



IPv4

Internet Protocol Versione 4

Silvano GAI
sgai[at]cisco.com

Mario BALDI
<http://staff.polito.it/mario.baldi>

Fulvio RISSO
fulvio.risso[at]polito.it





Nota di Copyright

Questo insieme di trasparenze (detto nel seguito slide) è protetto dalle leggi sul copyright e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Il titolo ed i copyright relativi alle slide (ivi inclusi, ma non limitatamente, ogni immagine, fotografia, animazione, video, audio, musica e testo) sono di proprietà degli autori indicati a pag. 1.

Le slide possono essere riprodotte ed utilizzate liberamente dagli istituti di ricerca, scolastici ed universitari per scopi istituzionali, non a fine di lucro. In tal caso non è richiesta alcuna autorizzazione.

Ogni altra utilizzo o riproduzione (ivi incluse, ma non limitatamente, le riproduzioni su supporti magnetici, su reti di calcolatori e stampate) in toto o in parte è vietata, se non esplicitamente autorizzata per iscritto, a priori, da parte degli autori.

L'informazione contenuta in queste slide è ritenuta essere accurata alla data dell'edizione. Essa è fornita per scopi meramente didattici e non per essere utilizzata in progetti di impianti, prodotti, reti, ecc. In ogni caso essa è soggetta a cambiamenti senza preavviso. Gli autori non assumono alcuna responsabilità per il contenuto di queste slide (ivi incluse, ma non limitatamente, la correttezza, completezza, applicabilità, aggiornamento dell'informazione).

In ogni caso non può essere dichiarata conformità all'informazione contenuta in queste slide.

In ogni caso questa nota di copyright non deve mai essere rimossa e deve essere riportata anche in utilizzi parziali.



Cenni storici

- Nella prima metà degli anni `70 la DARPA (Defence Advanced Research Project Agency) dimostra interesse per la realizzazione di una rete:
 - a commutazione di pacchetto
 - tra elaboratori eterogenei
 - per le istituzioni di ricerca degli USA
- DARPA finanzia l'Università di Stanford e la BBN (Bolt, Beranek e Newman)




Cenni storici

- Verso la fine degli anni `70 si completa la realizzazione dell'Internet Protocol Suite, di cui i due principali protocolli sono:
 - IP: Internet Protocol
 - TCP: Transmission Control Protocol
- Da cui il nome TCP/IP usato per questa architettura di rete
- Nasce la rete Arpanet, prima rete della ricerca mondiale che evolve e diventa Internet



Internet

- Usa i protocolli TCP/IP
 - La più grande rete di calcolatori al mondo
 - È in realtà una “rete di reti” che collega:
 - centinaia di migliaia di domini
 - centinaia di migliaia di reti
 - milioni di calcolatori
 - Ha un tasso di crescita elevatissimo
 - un nuovo dominio collegato ogni 2 minuti
 - una nuova rete collegata ogni 10 minuti
 - il numero di calcolatori connessi cresce del 6% al mese
- 



