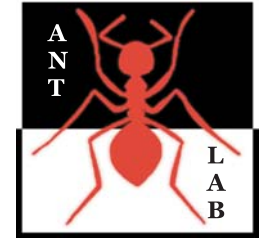




Politecnico di Milano

Advanced Network Technologies Laboratory



Evoluzione del livello di rete

- Multi Protocol Label Switching - MPLS
- IPv6

MPLS

- *MultiProtocol Label Switching*

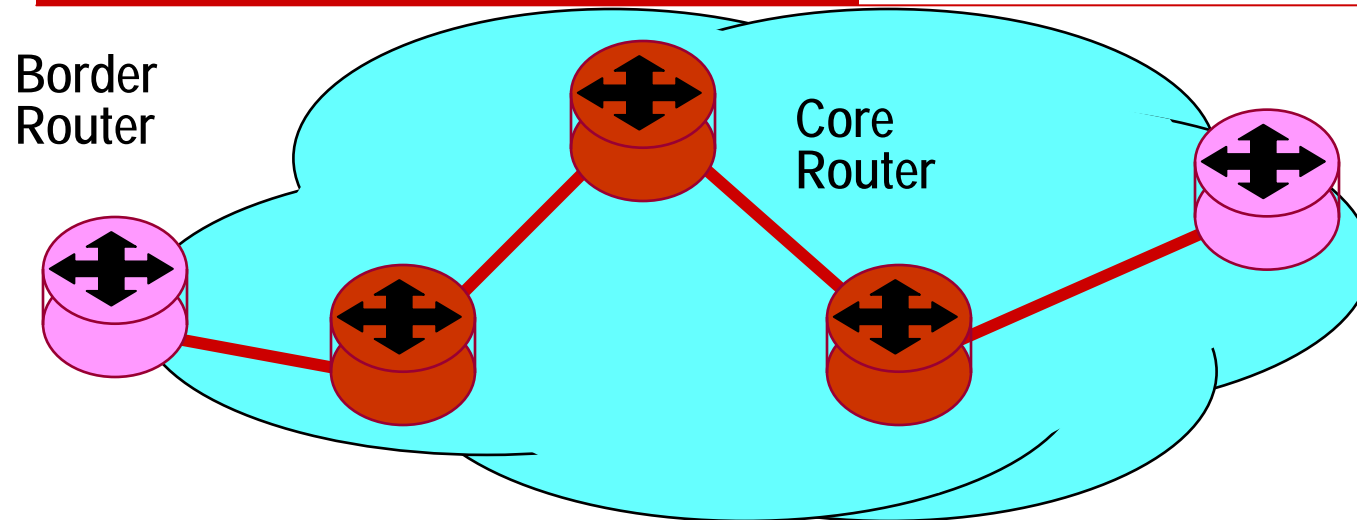
 - Pensato per unire i vantaggi di IP e ATM nelle Backbone Network
 - Routing IP
 - Switching ATM (label switching)

 - con miglioramenti che eliminano gli svantaggi di IP su ATM
-

MPLS

- Precursori (dal '96)
 - IP Switching (Ipsilon/Nokia)
 - Tag Switching (Cisco)
 - Aggregate Route-Based IP-Switc. (IBM)
 - IP Navigator (Cascade/Ascend/Lucent)
 - Cell Switching (Toshiba)
-

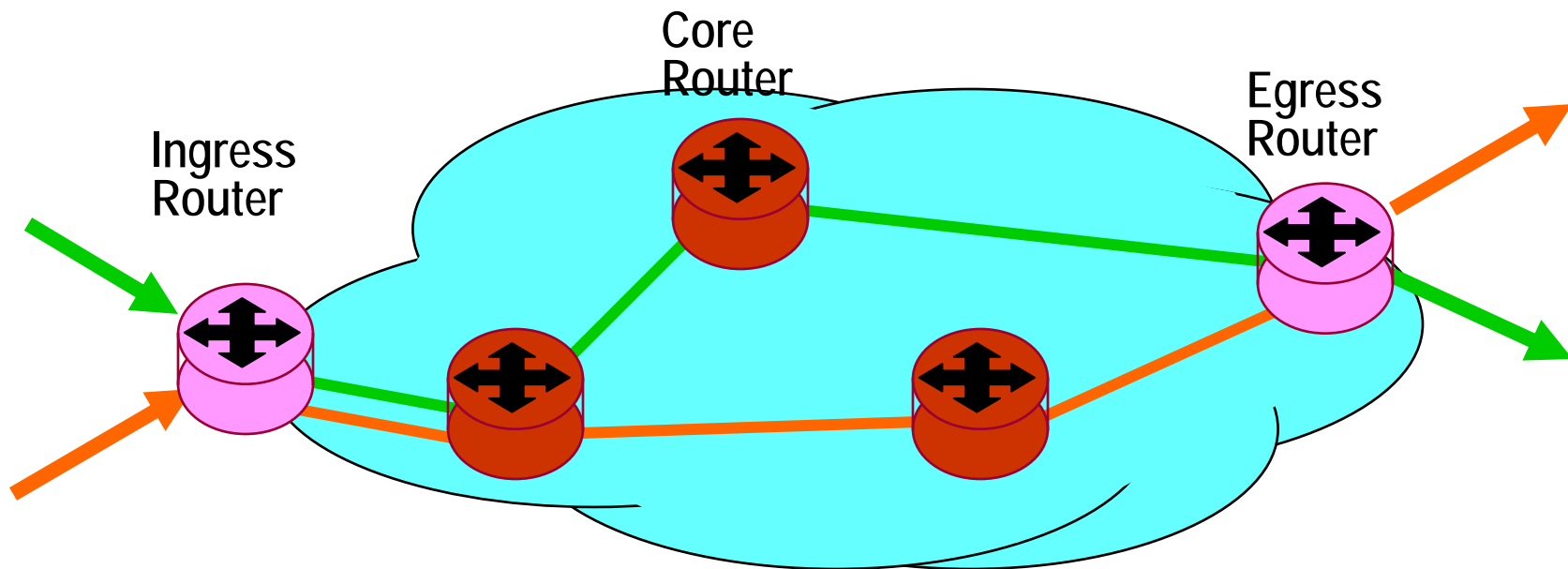
Architettura Generale



- Gestione dei flussi a circuito virtuale (*Forward Equivalence Class*)
 - predeterminati dal gestore o su
 - richiesta esplicita degli utenti
 - meccanismo di "set up"
 - prenotazione di risorse

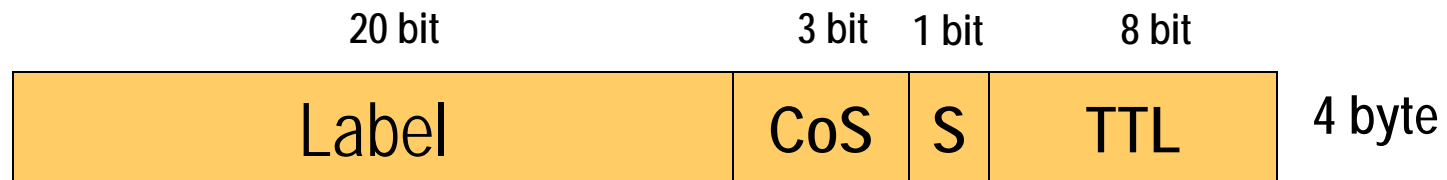
Architettura generale

- E' possibile ottimizzare l'instradamento dei flussi in base a meccanismi statici o dinamici
- E' possibile instradare in base a un ricco set di parametri (sorgenti, porte, applicazioni) in aggiunta alla destinazione



LS Forwarding

- ❑ IP è incapsulato in un LS header



- ❑ *CoS: Class of Service*
- ❑ *S: Stack (consente l'uso in cascata)*
- ❑ *TTL: Time To Live*
- ❑ La label di 20 bit è compatibile con il VC ATM

LS Forwarding

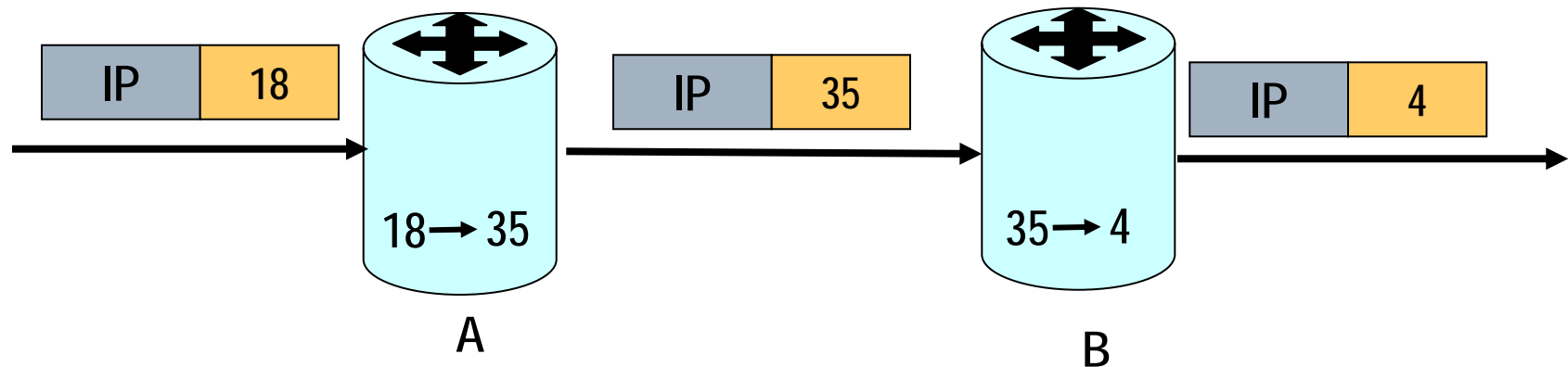
- La Label è usata per commutare - Label Swapping (circuito virtuale)

In Interface	In Label	Out Interface	Out Label
.....
3	21	4	18
3	56	6	135
.....

