

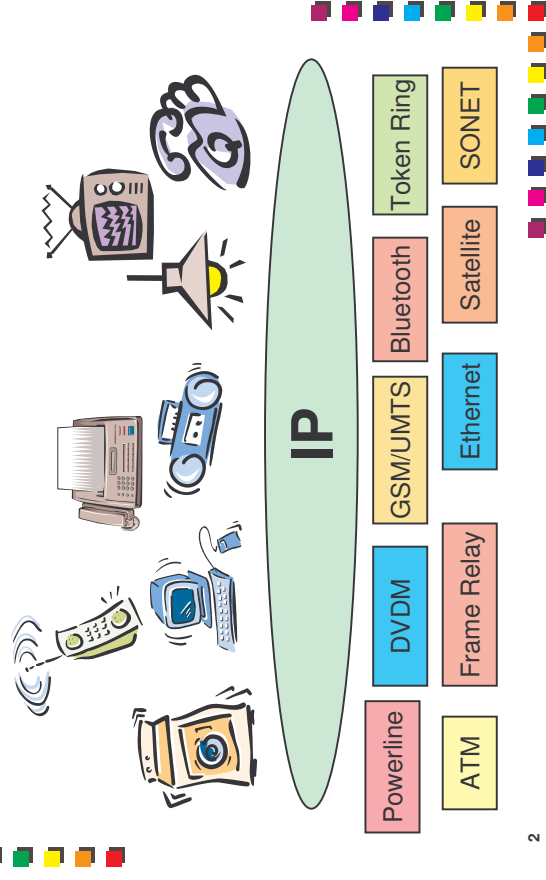
L'evoluzione di IP: Internet Protocol Versione 6

Introduzione al nuovo protocollo di
livello network della suite TCP/IP

Limiti di IPv4

- Esaurimento spazio indirizzamento IPv4
- Problematiche di scalabilità del routing
- Richiesta di servizi nuovi e/o più efficienti

Lo scenario

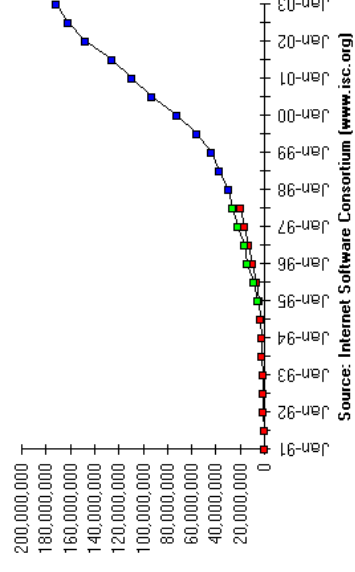


2

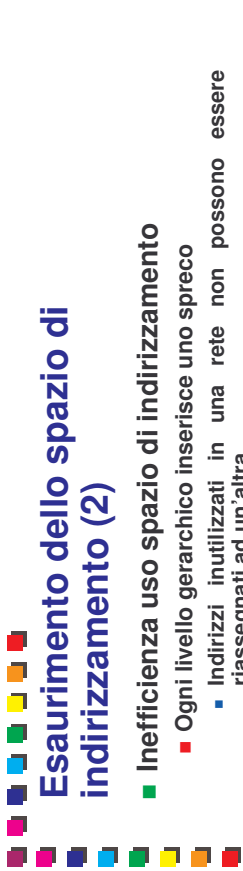
Esaurimento dello spazio di indirizzamento (1)

- Max teorico con IPv4 (32 bit) : ~ 4 Mld
- Apparentemente non esiste il problema dell'esaurimento degli indirizzi

<http://www.isc.org/ds/hosts.html>



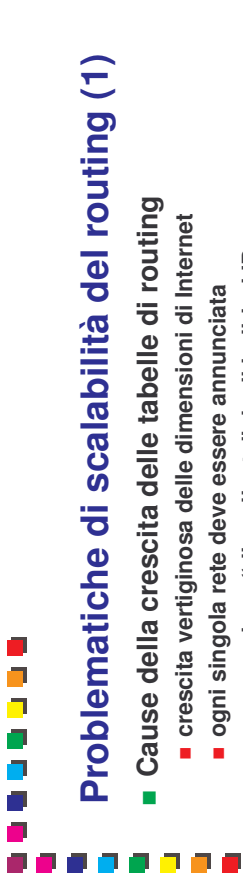
4



Esaurimento dello spazio di indirizzamento (2)

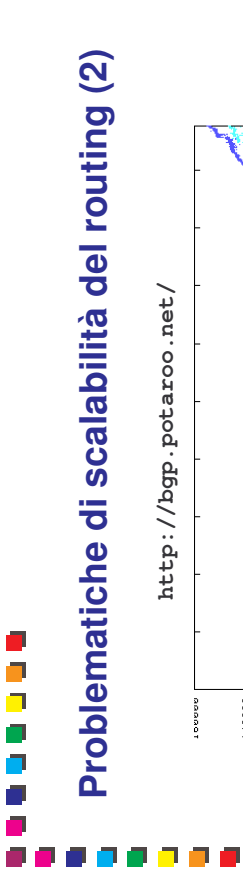
- Inefficienza uso spazio di indirizzamento
 - Ogni livello gerarchico inserisce uno spreco
 - Indirizzi inutilizzati in una rete non possono essere riassegnati ad un'altra
 - Necessità di indirizzi "di gestione" (indirizzi al router)
 - Necessità di indirizzi riservati (reti private, multicast, ...)
 - Necessità di indirizzi liberi per espansioni future
- Determinazione max reale (RFC 1715):
 - Parametro H di efficienza nell'assegnazione indirizzi
 - Massimo valore teorico: $H=0.301$
 - Stima reale in base a reti esistenti (telefonica, etc): ~ 0.26
 - ~ 200 milioni di host