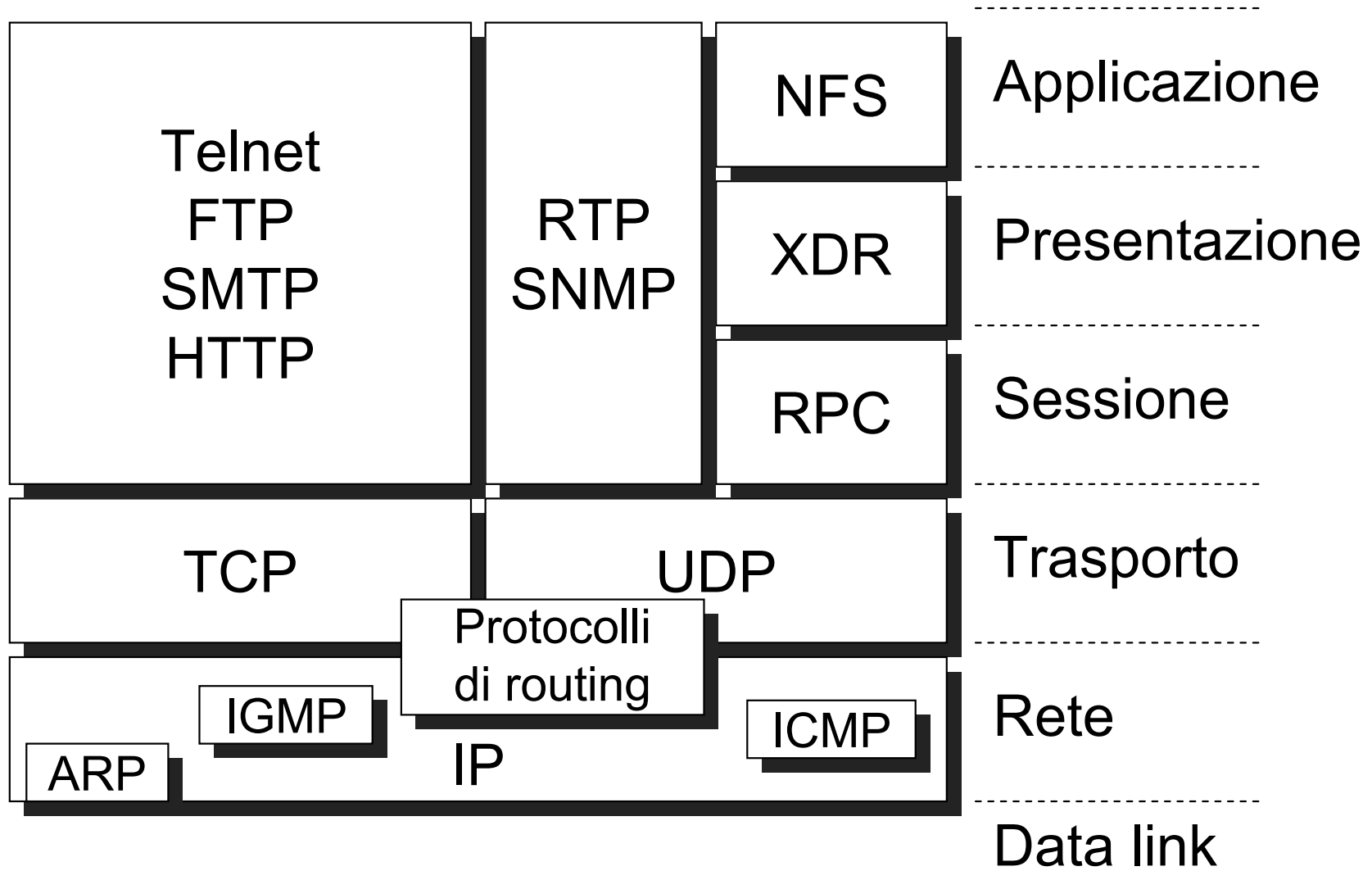


L'architettura TCP/IP

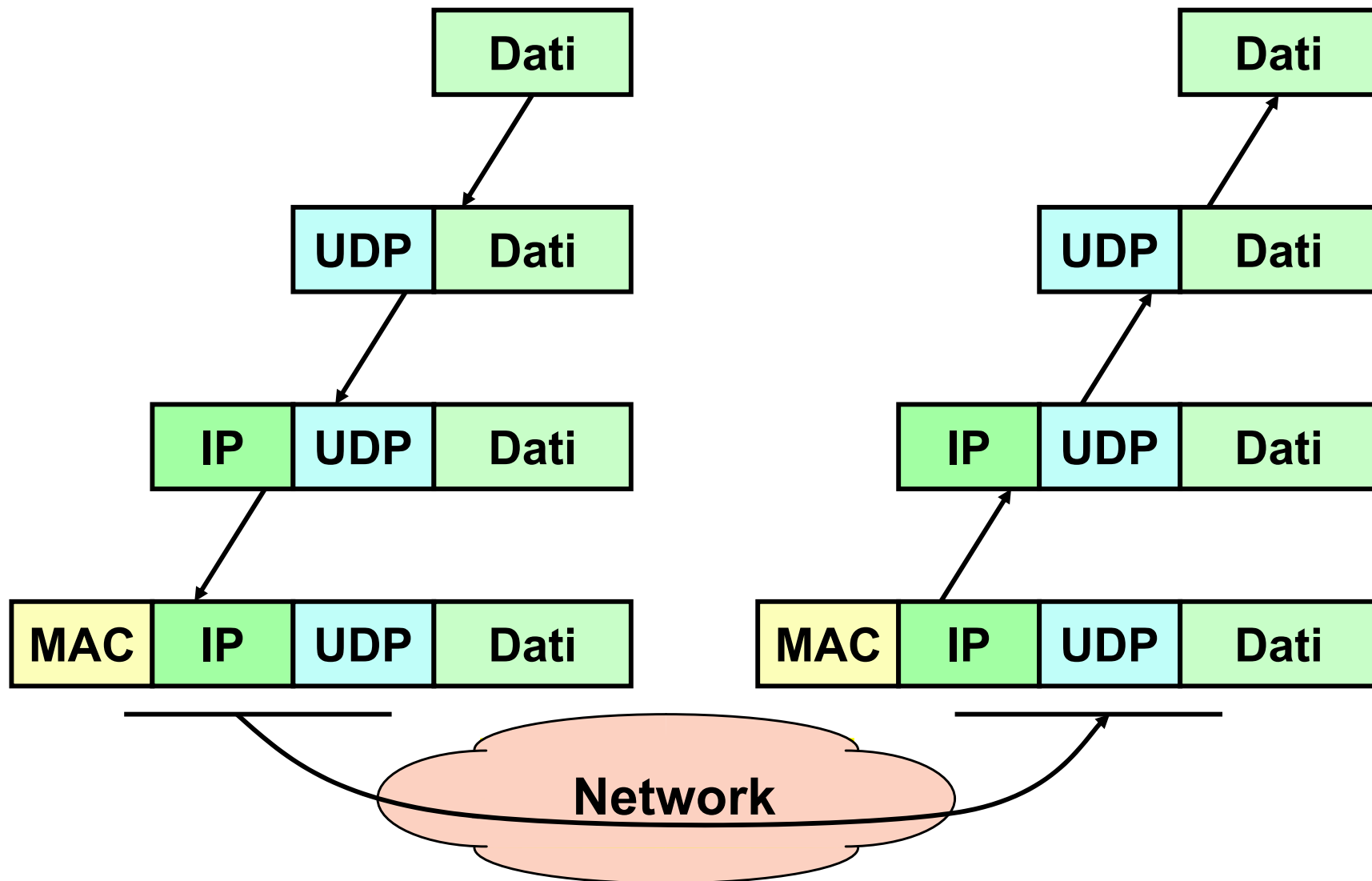
- Comprende anche molti altri protocolli, quali
 - UDP (User Datagram Protocol)
 - NFS (Network File System)
- È di dominio pubblico
- Realizzata da tutti i costruttori di calcolatori
- Molto spesso è l'unica architettura di rete fornita
- Standardizzata con dei documenti detti RFC (Request For Comment)



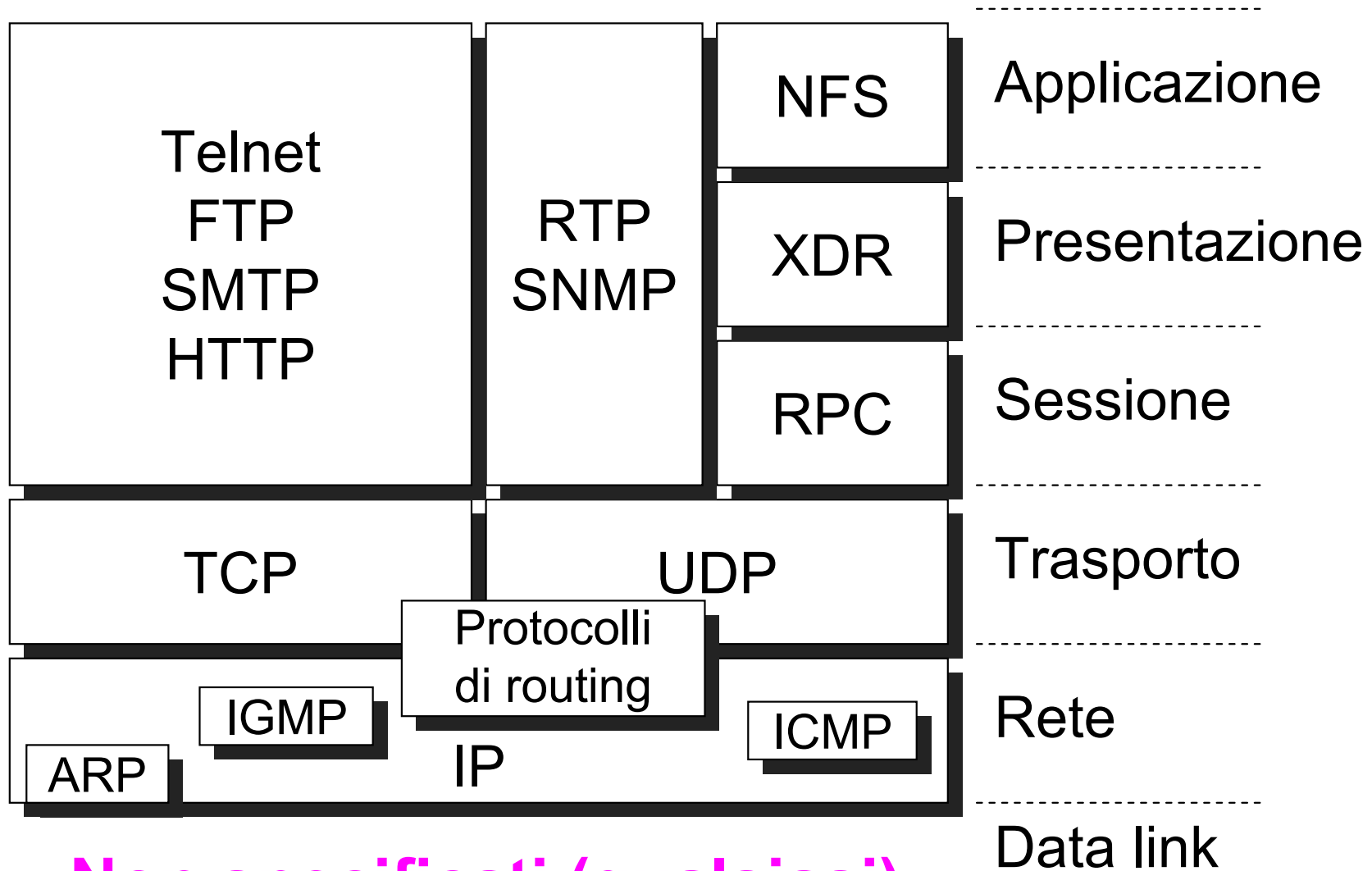
L'Architettura di rete TCP/IP



Imbustamento



I livelli 1 e 2



Non specificati (qualsiasi)