- La label ha significato locale (come in ATM e FR)
-

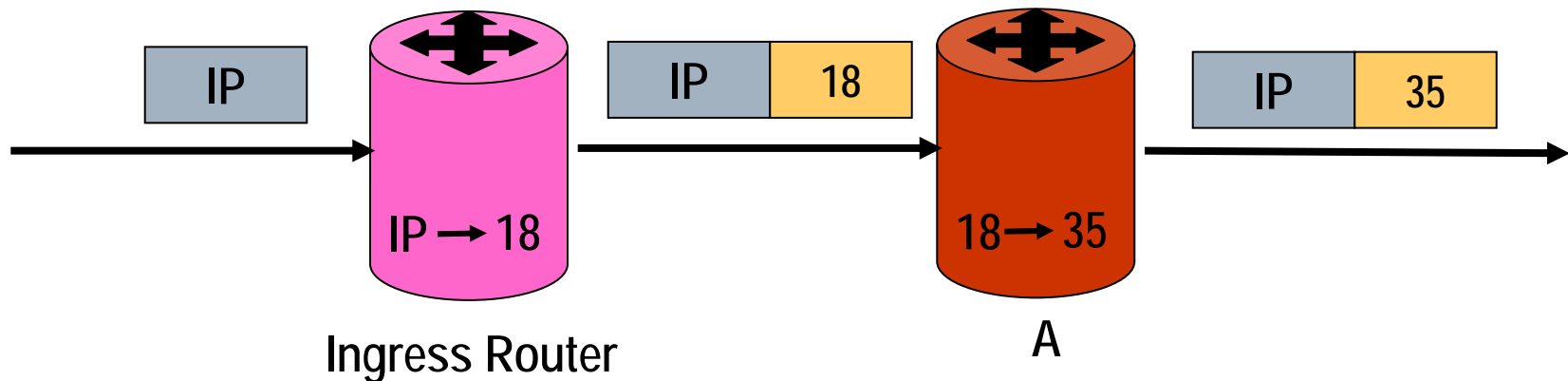
LS Forwarding

- Le Label vengono determinate e "cucite" al momento del set up del cammino

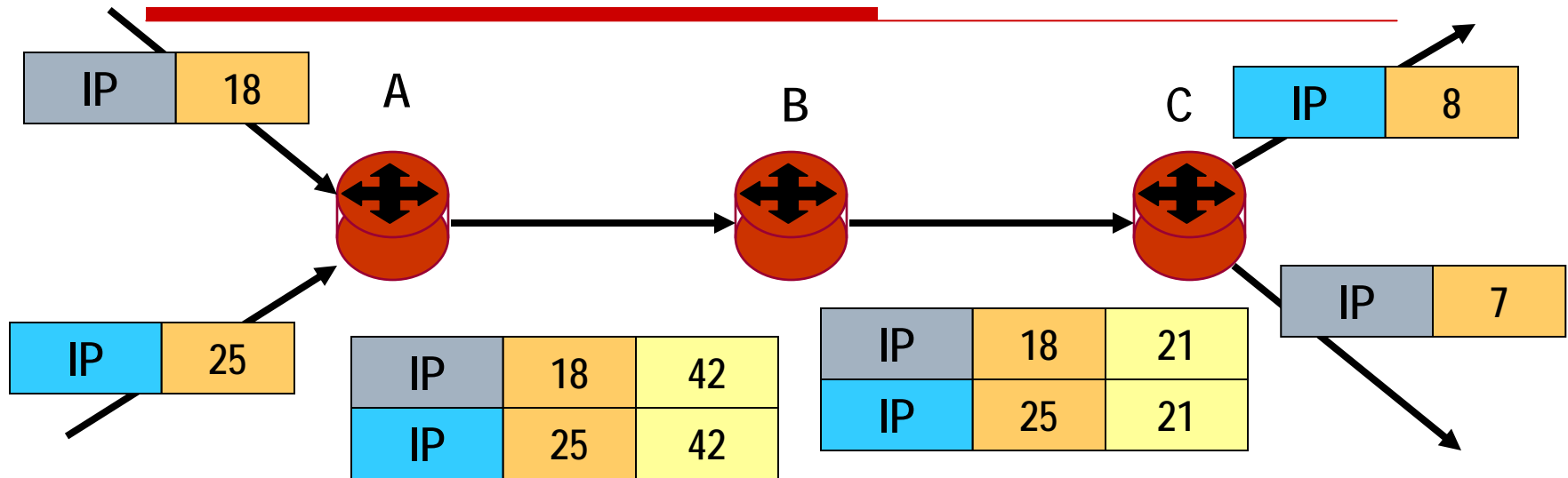


LS forwarding

- All' *Ingress Router* la corrispondenza è fra l'indirizzo IP di destinazione (e possibilmente altri parametri) e la Label del cammino scelto



Affasciamento dei cammini

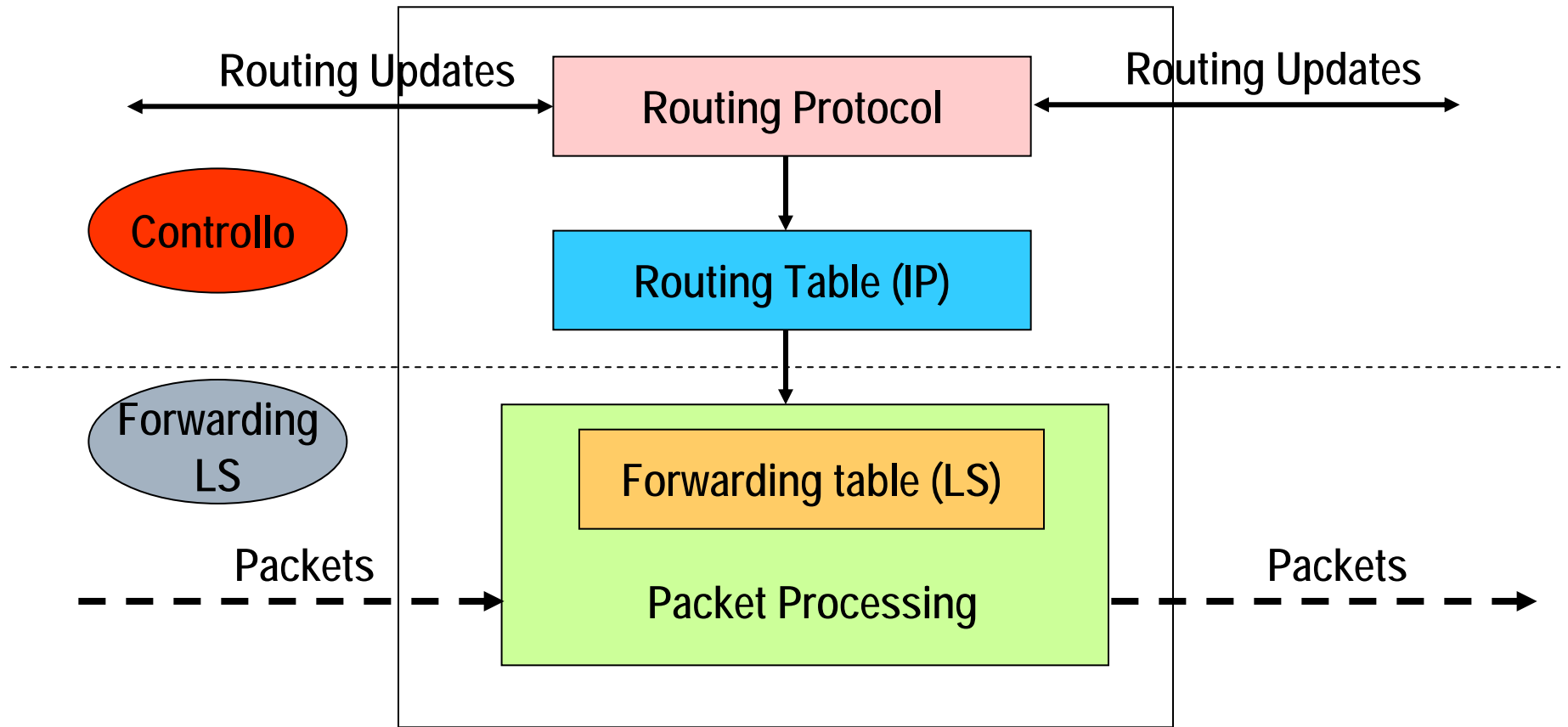


- I due flussi seguono il cammino AC in comune
- A incapsula i due flussi con identica label
- B instrada sulla label 2
- C decapsula i flussi

Affasciamento dei cammini

- ❑ Il numero di affasciamenti non ha limite
 - ❑ i router instradano sulla base della label esterna
 - ❑ e sulla base di indicazioni “push-pop”
 - ❑ I router interni commutano pochi flussi (!!SCALABILITA'!!)
-