$$H = \frac{\log(n_{indirizzi})}{n_{bit}}$$



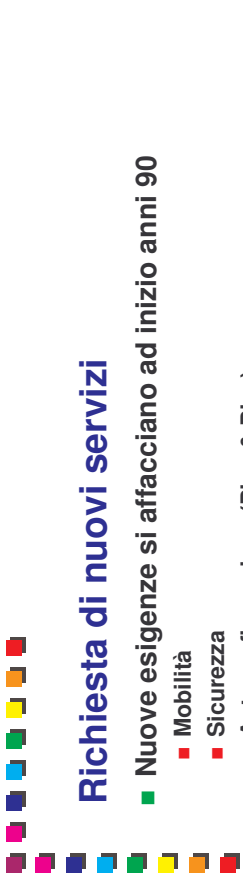
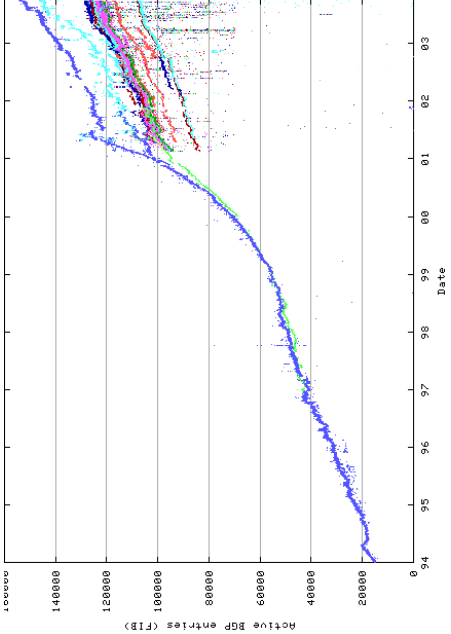
Problematiche di scalabilità del routing (1)

- Cause della crescita delle tabelle di routing
 - crescita vertiginosa delle dimensioni di Internet
 - ogni singola rete deve essere annunciata
 - assegnazione "disordinata" degli indirizzi IP
- Problemi
 - Limiti dei router
 - Gestione di troppe informazioni
 - Limiti dei protocolli di routing
 - Alta probabilità che ci sia almeno una route che cambia nel giro di poco tempo
- Rimedi con IPv4
 - CIDR (Classless Inter-Domain Routing)
- Problema presente principalmente sui router di backbone



Problematiche di scalabilità del routing (2)

<http://bgp.potaroo.net/>



Richiesta di nuovi servizi

- Nuove esigenze si affacciano ad inizio anni 90
 - Mobilità
 - Sicurezza
 - Autoconfigurazione (Plug & Play)
 - Qualità del Servizio (QoS)
 - Multicast



Il lungo percorso all'adozione di IPv6

- Lunga gestione della definizione e della migrazione ad IPv6
 - Molti problemi hanno dovuto essere risolti con soluzioni "tampone"
 - Nel momento in cui IPv6 è arrivato "in produzione", alcuni problemi erano già stati risolti
 - Quando le specifiche IPv6 sono entrate in una fase matura, molte delle problematiche di IPv4 non erano più tali

9

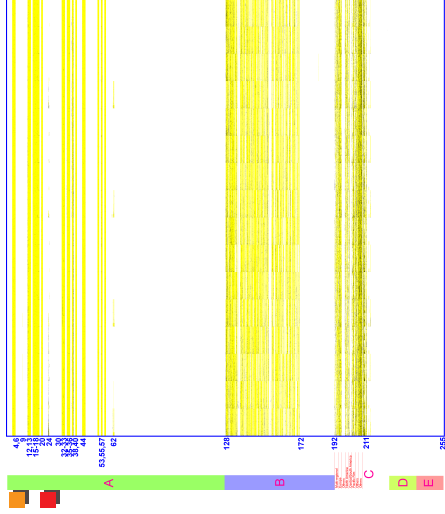
Esaurimento dello spazio di indirizzamento

- Introduzione delle reti a dimensione "personalizzata"
 - Netmask
- Indirizzamento privato
 - Intranet, RFC 1918
 - Non sufficiente, da solo, a risolvere i problemi
 - Deve essere accoppiato con NAT o ALG
- Network Address Translator (NAT)
 - Diffusione capillare
 - RSIP (Realm Specific IP)
 - Ancora una proposta
- ALG (Application Level Gateway)

10

Indirizzi allocati: situazione attuale

<http://www.caida.org/outreach/resources/learn/ipv4space/>



Altre risorse

Assegnazione delle reti /8 ai RIR :
<http://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space>

Pagina riepilogativa delle assegnazioni ai RIR, con l'indicazione del lotto minimo di assegnazione:
<http://www.mentovai.com/network/ipv4-allocation.html>

11

Problematiche di scalabilità del routing

- CIDR
 - Classless Inter-Domain Routing
- Maggior rigidezza nell'assegnazione di indirizzi IP
 - Regional Internet Registry: assegnano solamente reti a grossi clienti
 - Spesso l'allocazione minima è una rete /20 (1024 indirizzi)
- Scalabilità dei protocolli di routing
 - Problematica attualmente senza soluzione
- Problematica in parte irrisolta
 - Dei problemi originari di IPv4, è quello più impellente ancora rimasto

12

Supporto di nuovi servizi: Mobilità (1)

- Mobilità può avere più significati
 - Mobilità "limitata": capacità di operare da punti diversi dalla rete
 - Portabilità: capacità di spostarsi da un punto all'altro della rete rendendo la cosa trasparente
- Mobilità "limitata"
 - Favorire l'operatività di host che possono essere connessi alla rete in punti diversi in momenti diversi
 - Si tratta di facilitare l'assegnazione degli indirizzi agli host mobili
 - Soluzioni: DHCP, PPP, etc.
 - Permette, ad un host, di poter contattare il resto del mondo
 - Interazione di tipo "client" verso un server, ma non viceversa

13

Supporto di nuovi servizi: Mobilità (2)

- Portabilità (implica *Raggiungibilità*)
 - Problema duale rispetto al punto precedente
 - Permette all'host mobile di essere raggiunto sempre allo stesso indirizzo "ufficiale"
 - Ammette una interazione di tipo "server" da parte di client remoti
 - Può avere maggiori requisiti di sicurezza (protezione dei dati in transito)
 - Soluzione: Mobile IP (RFC 2002). sostanzialmente mai implementata in IPv4
 - Mobile IP richiede indirizzi IP, che scarseggiano
- Problematica fondamentale per il supporto di reti di telefonia di tipo 3G
 - Ogni apparato (telefono) è contemporaneamente un server e un client