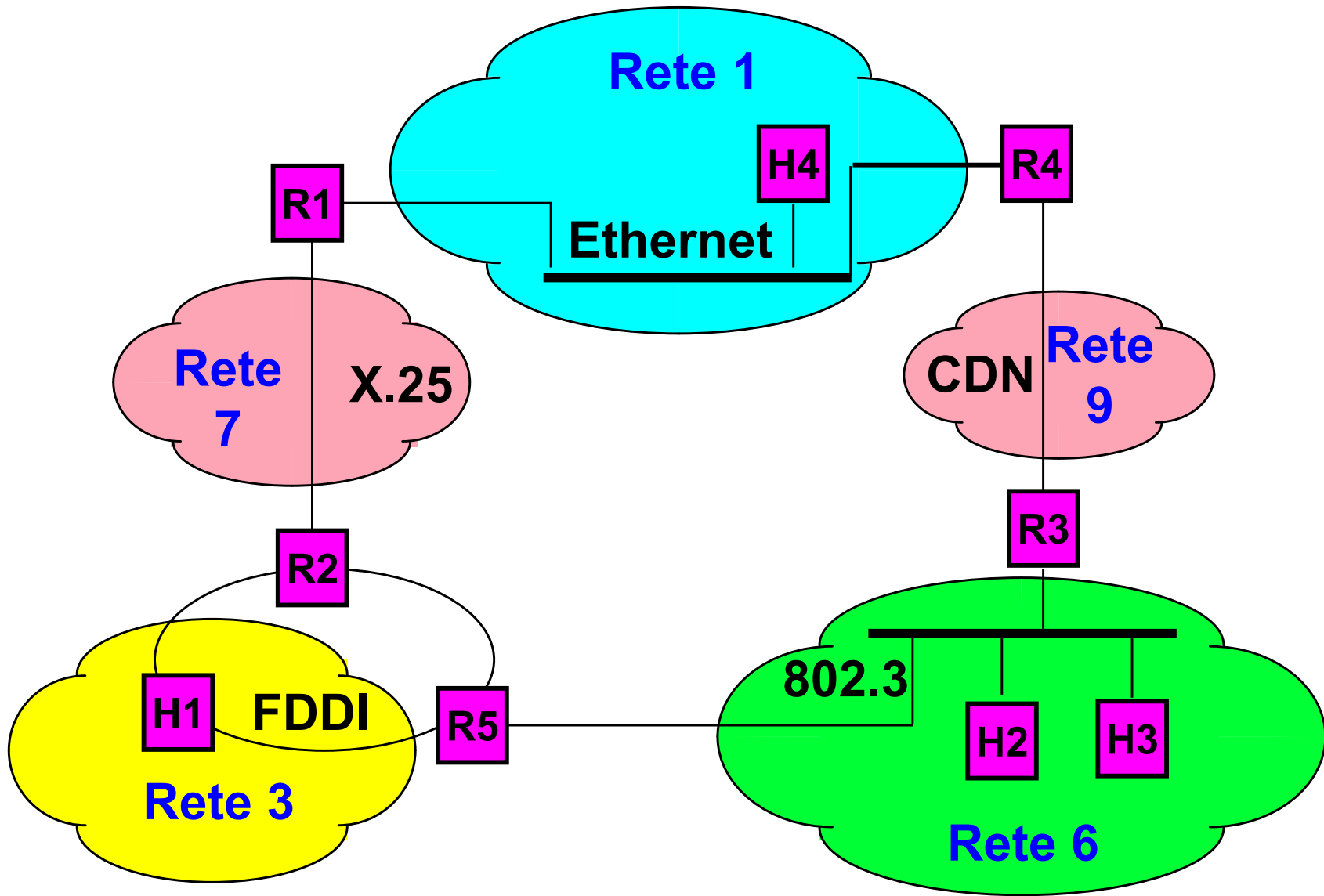


Sotto l'IP - I livelli 1 e 2

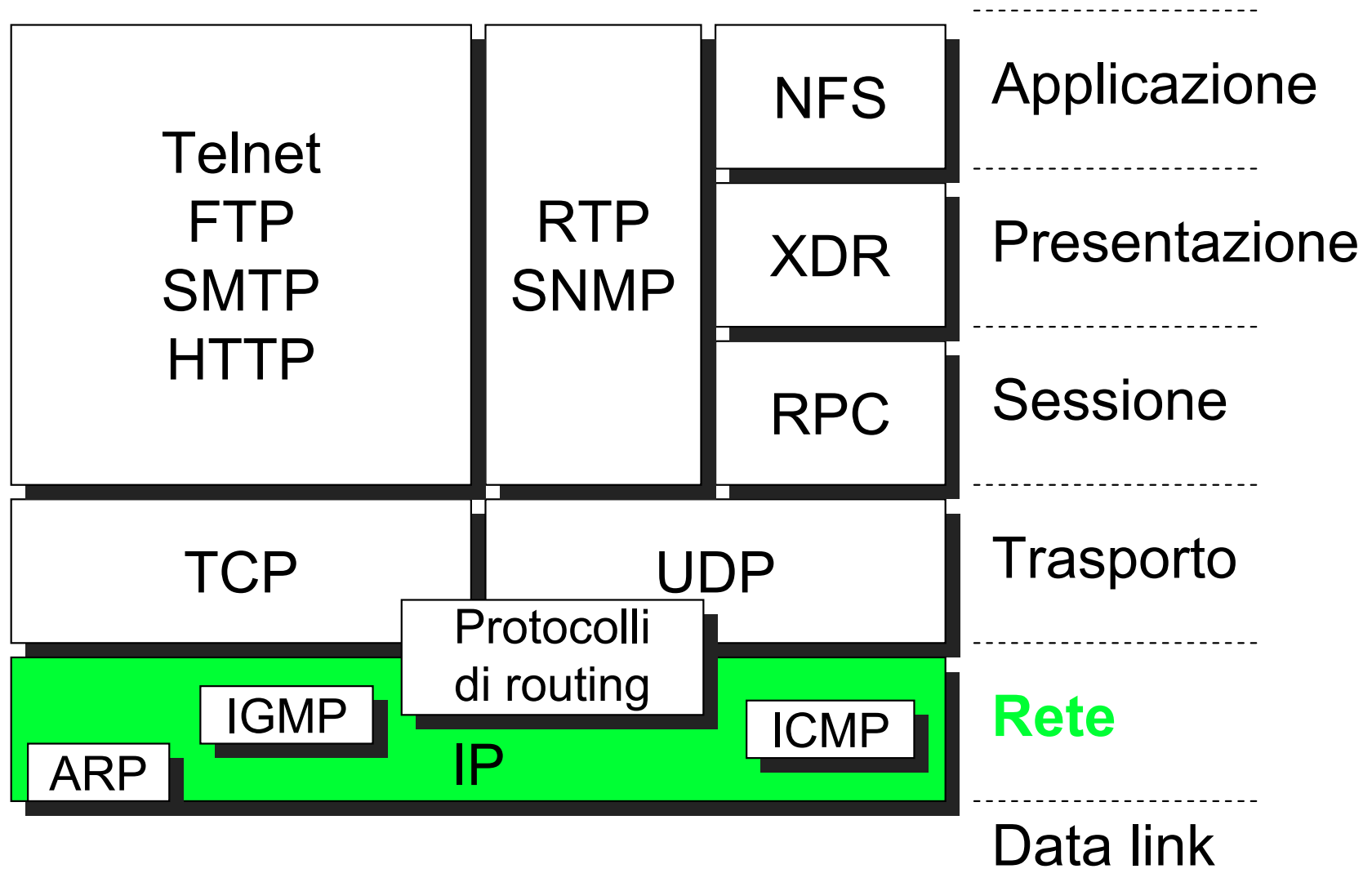
- L'architettura TCP/IP è concepita come un mezzo per fare internetworking tra reti (locali o geografiche)
 - È in grado di operare su tutte le reti:
 - Ethernet, token-ring, FDDI
 - ATM, SMDS, Frame Relay
 - X.25
 - SLIP, PPP, Dialup
 - Esistono realizzazioni di TCP/IP anche per reti non standard
- 