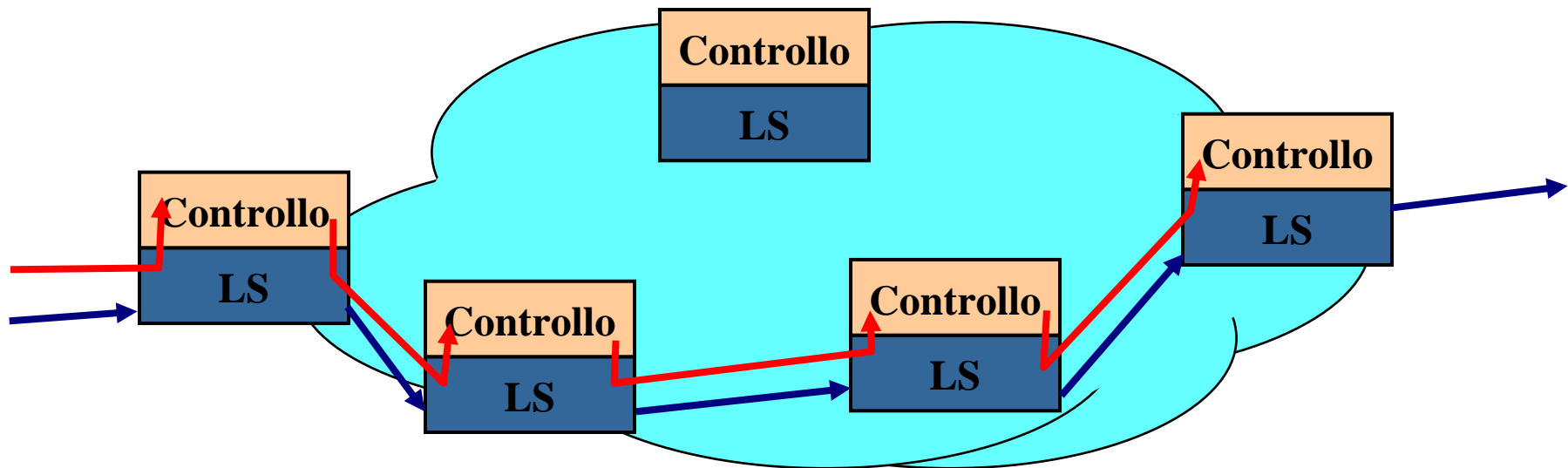
Inoltro e Controllo



Disaccoppiamento fra routing e forwarding

Inoltro e Controllo

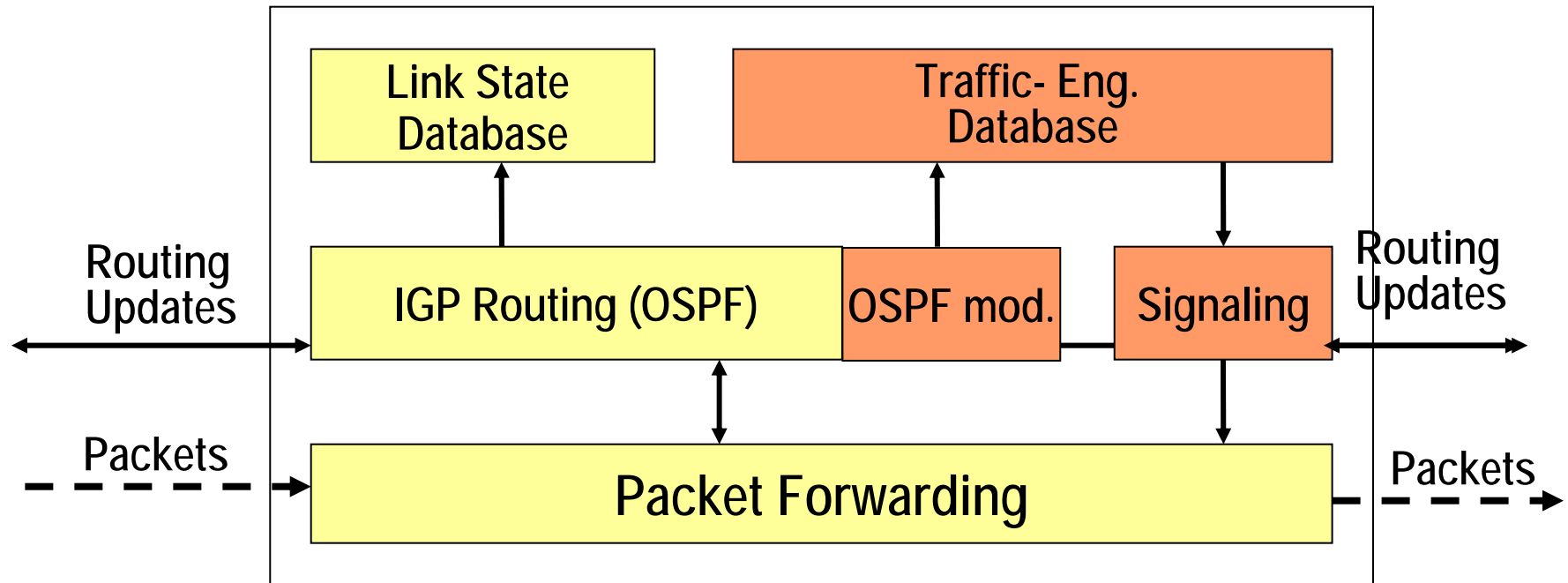
- ❑ I pacchetti di controllo seguono un inoltro hop-by-hop simile a quello IP tradizionale
- ❑ I pacchetti di controllo creano un nuovo label switched path (circuito virtuale)
- ❑ I pacchetti dati per i quali è stato creato il path possono dopo inoltrati direttamente in base alla label



Inoltro e Controllo

- ❑ Ovviamente è possibile anche un instaurazione “manuale” dei label switched path; in questo caso il controllo non serve
 - ❑ Il disaccoppiamento fra routing e forwarding consente l’evoluzione delle tecniche e dei parametri di routing
 - ❑ Consente economie di scala (cammini affasciati)
 - ❑ Il forwarding a circuito consente la prenotazione di risorse e l’uso di tecniche di ingegneria del traffico
-

Controllo



- ❑ Nuovo database di traffic engineering (TED)
 - ❑ Nuove procedure di signaling
-

TED

- Contiene informazioni relative a:
 - Informazioni topologiche tipo link-state
 - Derivate dai protocolli di routing
 - Risorse di rete (banda dei link, banda prenotata)
 - Derivate da estensioni dei protocolli di routing (IGP)
 - Dati amministrativi
 - Derivate da dati di configurazione degli utenti
 - Consente ai border router di determinare un cammino
-

Instauramento del cammino

- Si determina lo *Egress Router* in base al *next hop* BGP

 - I cammini possono essere determinati:
 - “off line”
 - Ottimizzazione globale conoscendo i flussi

 - “on line” (Constrained based routing)
 - Tiene conto dei vincoli dell’utente
 - banda
 - inclusione/esclusione di link/nodi
 - richieste amministrative
 - riarrangiamento si/no
 -
-

Segnalazione

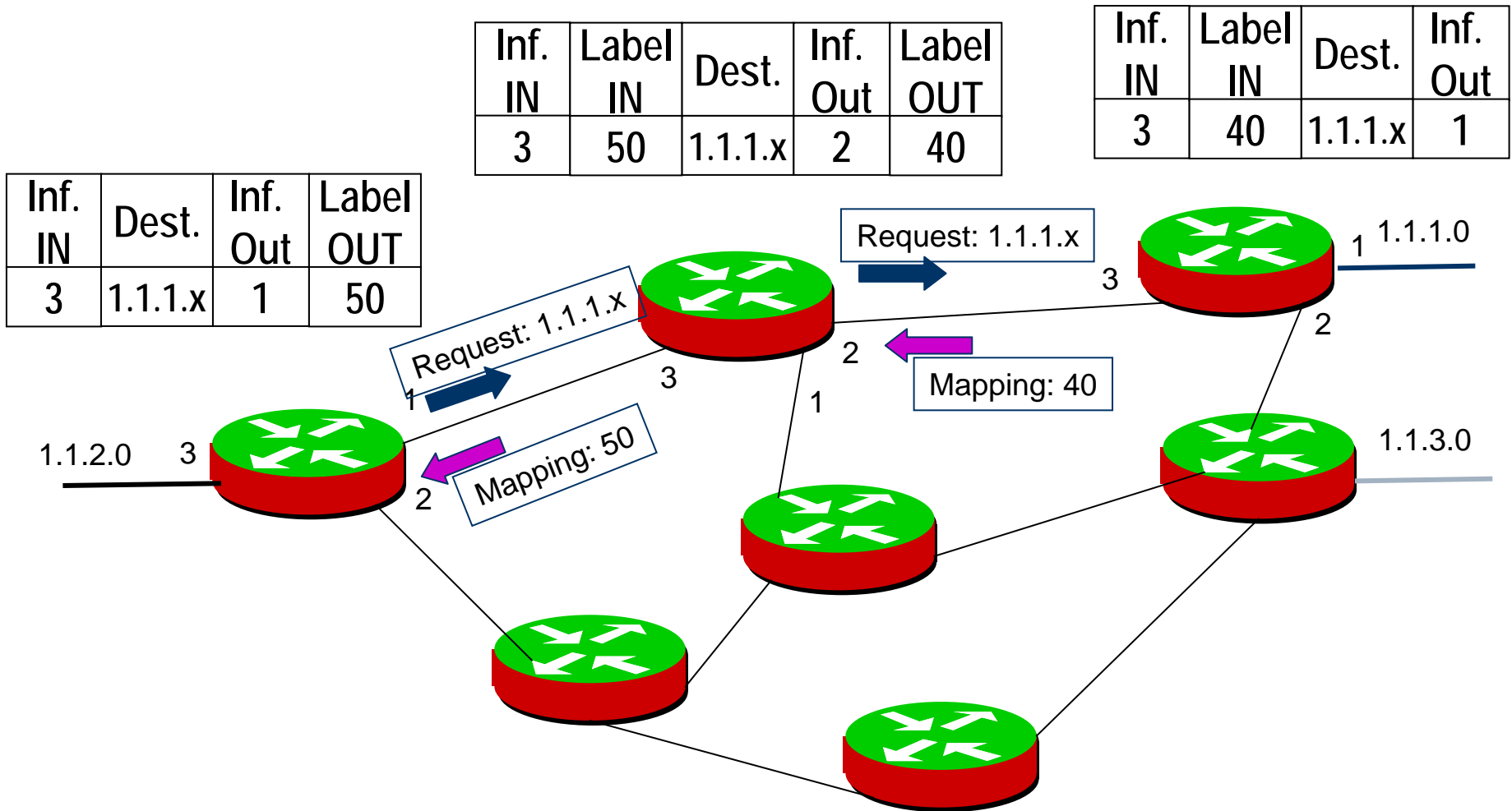
Serve un meccanismo di segnalazione per

- Coordinare la distribuzione delle label
 - Instaurare un cammino desiderato (Explicit Route)
 - Riservare le risorse
 - Riassegnare le risorse
 - Prevenire i loop
-

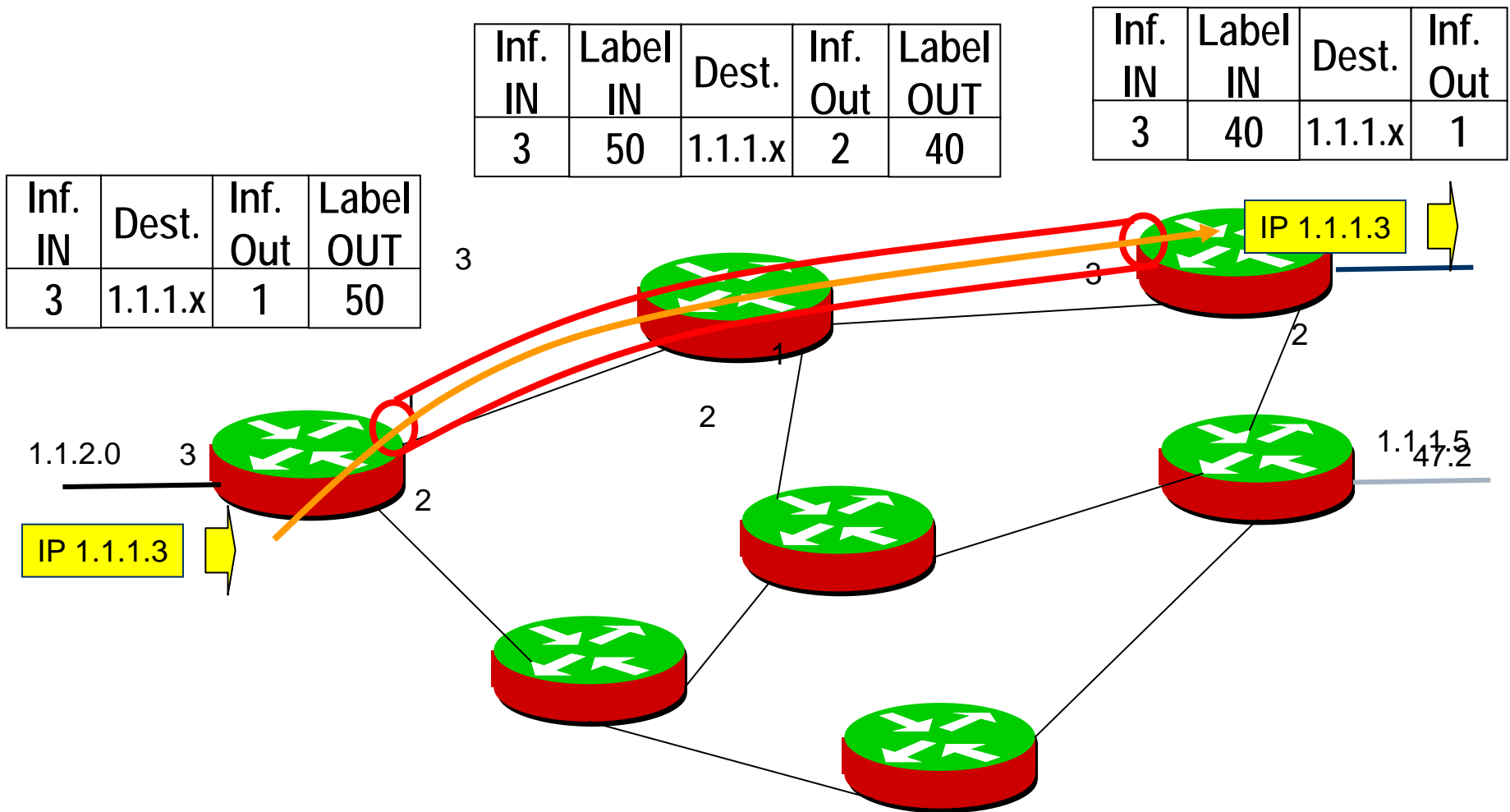
Segnalazione

- I meccanismi prevedono 3 possibilità
 - *Label Distribution Protocol* (LDP)
 - Hop per Hop
 - Segue i cammini di IGP
 - Non supporta il Traffic Engineering
 - ReSerVation Protocol (RSVP)
 - gestito dai border Routers
 - Estensione per supportare route esplicite
 - Constrained Routing LDP
 - Estende LDP a supportare le route esplicite
-