14

Supporto di nuovi servizi: Sicurezza

- Necessità
 - Autenticazione del mittente
 - Criptatura del canale
- Soluzione
 - IPsec (RFC 2401)
 - IP Authentication Header (AH)
 - Encapsulating Security Payload (ESP)

15

Supporto di nuovi servizi: Autoconfigurazione

- Dynamic Host Configuration Protocol
 - Assegnazione "stateless"
 - Modo di funzionamento normale
 - Assegnazione "stateful"
 - Basata sul riconoscimento dell'indirizzo MAC della scheda
 - Non garantisce l'assegnazione dello stesso indirizzo IP nel momento in cui si cambi la scheda di rete
- Problematiche
 - Necessita di un server ad hoc
 - Non gestisce problematiche di rinumerazione della rete
 - "Autoconfigurazione" è inteso nei confronti degli host finali, non della rete

16

Supporto di nuovi servizi: QoS e Multicast

- Qualità del Servizio
 - Modello IntServ
 - Qualità “deterministica”
 - Resource reServation Protocol
 - Modello DiffServ
 - Qualità “statistica”
 - Definizione di classi di servizio
- Multicast
 - Non vi sono particolari soluzioni esplicitamente pensate per IPv4
 - Gli avanzamenti nel mondo della ricerca possono essere applicati sia ad IPv4 che IPv6
 - Il multicast è ancora un problema aperto

17

Perchè migrare ad IPv6

- La migrazione è fortemente ostacolata dal successo delle “soluzioni tampone”
 - Non vi sono ragioni così impellenti per giustificare l'immediata migrazione ad IPv6
- Maggiori problematiche
 - Scalabilità del routing
 - Necessità di indirizzi pubblici da parte di applicativi peer-to-peer
 - Ad esempio *Telefonia su IP*

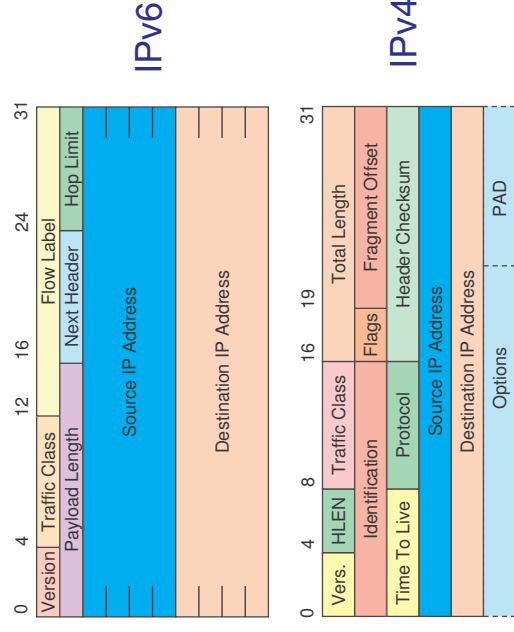
18

La nascita di IPv6

- Meeting IETF Boston (1992), “Call for proposals”
 - Creazione di Working Groups appositi
- Numerose proposte
 - TUBA: adozione OSI CNLP come nuovo IP
 - CATNIP: integrazione diversi protocolli di rete (IP, CLNP, IPX) e di trasporto (TP4, SPX, TCP, UDP)
 - Ammesso TCP/IP ad un lato della connessione e TCP/CLNP all'altro
 - SIPP: proposta evolutiva di IPv4 (mantenimento delle caratteristiche positive, correzione di quelle negative
 - Semplicità; estendere gli indirizzi ed eliminare campi superflui
- Proposta vincente
 - Formulazione di una lista comprendente 17 obiettivi
 - Vincitore: doveva soddisfare il maggior numero di obiettivi
 - SIPP con indirizzi a 128 bit

19

Header IPv6 e IPv4 a confronto (1)



20



Header IPv6 e IPv4 a confronto (2)

- **Semplificazione**
 - Obiettivo: limitare il numero di informazioni gestite dai router all'interno del *critical router loop*
- **In dettaglio**
 - 8 campi in IPv6 anzichè 12 in IPv4
 - Alcuni campi rinominati, altri aggiunti
 - L'header ha un formato fisso (40 bytes); viene rimosso il campo Header Length
 - Rimozione della checksum
 - Rimozione delle procedure di frammentazione dai nodi intermedi (router)

21

22



Header IPv6 e IPv4 a confronto (3)

- **Risultati: non completamente positivi**
 - Indirizzo IPv6 molto grosso (128 bit)
 - Maggiore complicazione nelle operazioni di *route lookup*
 - Maggiore dimensione delle CAM / TCAM dei router per la velocizzazione delle access list
 - Difficoltà nel localizzare campi di livello 4 (porta TCP/UDP)
 - Spesso usate per classificazione, access list



Campi dell'header IPv6 (1)

- **Version (4 bit)**
 - Fisso e pari a 6
- **Flow label (20 bit)**
 - Indica pacchetti appartenenti allo stesso flusso
 - Migliora prestazioni di IPv4
 - Valore compreso tra 1 e FFFFFFFF

23



Campi dell'header IPv6 (2)

- **Hop Limit (8 bit)**
 - Sostituisce il Time-To-Live di IPv4
 - E' decrementato di una unità da ogni router attraversato
- **Payload length (16 bit)**
 - Indica la lunghezza del carico dati del pacchetto
 - Header IPv6 è fisso
 - Attenzione: comprende anche eventuali extension headers
 - Posto a zero nel caso di Jumbo Payload
- **Traffic class (8 bit)**
 - Permette di assegnare ai pacchetti differente priorità
 - Valori relativi a particolari categorie di traffico

24

Campi dell'header IPv6 (3)

- Next Header (8 bit)
 - Indica tipo di header successivo a IPv6
- Principali valori ammessi:

0	HBH	Hop by Hop option
6	TCP	Transmission Control Protocol
17	UDP	User Datagram Protocol
43	RH	Routing Header
44	FH	Fragment Header
51	AH	Authentication Header
52	ESP	Encrypted Security Payload
58	ICMPv6	Internet Control Message
59	Null	No next header
60	DOH	Destination Option Header (IPv6)
89	OSPF	Open Shortest Path First

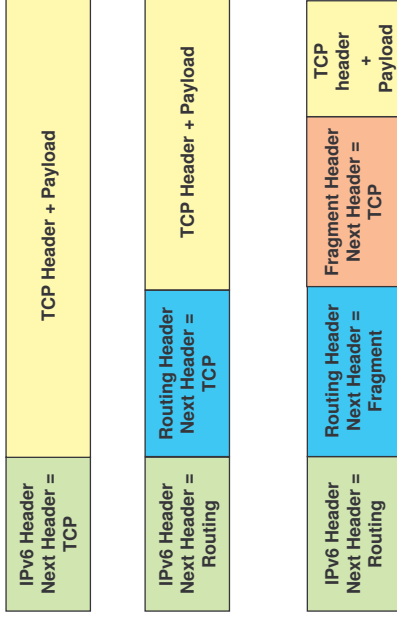
25

Gli Extension Header

- Attualmente sono definiti sei tipi :
 - Hop By Hop Option Header
 - Routing Header
 - Fragment Header
 - Authentication Header
 - Encrypted Security Payload Header
 - Destination Option Header
- Ordine elaborazione = ordine Extension header
 - Esiste un ordine preferenziale
 - Il *Destination Option Header* può essere presente anche in seconda posizione nel caso in cui questa opzione sia utilizzata contemporaneamente al *Routing Header*

27

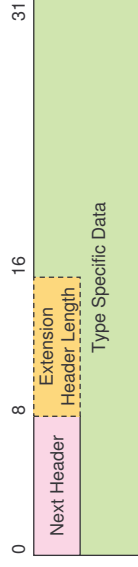
La catena degli headers



26

Caratteristiche comuni degli Extension Header

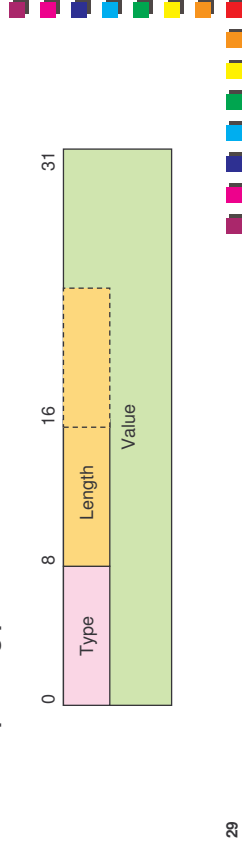
- Campo Next Header: sempre presente per primo
 - Tranne Encrypted Security Payload
- Campo Extension Header Length: spesso presente



28

Caratteristiche comuni degli Extension Header con opzioni (1)

- Alcuni Extension Header comprendono header opzionali che possono essere ripetuti più volte
 - Formato Type - Length - Value
 - Negli Extension Header IPv6, Type e Length sono sempre pari a 8 bit
- Opzioni “comuni”
 - Pad1 e PadN per allineare il pacchetto a multipli di 8 byte
 - Gli extension header classici non hanno bisogno del padding per riallineare i dati



Caratteristiche comuni degli Extension Header con opzioni (2)

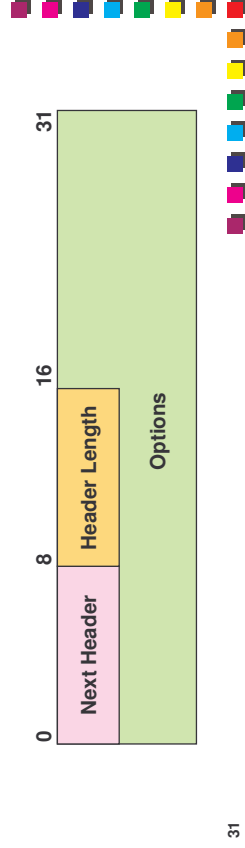
- **Codice opzione (campo *Type*)**
- Viene assegnato un significato particolare ai primi 3 bit

Primi 2 bit: azione da intraprendere nel caso in cui l'opzione non sia riconosciuta	
Codifica	Significato
00	L'opzione corrent può essere ignorata; è possibile continuare con l'opzione successiva
01	Il pacchetto deve essere scartato
10	Il pacchetto deve essere scartato e deve essere generato un messaggio ICMPv6 Parameter Problem
11	Il pacchetto deve essere scartato e deve essere generato un messaggio ICMPv6 Parameter Problem a meno che l'indirizzo di destinazione del pacchetto fosse un indirizzo multicast

Terzo bit: indica se il contenuto dell'opzione può essere modificato in transito	
Codifica	Significato
0	Il valore dell'opzione non può essere cambiato in transito
1	Il valore dell'opzione può essere cambiato in transito

Hop-by-Hop Options Header

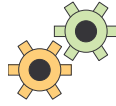
- Viene letto da TUTTI i nodi che il pacchetto attraversa
- Stesso formato e stessa codifica del Destination Options Header
- Opzioni definite:
 - Router Alert (RFC 2711)
 - Payload Jumbogram (RFC 2675)
 - Le opzioni di padding (Pad1, PadN)



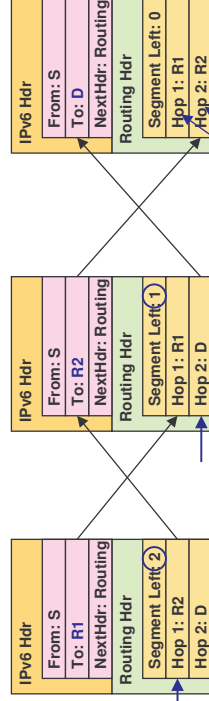
Routing Header

- La sorgente indica percorso da seguire per arrivare a destinazione
 - Simile a Source Routing IPv4
- Campi principali
 - Segment Left: numero dei segmenti di percorso rimanenti
 - Routing Type: attualmente '0' (source routing classico)
 - Header Length: lunghezza dell'header in multipli di 8 ottetti, esclusi gli 8 iniziiali