Gerarchia



L'IP: Internet Protocol





IP: Internet Protocol

- È il livello Network di TCP/IP
- Offre un servizio non connesso
- Semplice protocollo di tipo Datagram
- Un protocollo datato ...
- ... ma non obsoleto


Oggi: IP-v.4

Domani: (forse) IP-v.6





Datagram vs Connection Oriented

- I pacchetti viaggiano su percorsi indipendenti
 - Out of order delivery
 - Bandwidth Management difficoltoso
 - riservare e garantire banda
 - rifiutare connessioni (Call Acceptance Control)
 - Meno complesso: non richiede negoziazione nè lato utente, nè all'interno della rete
 - Robusto: si adatta a variazioni di traffico, topologia, guasti
 - Adatto al traffico dati (bursty)
- 



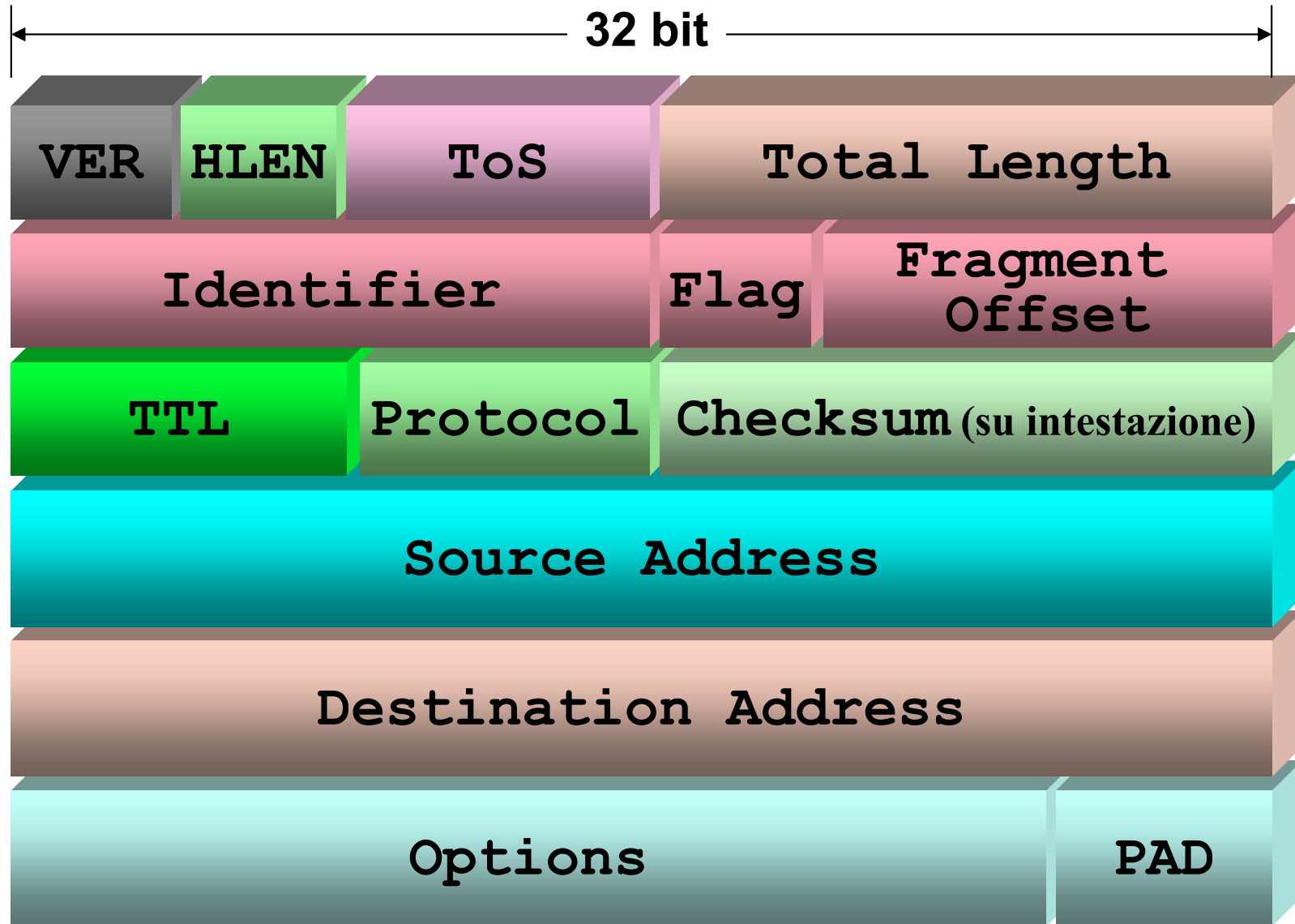


IP: funzionalità

- Frammentazione e riassettaggio dei pacchetti
- Gestione indirizzi a 32 bit a livello di rete e di host
- Routing
- Configurazione di classi di servizio




Formato dell'intestazione IPv4





Campi dell'header IP

- **VER: Versione**
 - **LIN: Header Length (lunghezza dell'intestazione)**
 - in blocchi di 4 byte (max 64 byte)
 - **ToS: Type of Service**
 - tipo di servizio, attualmente non usato
 - **Lunghezza totale**
 - lunghezza globale del pacchetto corrente (non quello prima della frammentazione), max 2^{16} byte
 - **Identificatore**
 - ID univoco del pacchetto (costante nel caso di frammentazione), necessario per la deframmentazione
- 





Campi dell'header IP (2)

■ Flag

- 0: posto a zero
- DF: Don't Fragment
- MF: More Fragment (0 sull'ultimo frammento)

■ Fragment Offset

- In multipli di 8 byte

■ Time To Live (TTL)

- contatore decrementato ad ogni hop

■ Protocol

- TCP, UDP, ICMP, ...