Label Distribution Protocol (LDP)

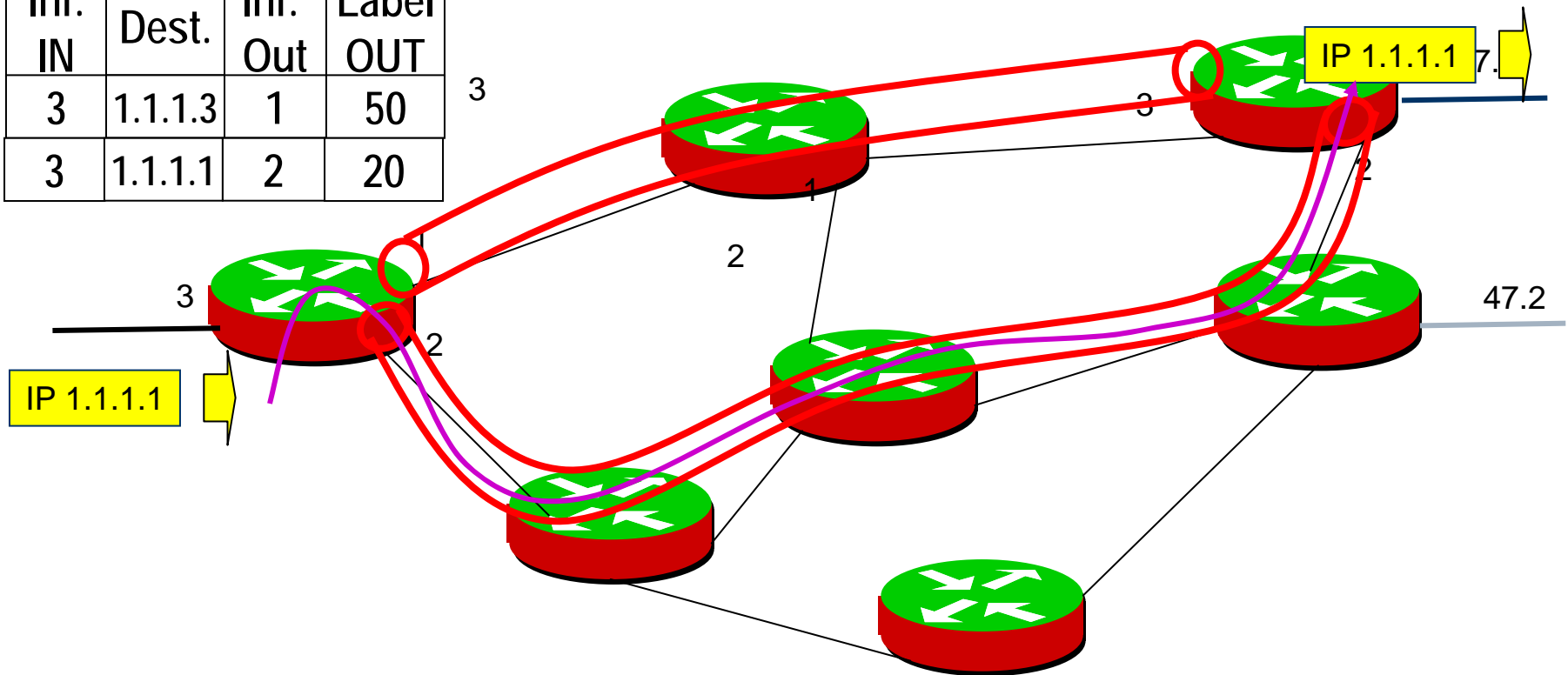


Label Switched Path (LSP)

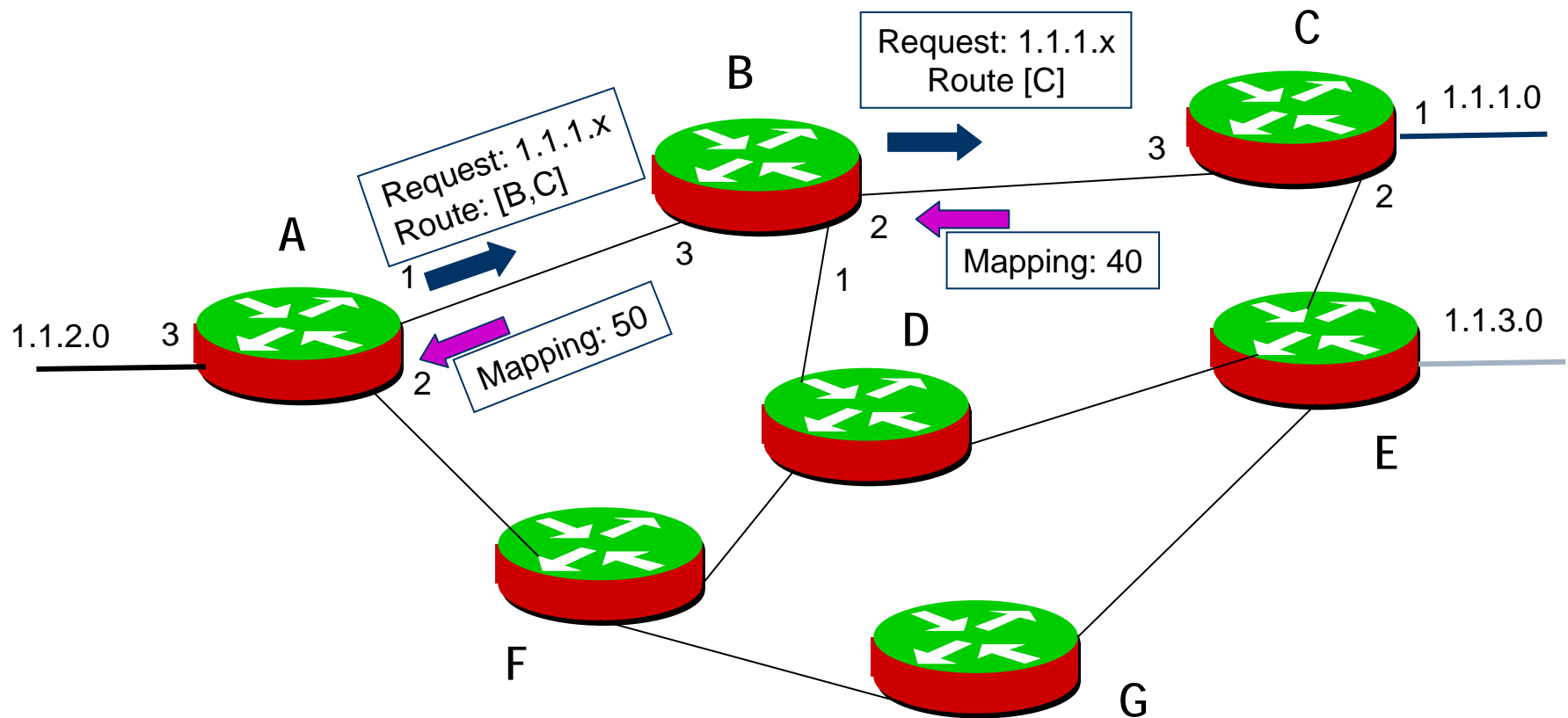


Explicitly Routed-LDP

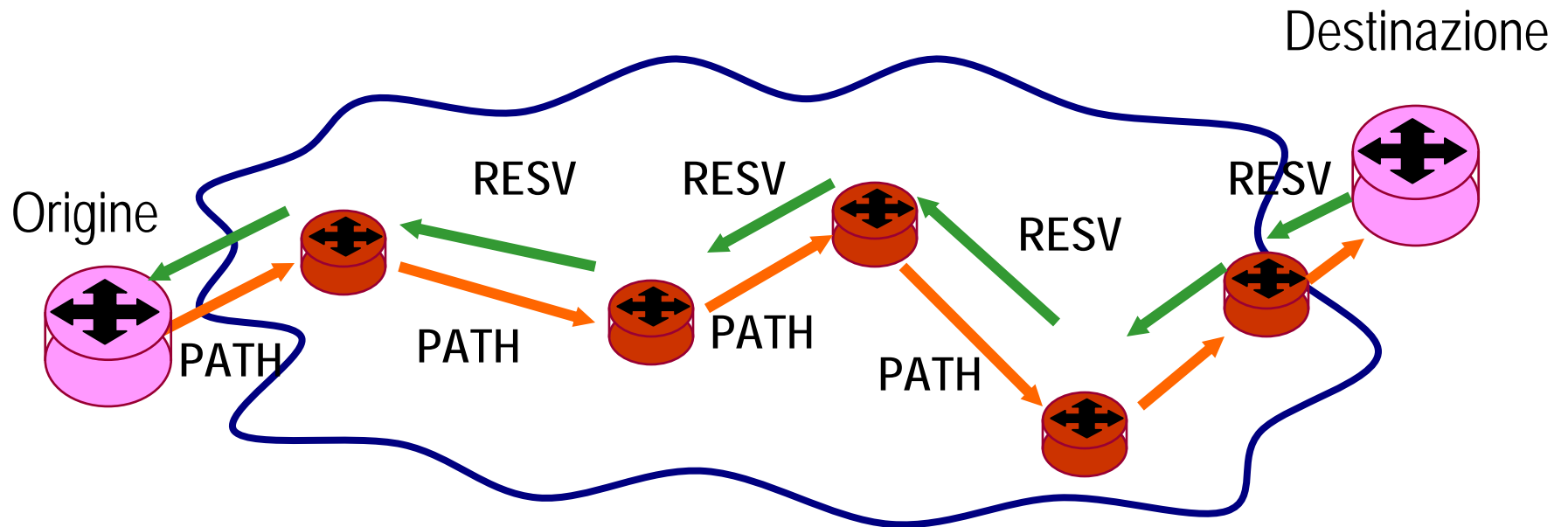
Inf. IN	Dest.	Inf. Out	Label OUT
3	1.1.1.3	1	50
3	1.1.1.1	2	20



