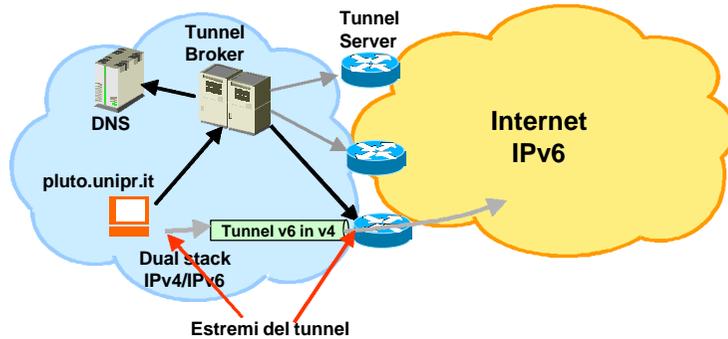


- Gli estremi del tunnel sono definiti attraverso configurazione
- Un router di bordo di un sito IPv6 può avere configurato un *Tunnel di Default* che gli permette di raggiungere il resto della rete IPv6
- Si possono configurare altri tunnel per raggiungere destinazioni specifiche
- Grosso onere di gestione per gli amministratori*

96

## Tunnel Broker [3053]

- I Tunnel Broker (TB) possono essere visti come ISP IPv6 virtuali
- La lista dei TB disponibili viene collocata su una pagina web "Well Known"
- L'utente sceglie un TB (il più vicino, economico ...)
- L'utente si registra sul TB che gestisce la creazione del tunnel



- Soprattutto utile per host v4/v6 isolati

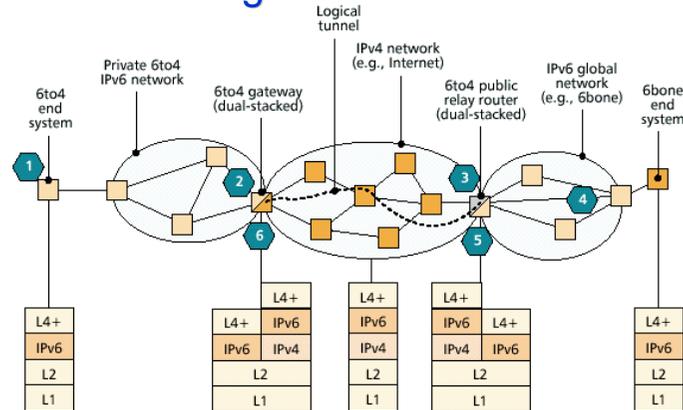
97

## Tunneling mechanisms: "6to4"

- 6to4 Automatic Tunneling [RFC 3056]
  - the most widely used automatic tunneling technique
  - it tunnels IPv6 traffic over IPv4 networks among isolated 6to4 networks
  - tunnel configuration is performed without the need for explicit management
- Each 6to4 network
  - is connected to the rest of the IPv6 network through a local 6to4 gateway and a remote relay router (both are dual-stacked)
  - assumes a special prefix that embeds the IPv4 address of its 6to4 gateway (2002::V4ADDR::/48)
  - tunnel endpoint addresses are easily obtained and do not need involvement of any IPv6 administrative body
  - All IPv6 packets, except for those destined to local addresses, are directed to the gateway
  - traffic in the reverse direction, destined for the 6to4 network
    - is first forwarded to a nearby relay router (advertising the 2002::/16 prefix)
    - this then tunnels the traffic to the appropriate 6to4 gateway using the embedded IPv4 address

98

## Tunneling mechanisms: "6to4"



Packet flow

1. Outbound packets are default routed to the 6to4 gateway
2. 6to4 gateway tunnels packets to public relay router
3. Public relay router decapsulates packets and forwards via 6bone native IPv6 routing

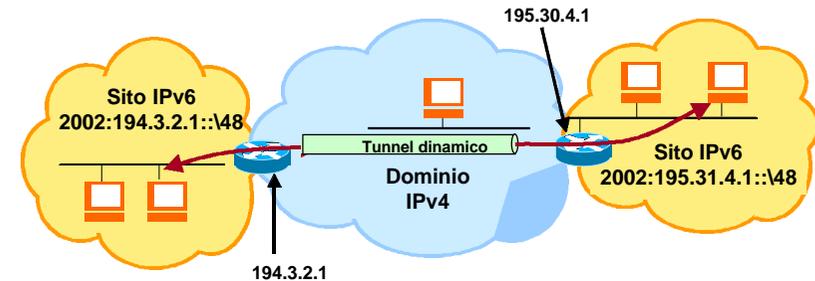
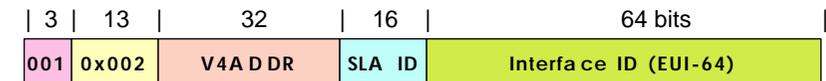
Packet flow

4. Relay router advertises a route to the 2002::/16 network. Packets destined for 6to4 nodes are routed to the relay router
5. Relay router encapsulates IPv6 packets in IPv4 packets with destination derived from 6to4 address
6. 6to4 gateway decapsulates IPv6 packet and forwards to appropriate node

99

## Tunneling mechanisms: "6to4"

- I siti IPv6 che supportano 6to4 hanno *prefissi derivati dagli indirizzi IPv4* dei router 6to4



100

## Vantaggi di "6to4"

- I siti che vogliono iniziare ad impiegare IPv6 non hanno bisogno di chiedere indirizzi IPv6 ai registri regionali
- Molto utile in assenza di ISP IPv6 perché non richiede la configurazione manuale dei tunnel

101

## Cambiamento nell'architettura di rete

- Cosa cambia significativamente
  - il protocollo IP
  - il protocollo ARP
  - il protocollo ICMP
  - il protocollo IGMP
- Cosa viene aggiornato (in particolare per adeguarsi all'utilizzo di indirizzi IP su 128 bit anziché 32 bit)
  - l'implementazione di TCP, UDP e i relativi socket
  - il DNS
  - il RIP e l'OSPF
  - il BGP
  - il DHCP

102

## Esempi di DNS

- definizione indirizzo IPv4  
`HOST1.UNIPR.IT IN A 160.78.15.3`
- definizione indirizzo IPv6  
`HOST1.UNIPR.IT IN AAAA 4321:0:1:2:3:4:567:89ab`
- definizione reverse IPv4  
`3.15.78.160.IN-ADDR.ARPA. PTR HOST1.UNIPR.IT`
- definizione reverse IPv6  
`b.a.9.8.7.6.5.0.4.0.0.0.3.0.0.0.2.0.0.0.1.0.0.0.0.0.0.0  
.1.2.3.4.IP6.INT. PTR HOST1.UNIPR.IT`

103

## Problemi della transizione

- **Freni "psicologici" alla transizione**
  - » Poche applicazioni sul nuovo protocollo
  - » Nessun servizio "speciale" su IPv6
  - » Adottare un nuovo protocollo è "difficile"  
Scarso interesse del mercato e della grande utenza
- **Freni economici alla transizione**
  - » Il mercato dell'utenza è piuttosto ridotto
  - » La transizione implica dei costi e non ha ritorni immediati
  - » Il supporto tecnico e software è ancora di scarsa qualità  
Scarso interesse dei produttori e degli ISP
- **Freni tecnici alla transizione**
  - » Gli indirizzi IPv4 non sono poi così pochi (problema dei paesi in via di sviluppo)
  - » NAT offre una soluzione al problema degli indirizzi
  - » La transizione è una "cura" peggiore dell'attuale "malattia"
  - » L'urgenza è sviluppare nuovi servizi, non protocolli  
Scarso interesse degli sviluppatori software e hardware

104