■ Checksum

- protegge solo l'intestazione
- 





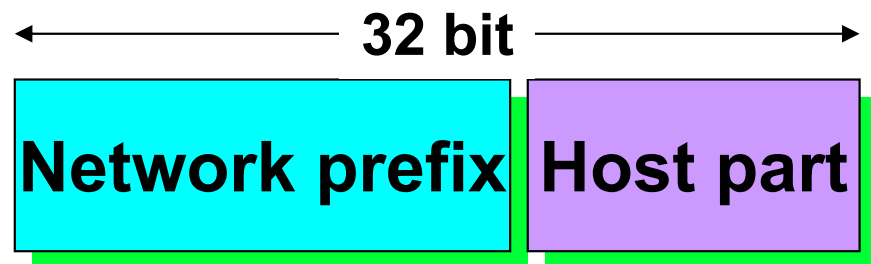
Campi dell'header IP (3)

- Indirizzo IP mittente e destinatario
- Opzioni
 - Formato TLV
 - Es. Source Routing, Route Recording, Timestamp
- PAD: padding (imbottitura)
 - necessario per allineare le opzioni a 32 bit (per LIN)



Indirizzi IP

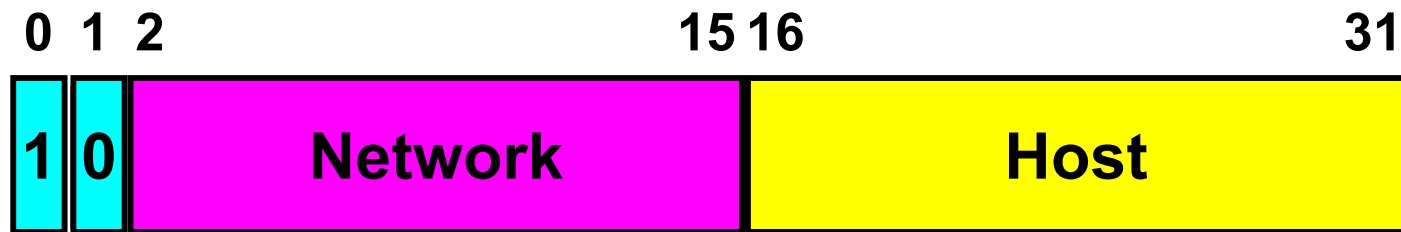
- Sono ampi 32 bit (4 byte)
- Si scrivono come 4 numeri decimali separati dal carattere “.”
- Ogni numero rappresenta il contenuto di un byte ed è quindi compreso tra 0 e 255
- Esempi
 - 131.190.0.2
 - 1.1.2.17
 - 200.70.27.33
- Sono assegnati alle interfacce



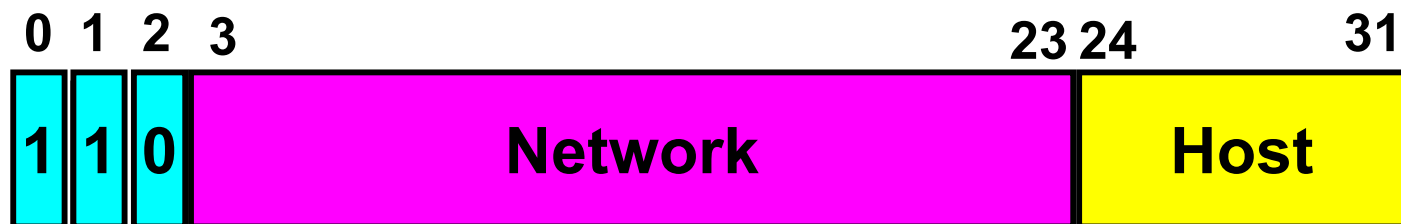
Indirizzamento



Classe A



Classe B



Classe C

Classe A

■ Campo rete

- 7 bit
- max 128 reti
- valori compresi tra 0 e 127

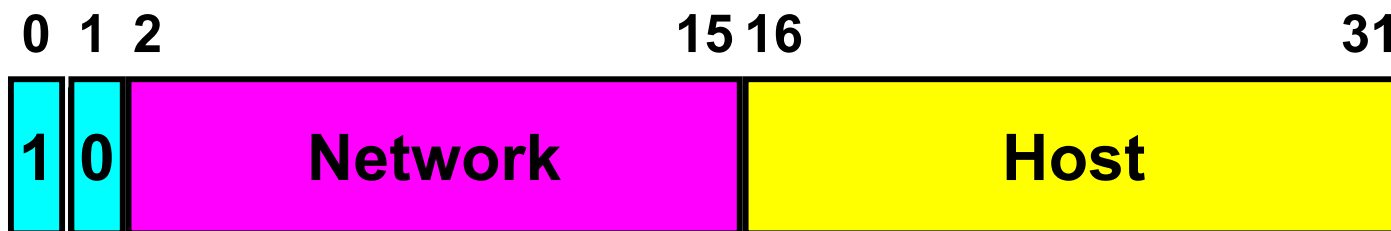
■ Campo host

- 24 bit
- max 16M host



Classe B

- Campo rete
 - 14 bit
 - max 16K reti
 - valori compresi tra 128 e 191
- Campo host
 - 16 bit
 - max 64K host



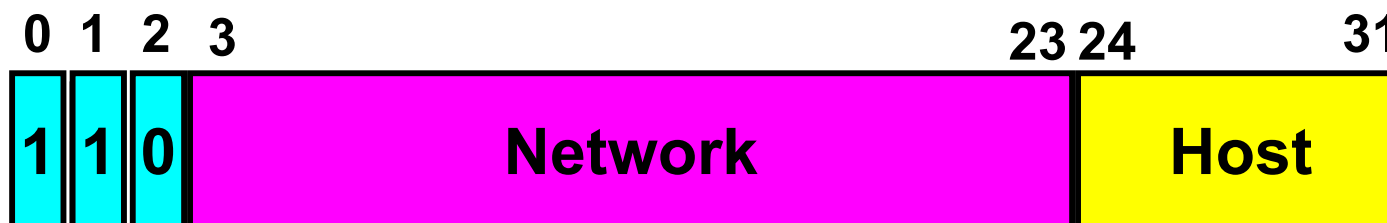
Classe C

■ Campo rete

- 21 bit
- max 2M reti
- valori compresi tra 192 e 223

■ Campo host

- 8 bit
- max 256 host



Classi D ed E



Classe D



Classe E



Indirizzi particolari

All 0s

This host¹

All 0s	Host
--------	------

Host on this net¹

All 1s

Limited broadcast (local net)²

Net	All 1s
-----	--------

Directed broadcast for net²

127	Anything (often 1)
-----	--------------------

Loopback³



¹ Permessso solo al bootstrap ed è usabile solo come indirizzo sorgente

² Può essere usato solo come indirizzo destinazione

³ Non deve essere propagato dai router sulla rete



Network particolari

- Alcune indirizzi sono riservati per essere usati su reti private
 - Non sono annunciate su Internet, quindi non sono raggiungibili direttamente