CR-LDP



ReSerVation Protocol (RSVP)

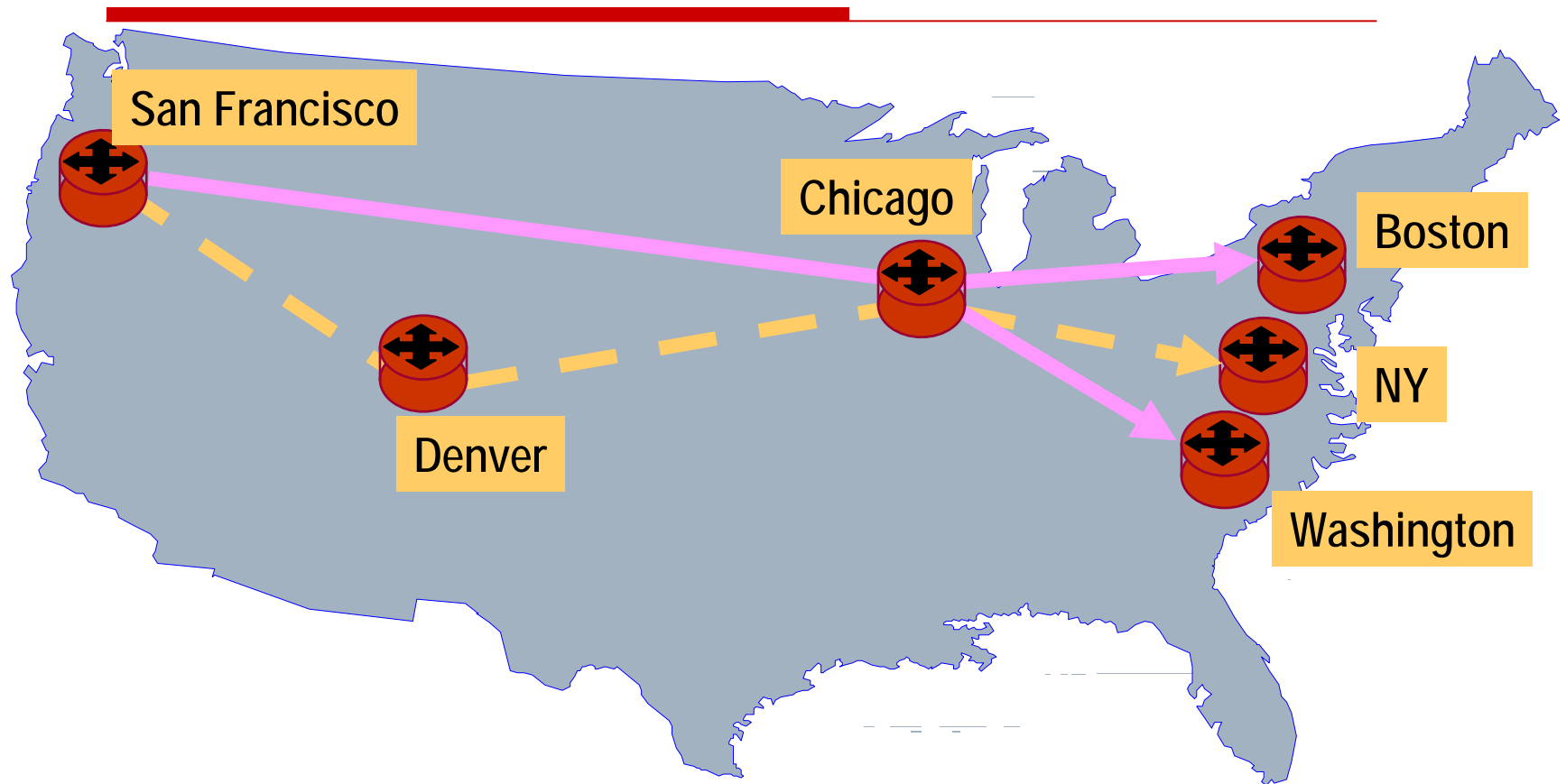


- ◆ La sorgente invia un messaggio di PATH verso la destinazione (route esplicita).
- ◆ La destinazione accetta la richiesta e invia un messaggio di RESV che distribuisce la label

PATH: Fissa il cammino su cui si effettua la riservazione

RESV: Distribuisce la label e riserva le risorse

ESEMPI di TE: Trabocco



Se il link diretto è saturo il traffico per NY può essere provvisoriamente mandato via DENVER

MPLS: Approfondimenti

- **Articoli** (*disponibili sul sito web del corso*):
 - G. Armitage, "MPLS: The Magic behind the Myths", IEEE Communication Magazine, Jan. 2000, pp. 124-131.
 - D.O. Awduche, "MPLS and Traffic Engineering in IP Networks", IEEE Communication Magazine, Dic. 1999, pp. 42-47.

 - **Libri**:
 - Bruce S. Davie, Yakov Rekhter, MPLS: Technology and Applications , Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

 - **Links**:
 - MPLS Resource Center: <http://www.mplssrc.com/>
 - IETF MPLS Working Group:
<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>
 - Rick Gallaher MPLS Links:
<http://rickgallaher.com/mplslinks.htm>
-

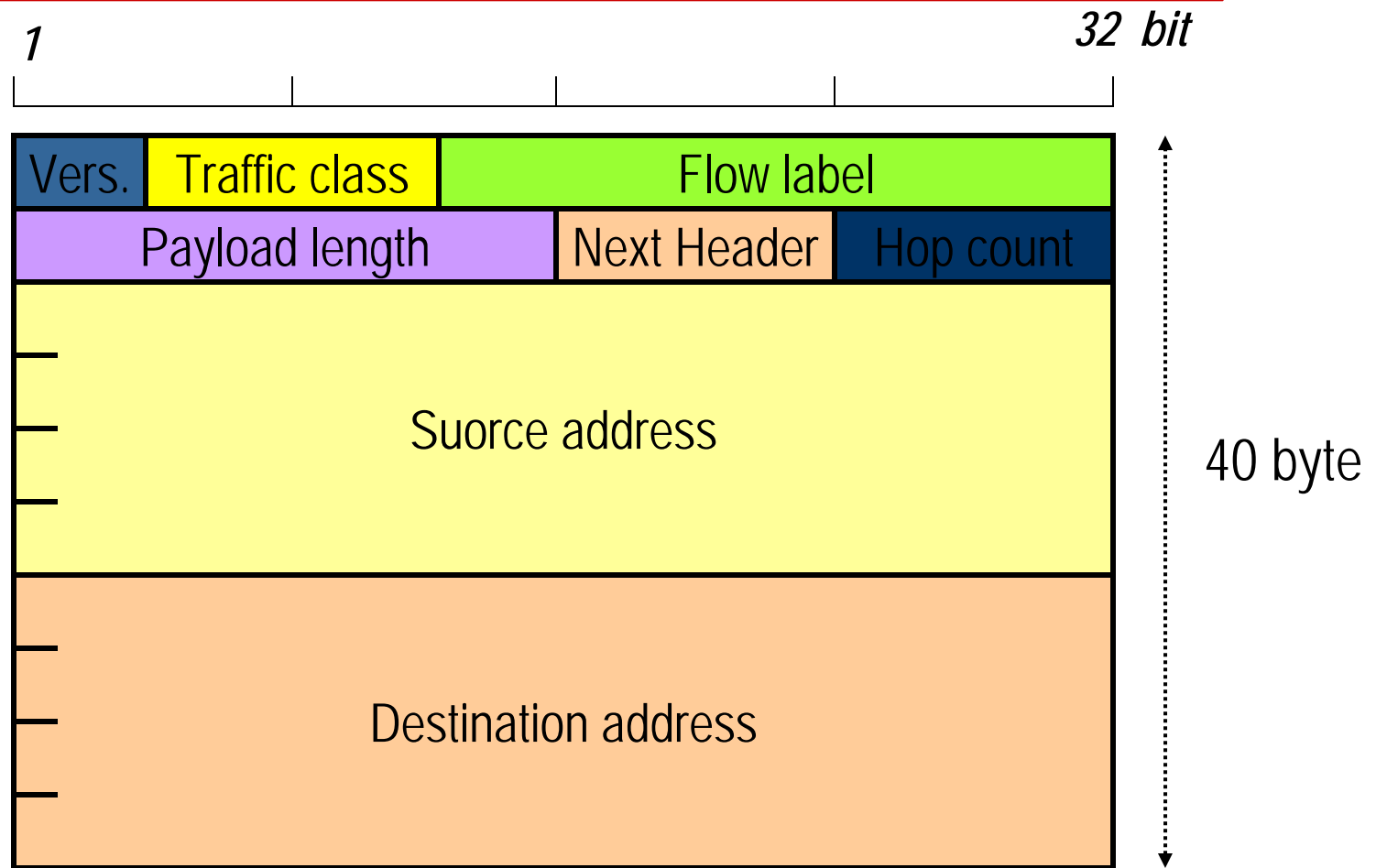
IPv6

- IP versione 6 è la nuova versione dell'Internet Protocol il cui processo di standardizzazione è iniziato negli anni '90
 - Mantiene l'impostazione fondamentale di IPv4 ma cambia molti aspetti
 - ... e soprattutto aumenta la lunghezza degli indirizzi da 32 a 128 bit
-

IPv6: le novità principali

- IPv6
 - Indirizzi, gestione delle opzioni, gestione della frammentazione, identificazione flussi, classi di traffico, niente header checksum, ecc.
 - ICMPv6:
 - Nuova versione di ICMP con funzionalità aggiuntive
 - ARP:
 - Eliminato e sostituito da ICMPv6
 - DHCPv6
 - Modificato per il nuovo protocollo (alcune funzioni sono svolte da ICMPv6)
 - Routing
 - RIPng e OSPFv6
-