Routing Header: esempio

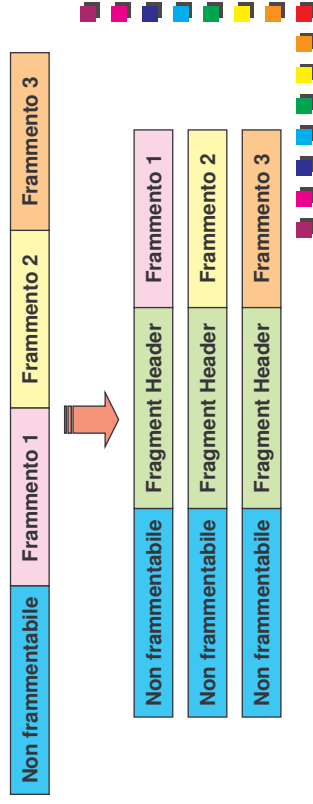


Elenco dei router che hanno elaborato il Routing Header (può non coincidere con i router attraversati dal pacchetto)

33

Meccanismo di frammentazione

- Ogni pacchetto è formato da due parti:
 - Parte frammentabile
 - Parte non frammentabile
 - Comprende l'Header IPv6 e gli Extension Header che precedono il Fragment Header (ossia fino a Routing Header incluso)
 - Devono essere ripetuti in tutti i frammenti

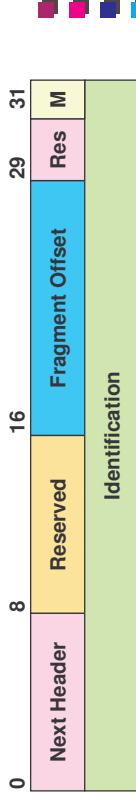


35



Fragment Header

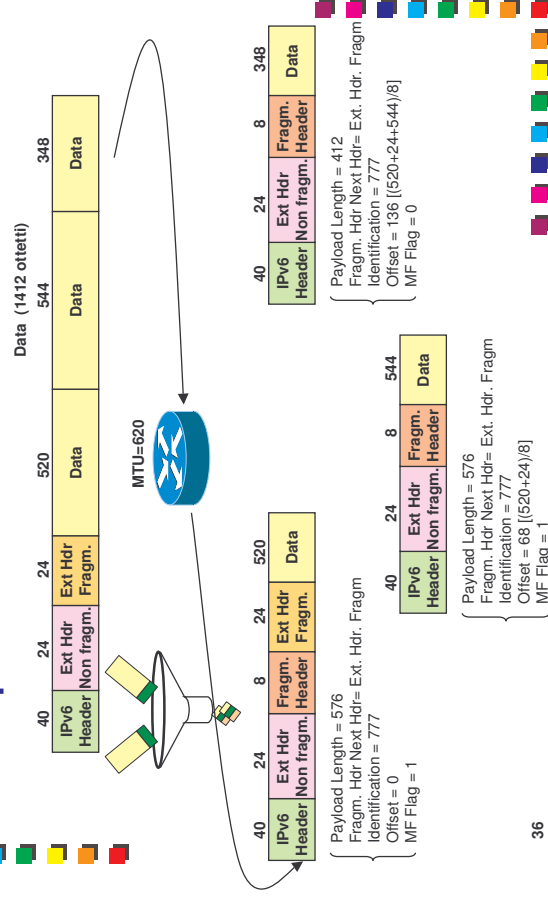
- La frammentazione in IPv4 e in IPv6
 - IPv4: qualunque nodo del percorso può frammentare
 - IPv6: solo il nodo mittente può frammentare
- In IPv6 si cerca di evitare frammentazione :
 - Path MTU Discovery (RFC 1981)
- Se la frammentazione è necessaria si inserisce un Fragment Header



34



Esempio di frammentazione



36



IPv6 e sicurezza (1)

- Due opzioni distinte
 - Authentication Header
 - Garantisce autenticità ed integrità del pacchetto
 - Encrypted Security Payload Header
 - Definisce la crittatura di tutto ciò che segue l'header ESP
 - Deve essere l'ultimo header del pacchetto corrente
 - Operano sul pacchetto IPv6 normalizzato
 - Pacchetto risultante quando tutte le opzioni che possono essere modificate lungo il cammino sono poste a zero e l'eventuale Routing Header è posto al valore che avrà a destinazione
 - Per maggiori caratteristiche di sicurezza, è possibile utilizzare il *tunnel mode*

37

38



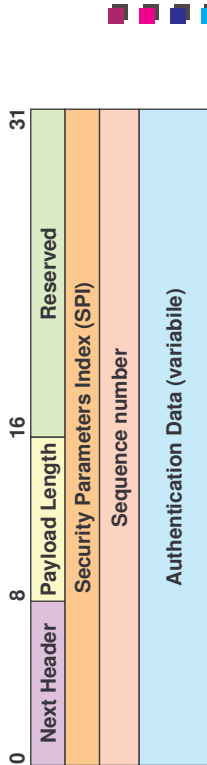
IPv6 e sicurezza (2)

- Parametro fondamentale: SPI
 - Numero sempre crescente, associato ad una comunicazione unidirezionale
 - Usato per determinare la Security Association
- Security Association
 - Relazione tra due o più entità che descrive come queste utilizzano i servizi di sicurezza per comunicare
 - Unidirezionale
 - Definita in ogni host dalla tripletta SPI, Destination Address, tipologia di sicurezza richiesta (AH/ESP)
 - Negoziata attraverso una fase precedente allo scambio di pacchetti
 - Internet Key Exchange (IKE)



Authentication Header

- Authentication Header
 - Autenticazione del mittente
- Authentication Data
 - Contiene Integrity Check Value