10.0.0.0 - 10.255.255.255

1 network di classe A

172.16.0.0 - 172.31.255.255

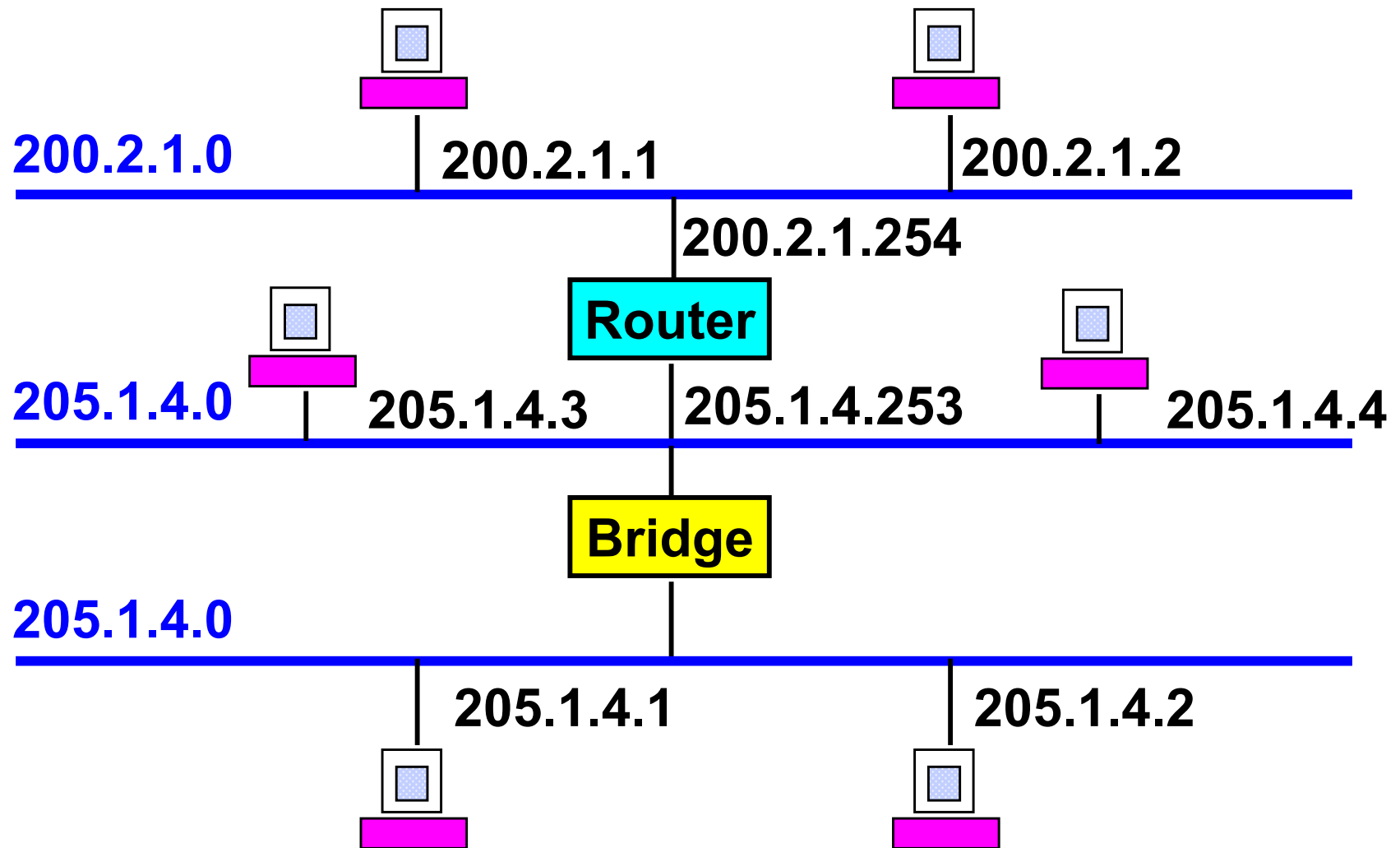
16 indirizzi di classe B

192.168.0.0 - 192.168.255.255

256 indirizzi di classe C



Reti logiche e fisiche





Reti logiche e reti fisiche

■ Logical IP Subnet: LIS

- Insieme di host con lo stesso prefisso IP

■ Rete fisica

- Insieme di host che possono inviarsi pacchetti IP direttamente
 - Senza intervento di un router

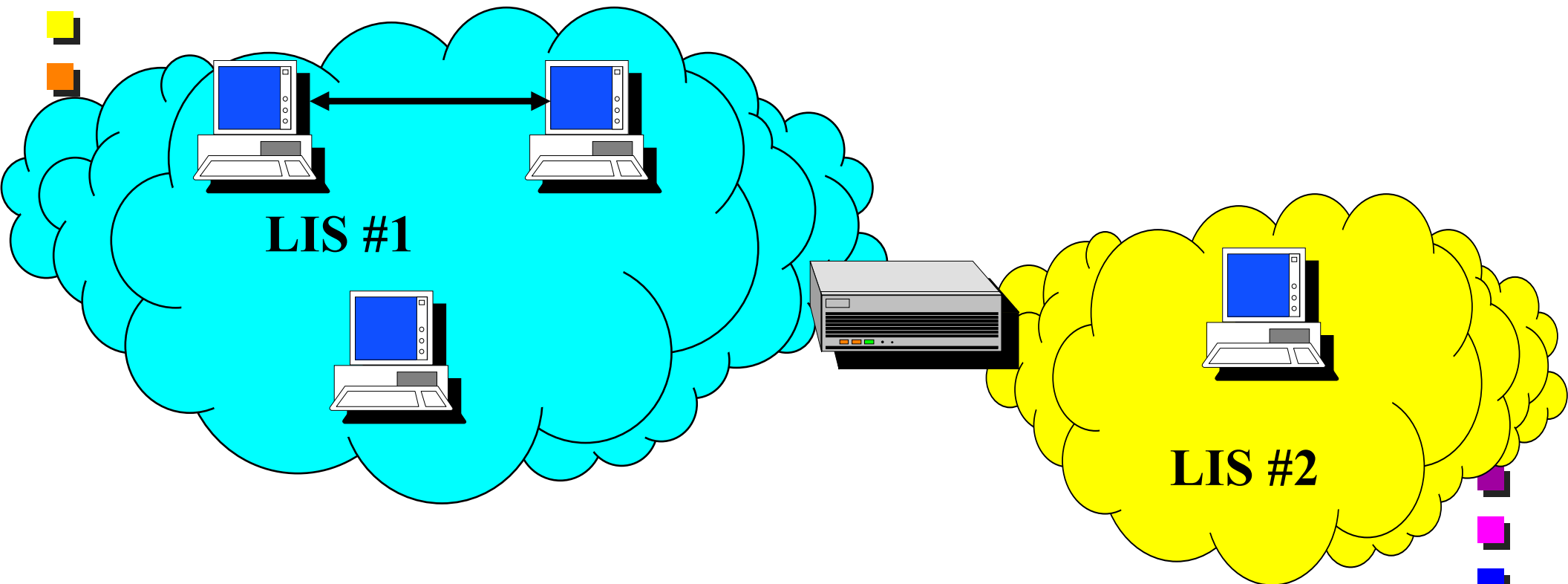
IP assume una corrispondenza biunivoca tra reti fisiche e logiche

■ Realizzazioni più moderne ammettono

- più reti logiche sulla stessa rete fisica
 - più reti fisiche nella stessa rete logica (Proxy ARP)
- 