Header IPv6

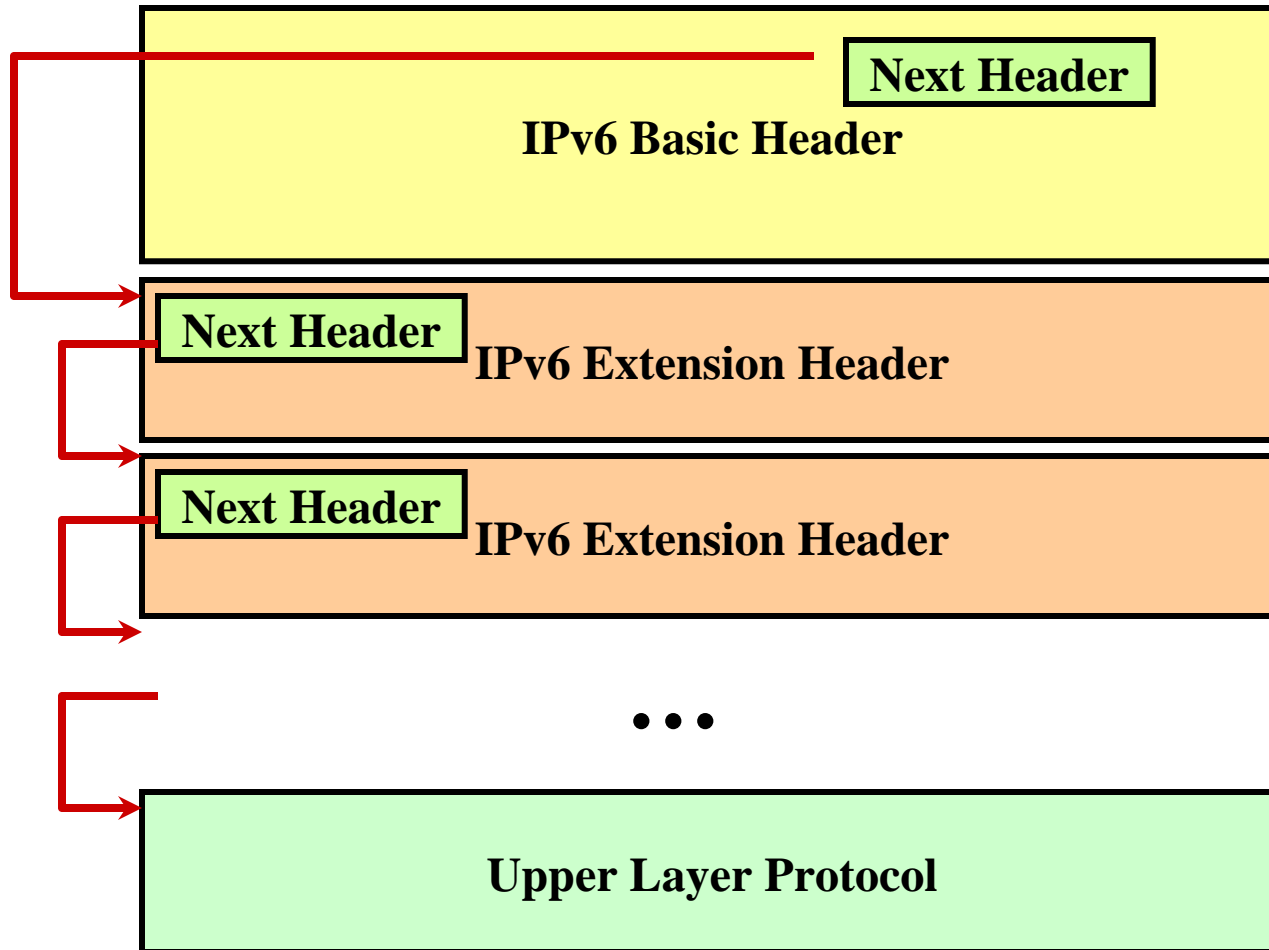


□ Basic Header

Header IPv6

Campo	Lung. (bit)	Descrizione
Version	4	<i>Versione del Protocollo (6)</i>
Traffic Class	8	<i>Campo utilizzabile per distinguere diversi tipi di traffico nelle reti Differentiated Services</i>
Flow Label	20	<i>Campo utilizzabile per identificare un flusso di pacchetti (stessa lunghezza di MPLS)</i>
Payload Length	16	<i>Lunghezza del pacchetto (eccetto basic header)</i>
Next Header	8	<i>Identifica il tipo di header che segue il basic header (può essere di livello superiore come TCP o un extension header)</i>
Hop Limit	8	<i>Stessa funzione del TTL di IPv4</i>
Source Address	128	<i>Indirizzo di sorgente</i>
Destination Add	128	<i>Indirizzo di destinazione</i>

Next Header



IPv6 Extension Headers

- ❑ Hop-by-hop option:
 - deve essere interpretato dai router
 - Ha varie opzioni per pacchetti lunghi e gestione di allineamenti a 32 bit
 - ❑ Source Routing:
 - Serve a obbligare i router a seguire un particolare percorso per il pacchetto
 - ❑ Fragmentation:
 - Implementa la frammentazione, ma questa può essere eseguita solo dal mittente che deve conoscere la massima MTU del path (la ottiene mediante i messaggi di MTU Path discovery di ICMPv6)
 - ❑ Autenticazione
 - Serve per l'autenticazione del mittente
 - ❑ Encrypted security payload
 - Serve per crittare il payload (altro pacchetto IP o livelli superiori)
-

Indirizzi IPv6

notazioni sintetiche:

- a gruppi di 2 byte in esadecimale:

8000:0000:0000:0000:8965:0678:A45C:87D3

- gli zeri possono essere omessi:

8000::8965:678:A45C:87D3

- notazione speciale per IPv4

::131.175.21.173

- numero di indirizzi per metro quadro di superficie terrestre: 7×10^{23}

(maggiore del numero di Avogadro)

Tipi di indirizzi IPv6

- IPv6 prevede un ricca varietà di indirizzi e assume che normalmente una interfaccia abbia più di un indirizzo associato
 - Destinatario
 - Unicast (*uno*)
 - Anycast (*almeno uno di un gruppo*)
 - Multicast (*tutti quelli di un gruppo*)
 - Uso
 - Globale
 - Locale (stesso link, stesso site)
-

Prefissi IPv6

- ❑ Così come IPv4 anche IPv6 assume i prefissi per una individuazione del campo che identifica l'interfaccia
- ❑ La notazione è la stessa (ad. Es. /60)
- ❑ I tipi diversi di indirizzi sono individuati dalla prima parte del prefisso (*format prefix - FP*)



Tipi di indirizzi IPv6

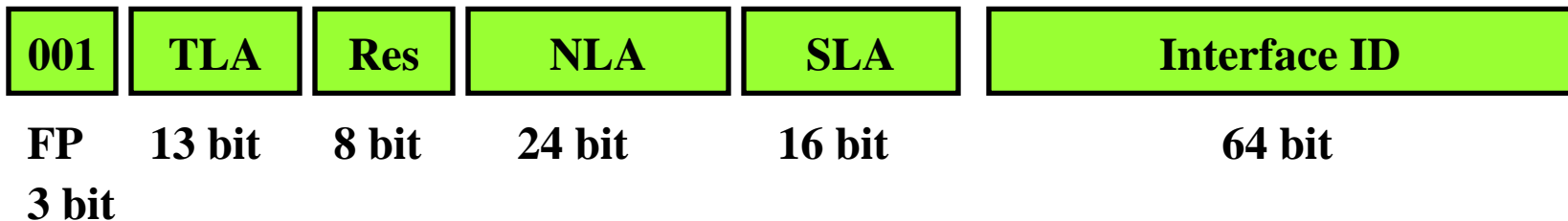
prefix (binary)	usage	fraction
0000 0000	Reserved for IPv4 addresses	1/256
0000 0001	Unassigned	1/256
0000 001	OSI NSAP addresses	1/128
0000 010	Novell Netware IPX addresses	1/128
0000 011	Unassigned	1/128
0000 1	Unassigned	1/32
0001	Unassigned	1/16
001	Aggregatable Global Unicast add.	1/8
010	Unassigned	1/8
011	Unassigned	1/8
100	Unassigned	1/8
101	Unassigned	1/8
110	Unassigned	1/8
1110	Unassigned	1/16
1111 0	Unassigned	1/32
1111 10	Unassigned	1/64
1111 110	Unassigned	1/128
1111 1110 0	Unassigned	1/512
1111 1110 10	Link local use addresses	1/1024
1111 1110 11	Site local use addresses	1/1024
1111 1111	Multicast	1/256

Indirizzi speciali

- **Unspecified address (0:0:0:0:0:0:0:0)**
 - Usato come indirizzo di sorgente quando il nodo non conosce altri suoi indirizzi
 - Non può essere usato come indirizzo di destinazione
 - **Loopback address (0:0:0:0:0:0:0:1)**
 - Indirizzo di loopback analogo al 127.x.y.z di IPv4
 - **IPv4-compatible IPv6 address (::IPv4_addr)**
 - Utilizzato per far comunicare host IPv6 quando occorre attraversare una rete IPv4 (96 zero + 32 bit IPv4_addr)
 - **IPv4-mapper IPv6 address (::FFFF:IPv4_addr)**
 - Utilizzati per far comunicare host IPv6 con host IPv4 (80 zero + 16 uno + IPv4_addr)
-

Aggregatable Global Unicast Address

- ❑ Formato unicast globale
- ❑ Struttura gerarchica per ridurre i problemi di scalabilità delle tabelle di routing
- ❑ 3 macrolivelli: Public Topology, Site Topology, Interface_ID



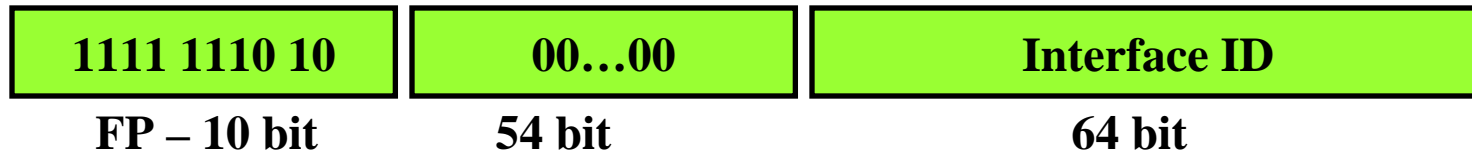
Aggregatable Global Unicast Address

- TLA (Top Level Aggregation)
 - *Livello gerarchico più elevato normalmente assegnato su base geografica o agli ISP di backbone*
- Res (Reserved) – future espansioni
- NLA (Next Level Aggregation)
 - *Ogni ISP con un TLA può strutturare gerarchicamente le sue reti con diversi NLA*
- SLA (Site Level Aggregation)
 - *Livello legato al singolo site (sottorete)*
- Interface ID
 - *64 bit con formato derivato da IEEE EUI-64*