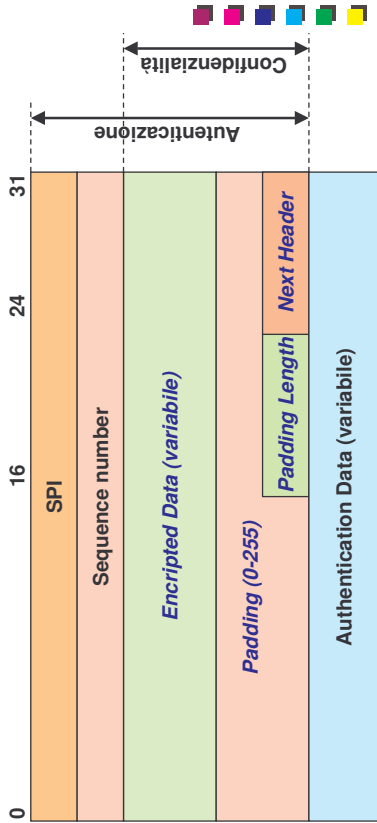


39



Encrypted Security Payload Header

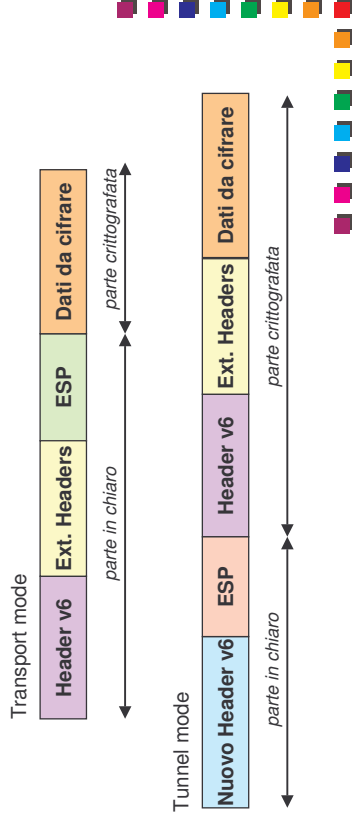
- Encrypted Security Payload
 - Cifratura del payload (segretezza)



40

Modalità di utilizzo

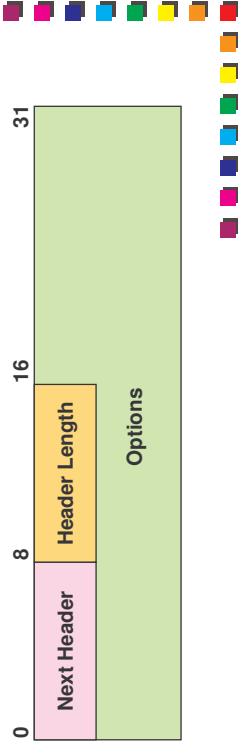
- Tunnel mode
 - Evita la presenza di dati in chiaro (ad esempio gli indirizzi) nel pacchetto originale
 - Problemi: frammentazione, maggiore overhead, necessità di ulteriori entità per gestire il tunnel



41

Destination Options Header

- Trasporta informazioni opzionali per i nodi destinazione
- Può occupare due posizioni:
 - Prima del Routing Header
 - L'opzione viene esaminata da tutti i router del percorso indicato dal Routing Header
 - Alla fine della catena degli Extension Header, prima del protocollo di livello superiore



42

Architettura di indirizzamento

- Tre tipi di indirizzo IP:
 - Unicast: indirizzi di stazioni
 - Anycast: indirizzi di servizi
 - Multicast : indirizzi di gruppi di stazioni
- Non si usano più gli indirizzi broadcast
- Indirizzi associati alle interfacce
 - Possibilità di avere più indirizzi per ogni interfaccia

Modalità di scrittura degli indirizzi

- Si scrivono in esadecimale come 8 numeri naturali separati da “.”
 - FEDC:BA98:0876:45FA:0562:CDAF:3DAF:BB01
 - 1080:0000:0000:0007:0200:A00C:3423
- Esistono delle semplificazioni:
 - si possono omettere gli zero iniziali
 - 1080:0:0:7:200:A00C:3423
 - Si possono sostituire gruppi di zero con “::”
 - 1080::7:200:A00C:3423
 - ::1 (indirizzo di loopback)
- Gli indirizzi di compatibilità IPv4 si scrivono:
 - 0:0:0:0:0:0:A00:1
 - ::A00:1
 - ::10.0.0.1

43

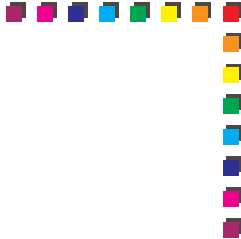
44



Prefix

- Scompare il concetto di Netmask
- Viene sostituito da quello di “Prefix”
- Il prefix si indica aggiungendo ad un indirizzo “/N”, dove N è la lunghezza in bit del prefix
- Esempio:
 - FEDC:0123:8700::/36 indica il prefisso
 - 1111 1110 1101 1100 0000 0001 0010 0011 1000