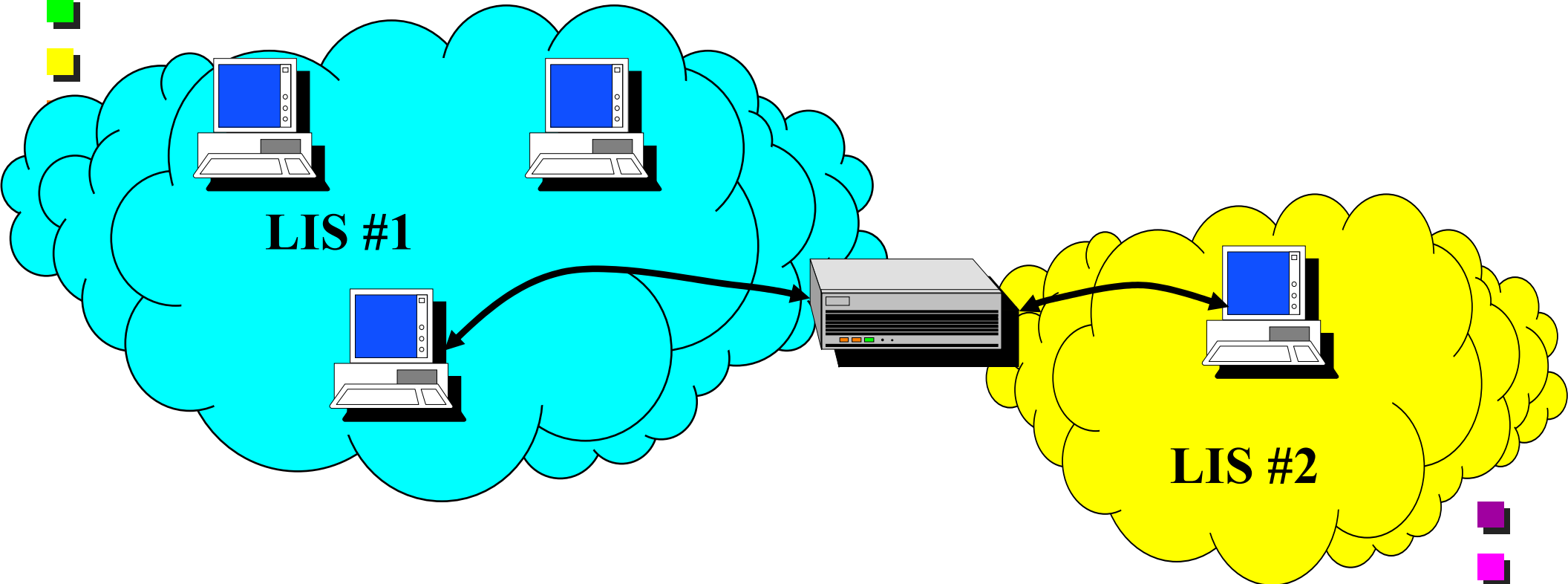


Routing IP (instradamento)



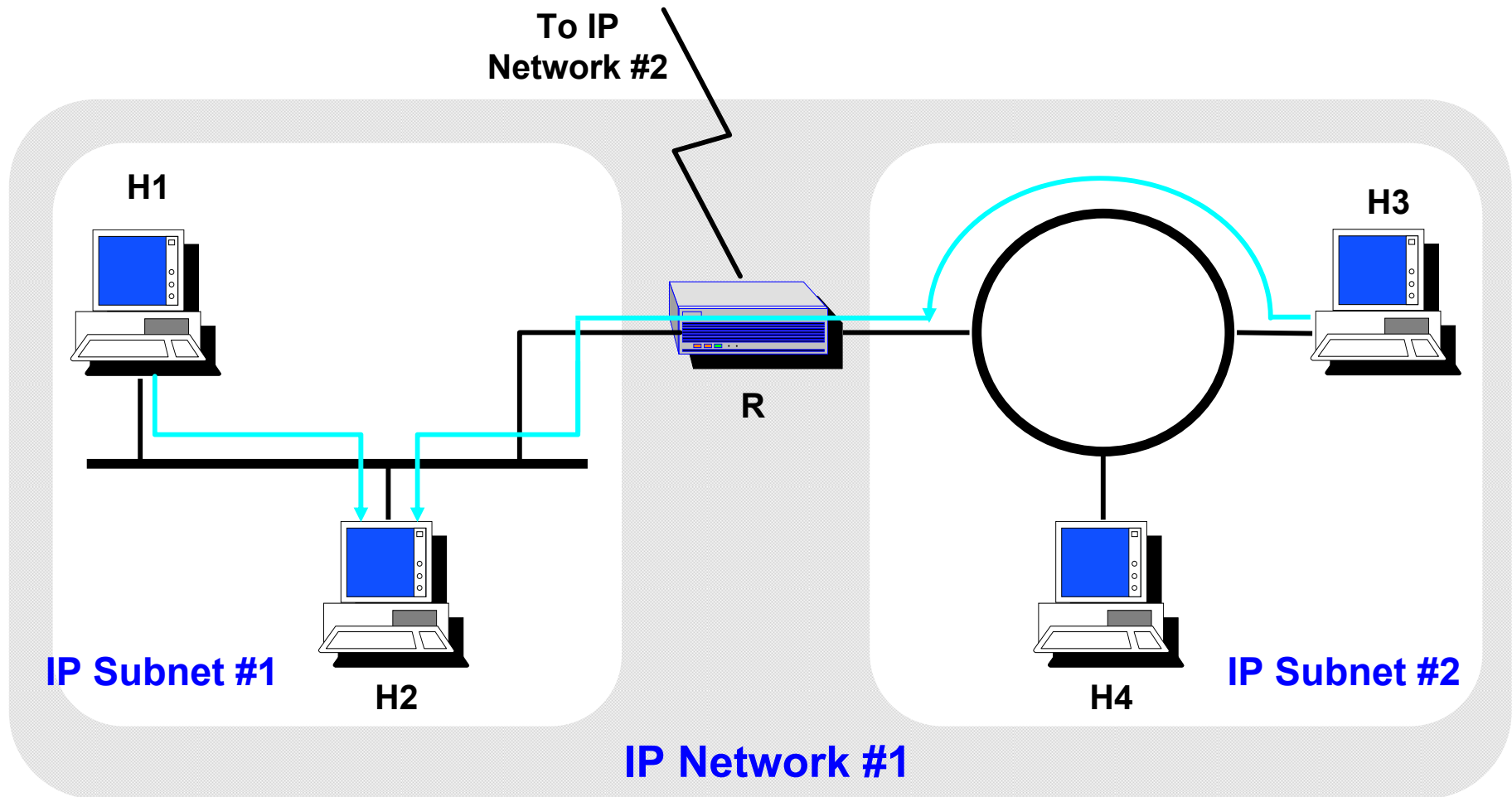
- All'interno della LIS la consegna è affidata alla rete fisica
 - avviene a livello data link

Routing IP (instradamento)