I livelli NLA e SLA possono essere ulteriormente divisi gerarchicamente

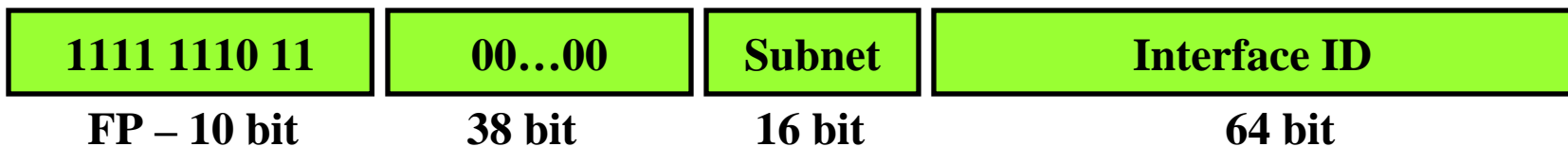
Link-Local Unicast Address

- FP = 1111 1110 10
- Sono indirizzi utilizzabili solo per l'indirizzamento su un singolo link (sottorete)
- IPv6 prevede che ogni interfaccia disponga di almeno un link-local unicast address
 - che viene normalmente assegnato per autoconfigurazione a partire dall'indirizzo fisico di interfaccia (IEEE EUI-64)
- Questi indirizzi sono fondamentali nel processo di Neighbor Discovery



Site-Local Unicast Address

- FP = 1111 1110 11
- Anche questi destinati ad uso locale
- Definiscono una spazio di indirizzamento privato



Multicast Address

- FP = 1111 1111
- Diversi sotto-tipi
 - Multicast global
 - Multicast link-local
 - Multicast site-local
- All'interno esistono indirizzi per usi speciali



Multicast Address

- Flags:
 - T=1 indirizzo temporaneo
 - T=0 indirizzo permanente
- Scope:
 - 0: reserved
 - 1: node-local scope
 - 2: link-local scope
 - 5: site-local scope
 - 8: organization-local scope
 - E: global scope
 - Altri: unassigned



Multicast indirizzi speciali

- ❑ FF01::1 = all systems node-local scope
- ❑ FF02::1 = all systems link-local scope
- ❑ FF01::2 = all-routers node-local scope
- ❑ FF02::2 = all-routers link-local scope
- ❑ FF05::2 = all-routers site-local scope

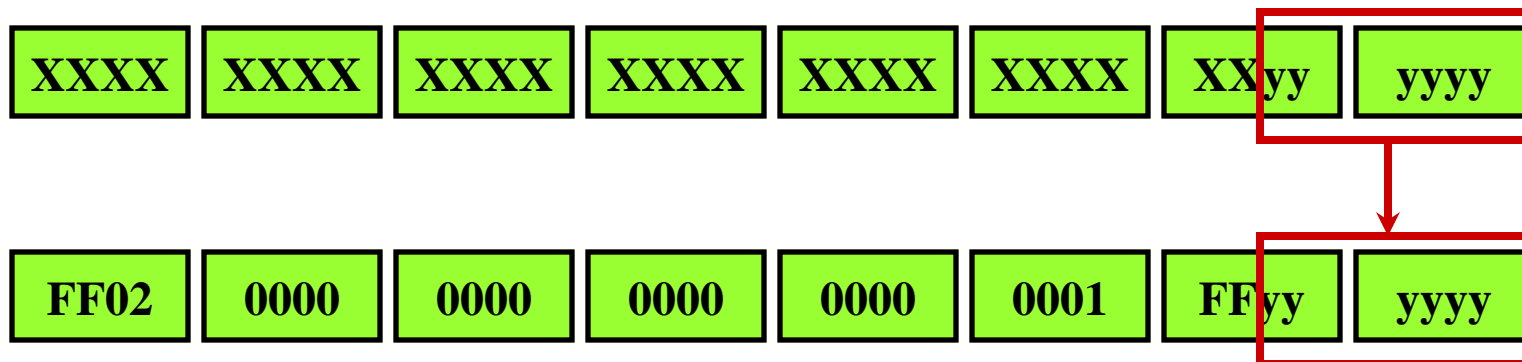
Indirizzi utilizzati in modo simile al broadcast locale suddividendo tra tutti i sistemi e tutti i router

Multicast indirizzi speciali

- Solicited-Node Multicast address
 - Ogni sistema IPv6 deve avere un “solicited-node multicast address” per ogni indirizzo unicast o anycast configurato
 - Tale indirizzo viene costruito automaticamente concatenando il prefix

FF02::1:FF00:0/104

- con gli ultimi 24 bit del corrispondente indirizzo unicast o anycast



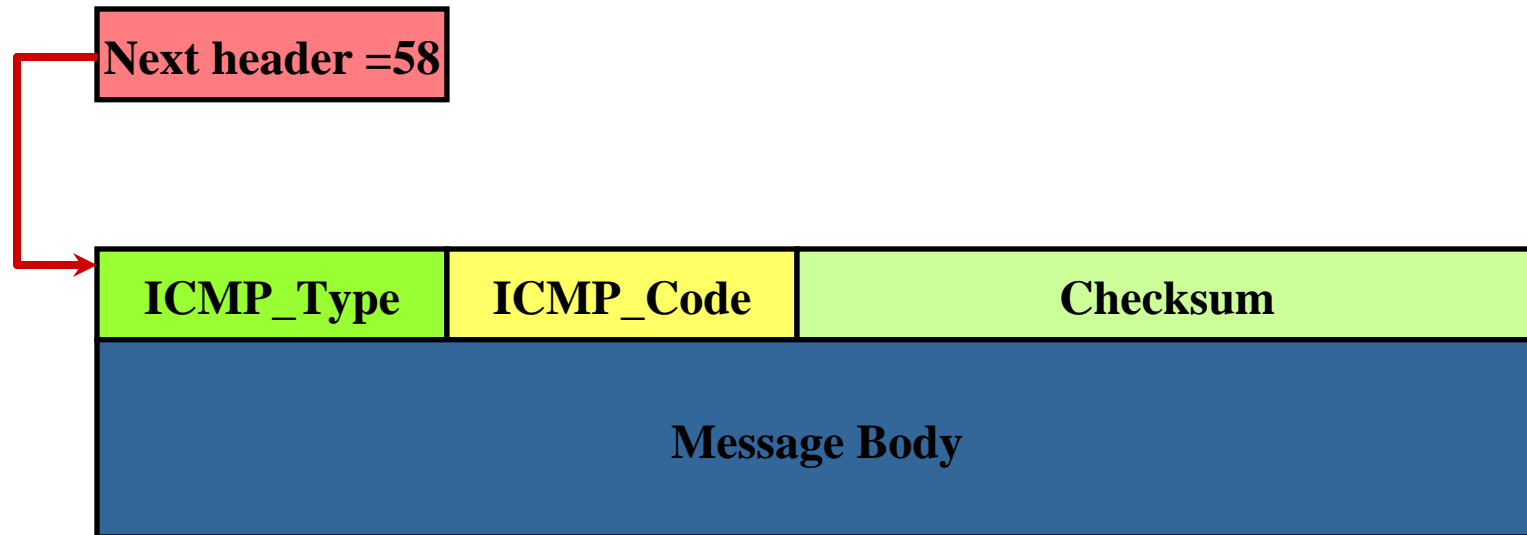
Molti indirizzi per diversi scopi

- IPv6 prevede l'uso di processi di autoconfigurazione
 - Normalmente un nodo deve:
 - Autoconfigurarsi un link-local address a partire dall'indirizzo fisico di 64 bit
 - Autoconfigurarsi un solicited-node multicast address per ogni indirizzo
 - Può autoconfigurarsi altri indirizzi mediante diverse procedure (vedi ICMP e DHCP)
-

ICMP version 6

- ICMP ha un'importanza molto maggiore con IPv6
 - Vengono svolte molte funzioni:
 - Error reporting e diagnostica di rete
 - Risoluzione degli indirizzi di livello link
 - Individuazione del router corretto
 - Controllo degli indirizzi IPv6 assegnati
 - Autoconfigurazione degli indirizzi IPv6
 - Calcolo del PATH-MTU per la frammentazione
-

ICMPv6: struttura dei messaggi



Alcuni tipi comuni

- Type=1 – destination unreachable
 - Type=2 – Packet too big
 - Type=3 – Time exceeded
 - Type=4 – Parameter problem,
 - Type=128 – Echo request
 - Type=129 – Echo reply
-

ICMPv6 Neighbors Discovery

- Sono previste diverse procedure di *ND*
 - Address Resolution
 - Funzione analoga a quella di ARP per IPv4
 - Router Discovery
 - Segnalare e scoprire presenza di router sul link
 - Redirection
 - Simile all'opzione redirect di IPv4
 - Neighbor Unreachability Detection
 - Scopre irraggiungibilità di host noti
-

ICMPv6 Neighbor Discovery

- Sono utilizzati molti indirizzi speciali (link-scope):**
 - All-systems Multicast Address (FF02::1)**
 - All-Routers Multicast Address (FF02::2)**
 - Solicited-node Multicast Address**
 - Unicast Link-Local Address**
 - Unspecified Address (0::0)**

 - E sono introdotti 5 nuovi tipi di messaggio:**
 - Router Solicitation message: type=133**
 - Router Advertisement message: type=134**
 - Neighbor Solicitation message: type=135**
 - Neighbor Advertisement message: type=136**
 - Redirect message: type=137**
-

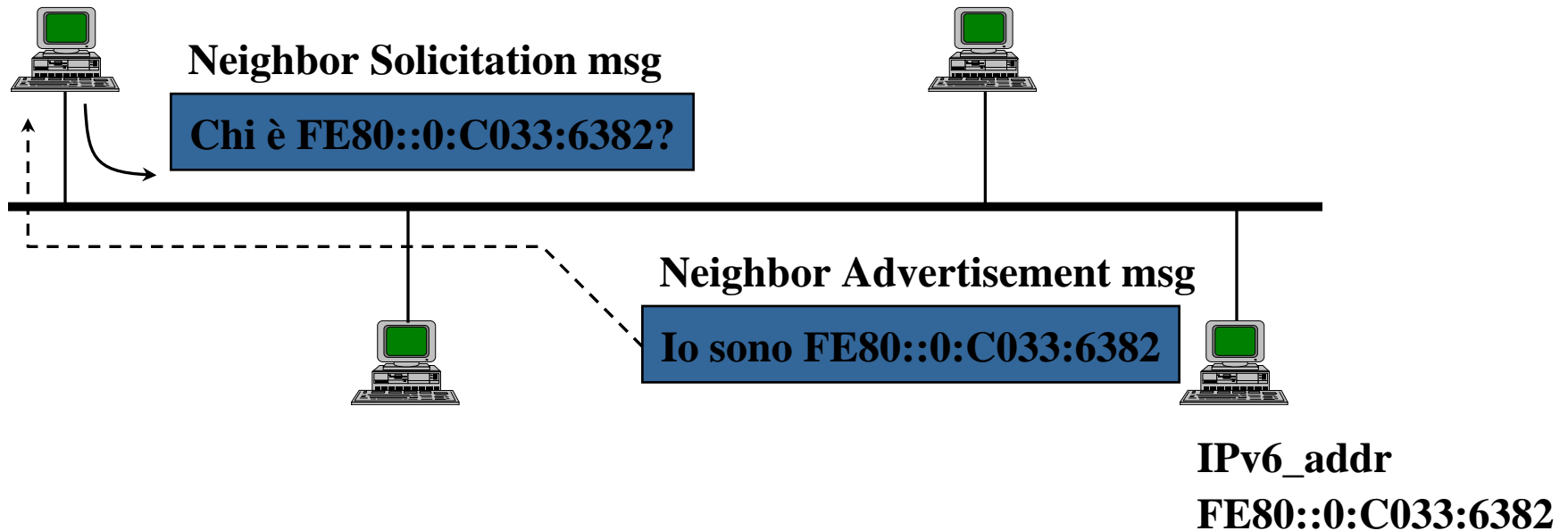
ICMPv6 Address Resolution

- Stessa funzione di ARP
 - Servono indirizzi multicast/broadcast sul livello inferiore
 - Si suppone l'esistenza di un mappaggio tra indirizzi multicast IPv6 e multicast/broadcast a livello link
 - Si fa uso dei messaggi di "Neighbor Solicitation" e Neighbor Advertisement"
-