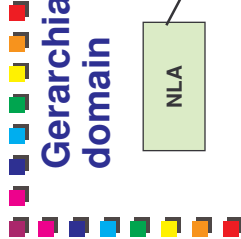
45



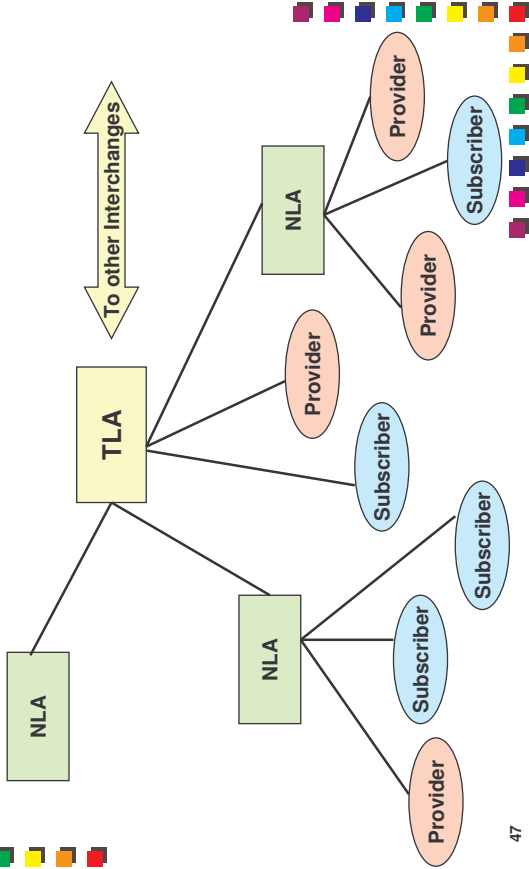
Tipi di Indirizzo

Reserved (IPv4)	0000 0000	1/256
Unassigned	0000 0001	1/256
Reserved for NSAP Allocation	0000 001	1/128
Reserved for IPX Allocation	0000 010	1/128
Unassigned	0000 011	1/128
Unassigned	0000 1	1/32
Unassigned	0001	1/16
Aggregatable Global Unicast Addr.	001	1/8
Unassigned (was Provider-Based Unicast Addr.)	010	1/8
Unassigned	011	1/8
Unassigned (was Geographic-Based Unicast Addr.)	100	1/8
Unassigned	101	1/8
Unassigned	110	1/8
Unassigned	1110	1/16
Unassigned	1111 0	1/32
Unassigned	1111 10	1/64
Unassigned	1111 110	1/128
Unassigned	1111 1110 0	1/512
Link Local Use Addresses	1111 1110 10	1/1024
Site Local Use Addresses	1111 1110 11	1/1024
Multicast Addresses	1111 1111	1/256

46



Gerarchia di indirizzamento e routing domain

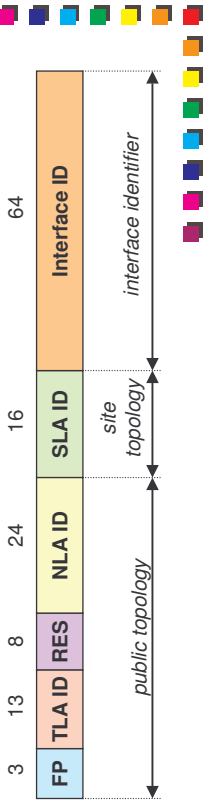


47



Indirizzi: Unicast Globali

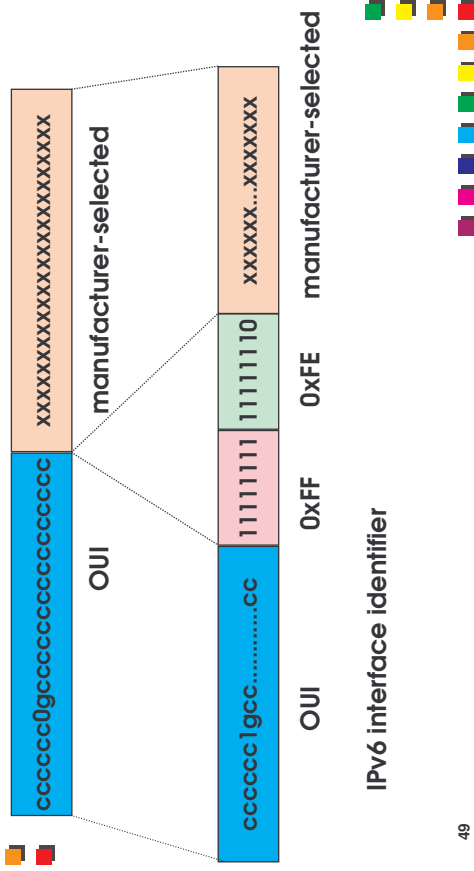
- Public topology
 - Format Prefix
 - Top Level Aggregation Identifier
 - Reserved
 - Next-Level Aggregation Identifier
- Site topology
 - Site-Level Aggregation Identifier (instradamento intra-sito)
- Interface ID
 - ID dell'host



48

Il formato EUI-64

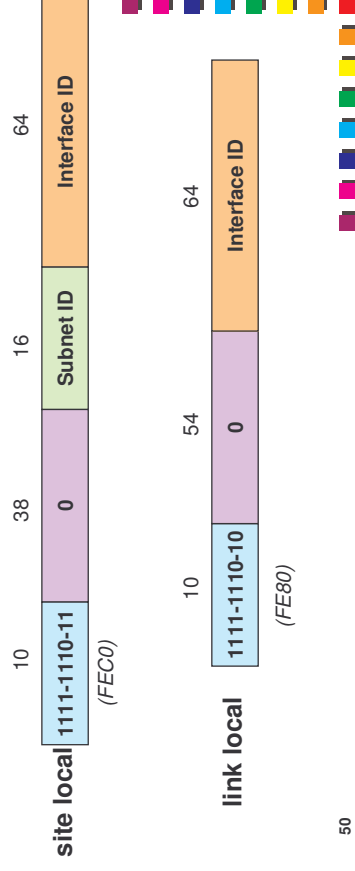
48 bit MAC address



Indirizzi: Unicast Locali

■ Indirizzi Privati

- sostituiscono le RFC 1597 e lo RFC 1918
- Site local
- Link local



Indirizzi unicast speciali

- Unspecified
 - ::
- Loopback
 - ::1
- IPv4 compatible e IPv4 mapped
 - 100.1.2.3 (indirizzo IPv4)
 - ::100.1.2.3 (indirizzo IPv6 compatibile IPv4)
 - ::FFFF:100.1.2.3 (indirizzo IPv4 mapped)

- NSAP address
- IPX address

Indirizzi Anycast

- **Non hanno spazio indirizzamento proprio**
 - Sono indirizzi unicast assegnati ad un insieme di interfacce
 - Ai nodi deve essere esplicitamente detto che quello è un indirizzo anycast
- **Indica il server più vicino al mittente che fornisce un dato servizio**
- **Possono essere assegnati solo a router IPv6, non a generici host**

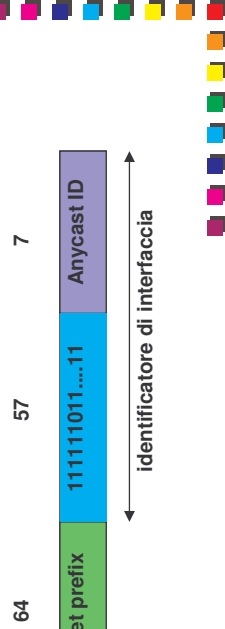
Indirizzi Anycast: formati

- In IPv6, per ora, è stato definito solo un anycast address:

- subnet router anycast address :



- Generico indirizzo Anycast :



53

Indirizzi Multicast

- Flag

- assume il formato 000T
- T indica se è un indirizzo transiente (1) o permanente (0)

- Scope: usato per limitare lo scopo del multicast group

- Usato (più propriamente) al posto del TTL di IPv4

- 1 - node local
- 2 - link local
- 5 - site local
- 8 - organization local
- E - global



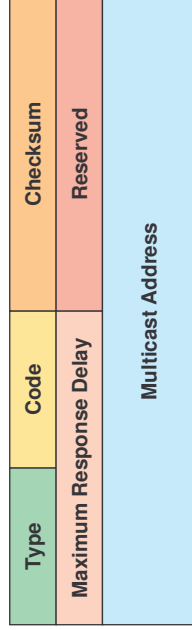
54

Multicast Listener Discovery

- Sostituisce il protocollo IGMP di IPv4

- Messaggi

- Multicast Listener Query, a sua volta suddiviso in:
 - General Query
 - Multicast Address Specific Query
- Multicast Listener Report
- Multicast Listener Done



55

ICMPv6

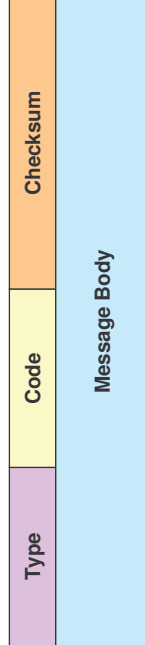
- Internet Control Message Protocol

- Tre impieghi principali

- Diagnostica
- Neighbor Discovery
- Gestione dei gruppi multicast

- Riunisce funzionalità che IPv4 suddivideva tra:

- ICMP
- ARP (Address Resolution Protocol)
- IGMP (Internet Group Membership Protocol)



56



Il campo Type

- Il campo type attualmente assume i seguenti valori

1	Destination Unreachable
2	Packet too big
3	Time exceeded
4	Parameter Problem
128	Echo Request
129	Echo Reply
130	Group Membership Query
131	Group Membership Report
132	Group Membership Termination
133	Router Solicitation
134	Router Advertisement
135	Neighbor Solicitation
136	Neighbor Advertisement
137	Redirect

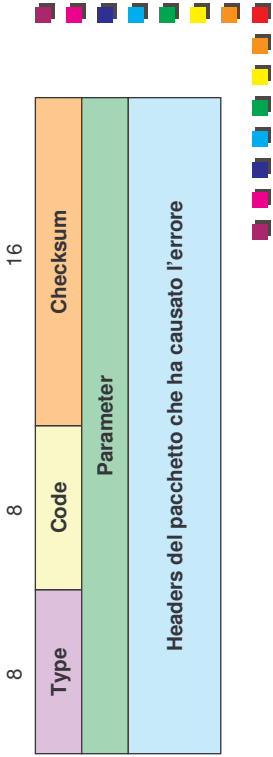


ICMPv6: Messaggi di errore

- Tipi di messaggi

- Destination Unreachable (type = 1)
- Packet too big (type = 2)
- Time exceeded (type = 3)
- Parameter Problem (type = 4)

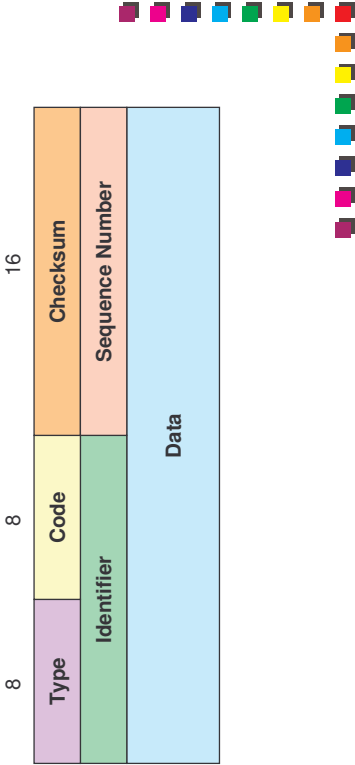
- Pacchetto ICMPv6: non può essere più lungo di 576 ottetti



ICMPv6: Echo

- Tipi di messaggi

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



ICMPv6: Group Management

- Tipi di messaggi

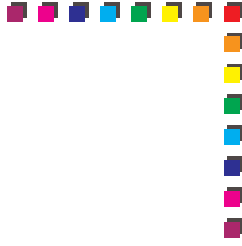
- Group Membership Query (type=130)
- Group Membership Report (type=131)
- Group Membership Termination (type=132)





Stato dell'arte di IPv6

- Definizione aspetti base di IPv6 è completa e stabile
- In via di definizione meccanismi di supporto a servizi più innovativi
- Implementazioni :
 - router: principali costruttori integrano IPv6
 - host: scarsa diffusione nei sistemi operativi Windows



61



E' necessario migrare a IPv6 ?

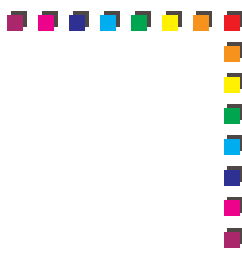
■ Retrofitting

- La quasi totalità delle migliorie studiate in funzione di IPv6 sono state rese compatibili IPv4
 - DHCP
 - Ipsec
 - Quality of Service
 - MobileIP

■ Problema esaurimento indirizzi IPv4

- il NAT è potente ma molto complesso e difficile da realizzare in hardware

■ Sì, è necessario migrare a IPv6

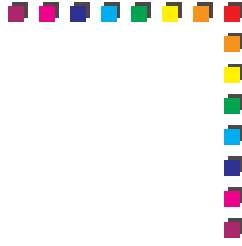


62



Conclusioni

- IPv6 è ormai maturo, anche se non è ancora disponibile su tutte le piattaforme
- La sua adozione è fortemente influenzata dalla enorme base di applicazioni IPv4
- L'affermazione di IPv6 nel lungo periodo sembra molto probabile
 - Difficile stabilire cosa vuol dire "lungo periodo"



63