ICMPv6 Address Resolution

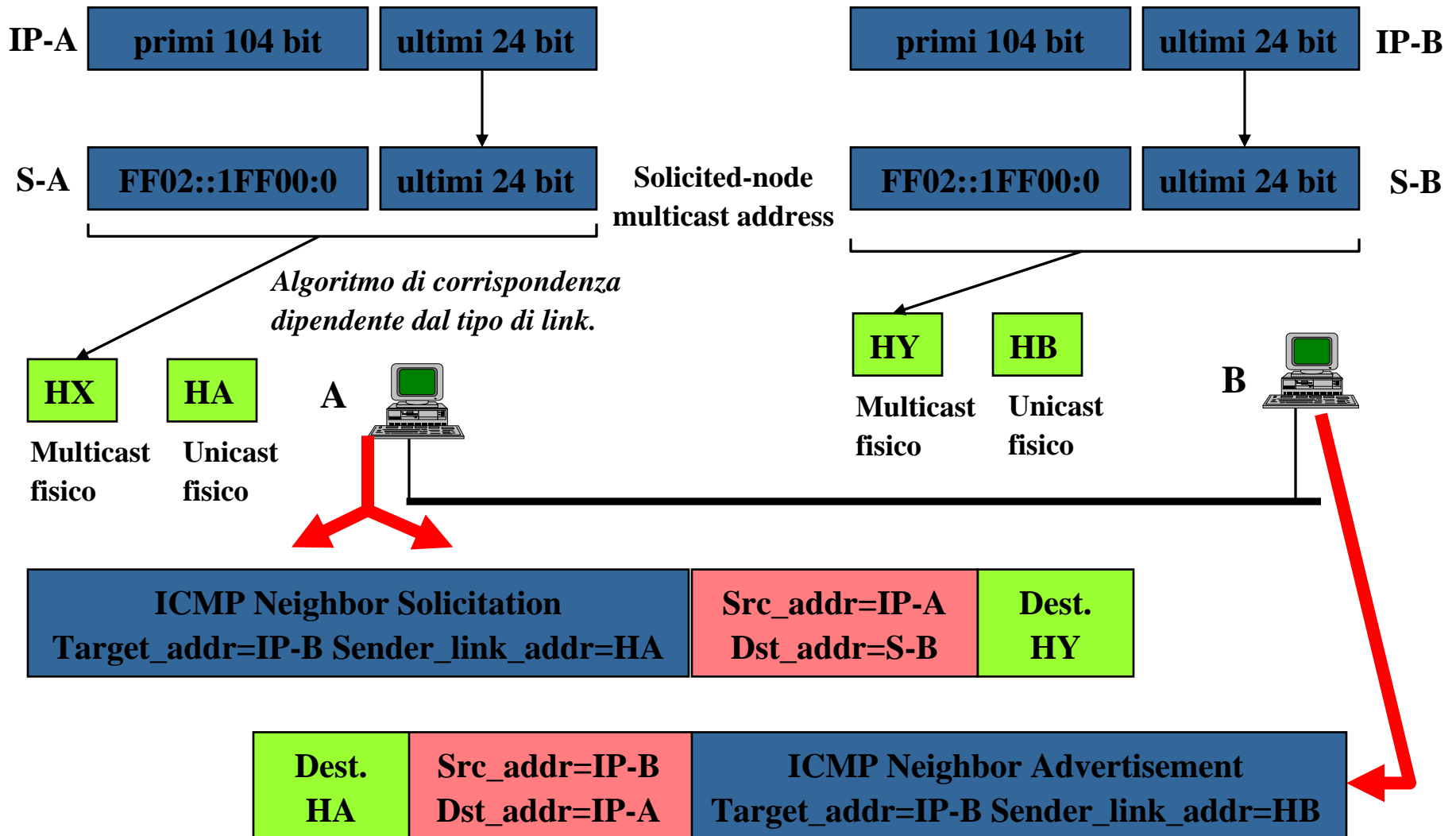
IPv6_addr

FE80::0800:2001:C782

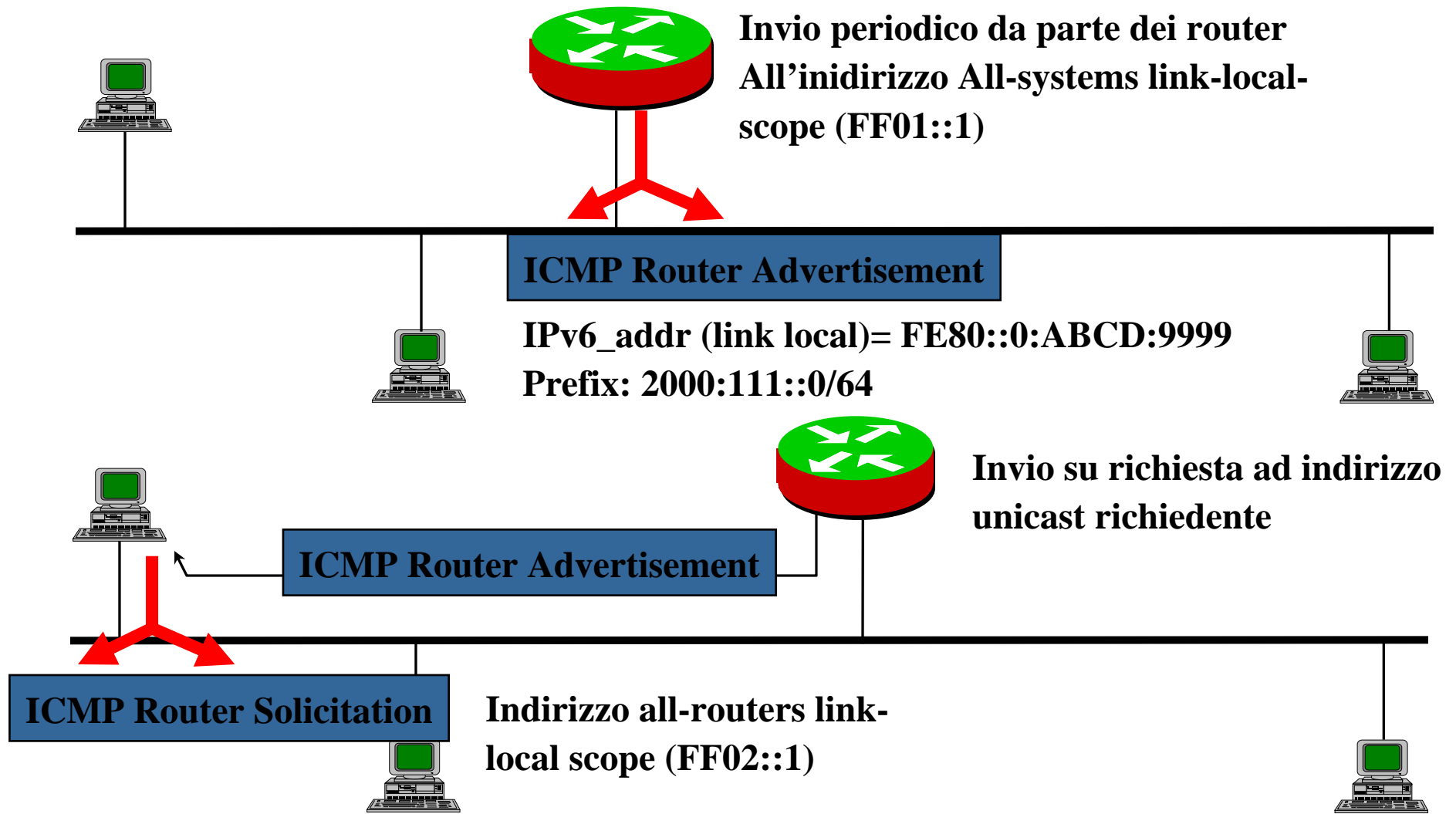


- ❑ Il messaggio di *Neighbor Solicitation* viene inviato all'indirizzo node-solicited multicast address che può essere ricavato anche dal richiedente
- ❑ Il messaggio di *Neighbor Advertisement* viene inviato all'indirizzo IPv6 di sorgente del pacchetto di richiesta

ICMPv6 Address Resolution



Router Discovery



Autoconfigurazione Indirizzi

- Oltre agli indirizzi Link-local si possono autoconfigurare indirizzi globali
 - Stateful configuration (tramite DHCPv6)
 - Stateless configuration (tramite ICMP)
 - Noto il prefisso annunciato dai router
 - Si può ricavare l'indirizzi a partire dall'indirizzo fisico a 64 bit
-

MTU Path Discovery

- ❑ Il mittente deve sapere la MTU più piccola sul percorso
 - ❑ Invia 1 pacchetto con pacchetto lungo quanto MTU primo link
 - ❑ Se arriva messaggio ICMP errore "Packet too big" ridurre MTU
 - ❑ Fino a che non arrivano più messaggi di errore
-

Migrazione IPv4 – IPv6

- Si basa sull'uso di queste componenti:
 - Dual stack:
 - Sistemi con doppio stack IPv4 e IPv6
 - Tunneling:
 - Attraversamento di porzioni di rete IPv4 mediante tunneling
 - Header translation:
 - Traduzione degli header dei due formati
-

IPv6: Approfondimenti

□ Libri:

- C. Huitema, IPv6: The Next Generation Protocol, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1997.

□ Articoli:

- W. Stallings, "IPv6: the new Internet protocol", IEEE Communications Magazine , July 1996, pp. 96 –108.
- D.C. Lee et al., "The next generation of the Internet: aspects of the Internet protocol version 6", IEEE Network , vol. 12, no 1, Jan.-Feb. 1998, pp. 28 –33.

□ Links:

- IP Next Generation (R. Hinden),
<http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-main.html>
-