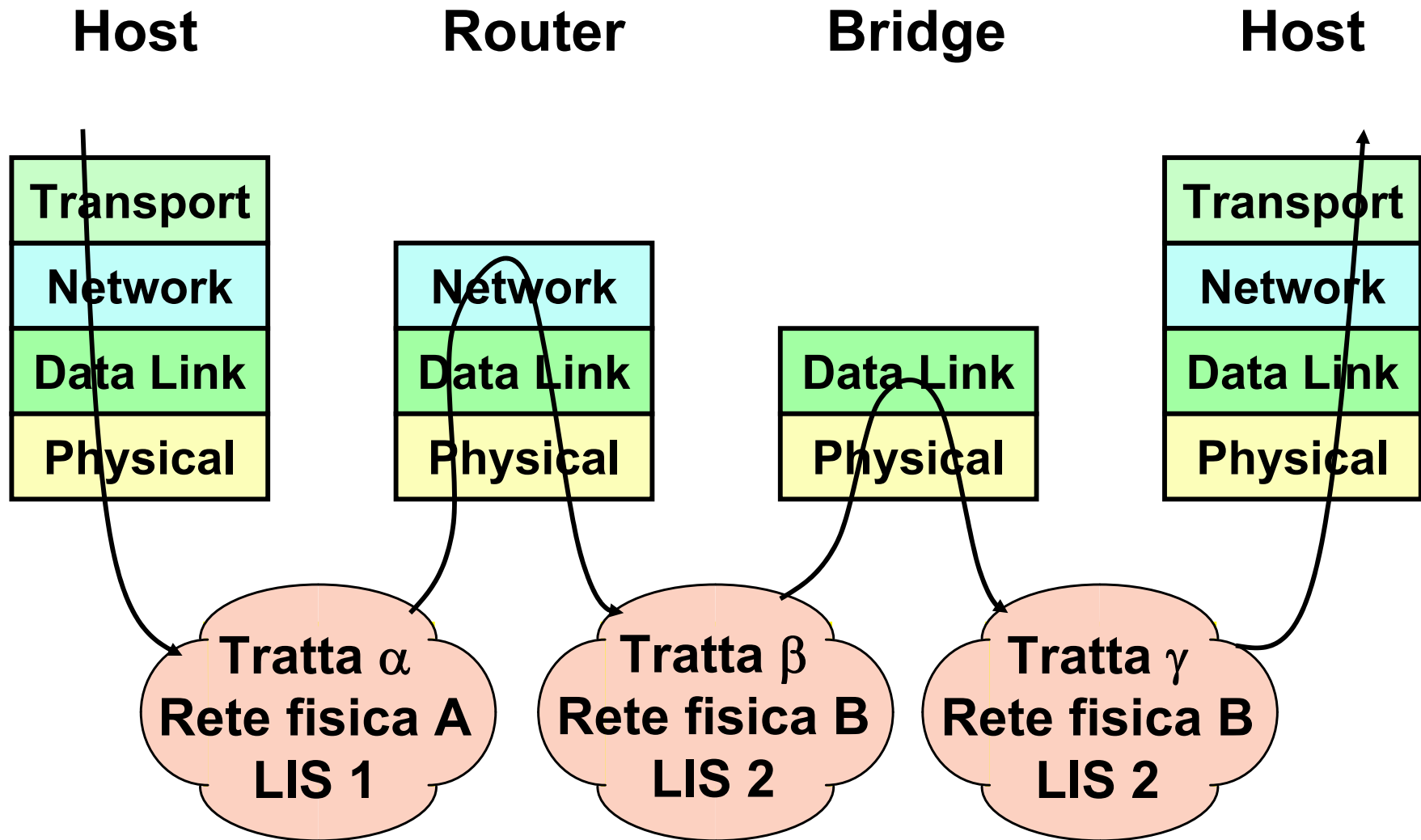


- La consegna tra LIS differenti è affidata ai router
 - Avviene a livello rete
- L'host conosce almeno un *default gateway*
 - Fornito in fase di configurazione

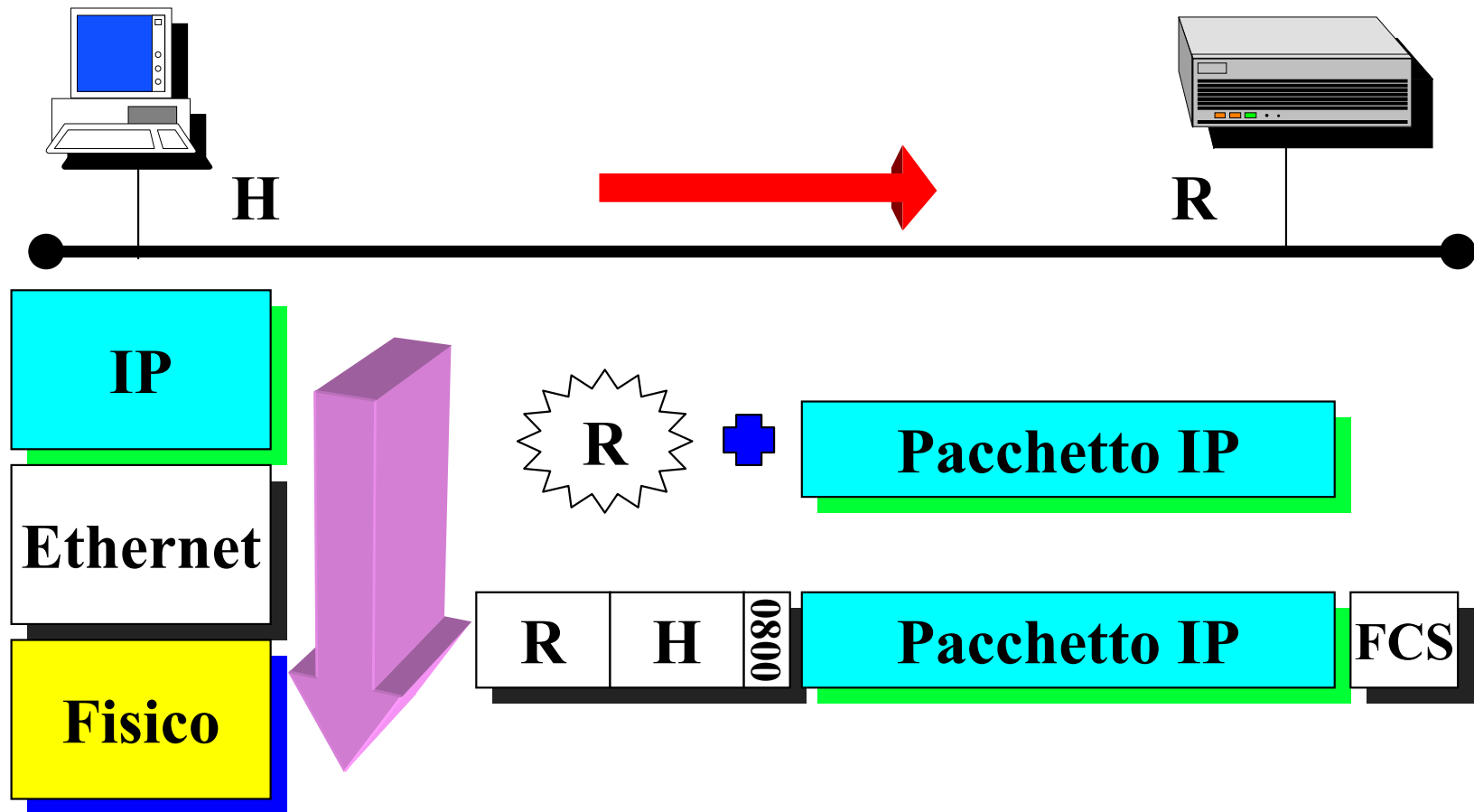
Esempi di instradamento

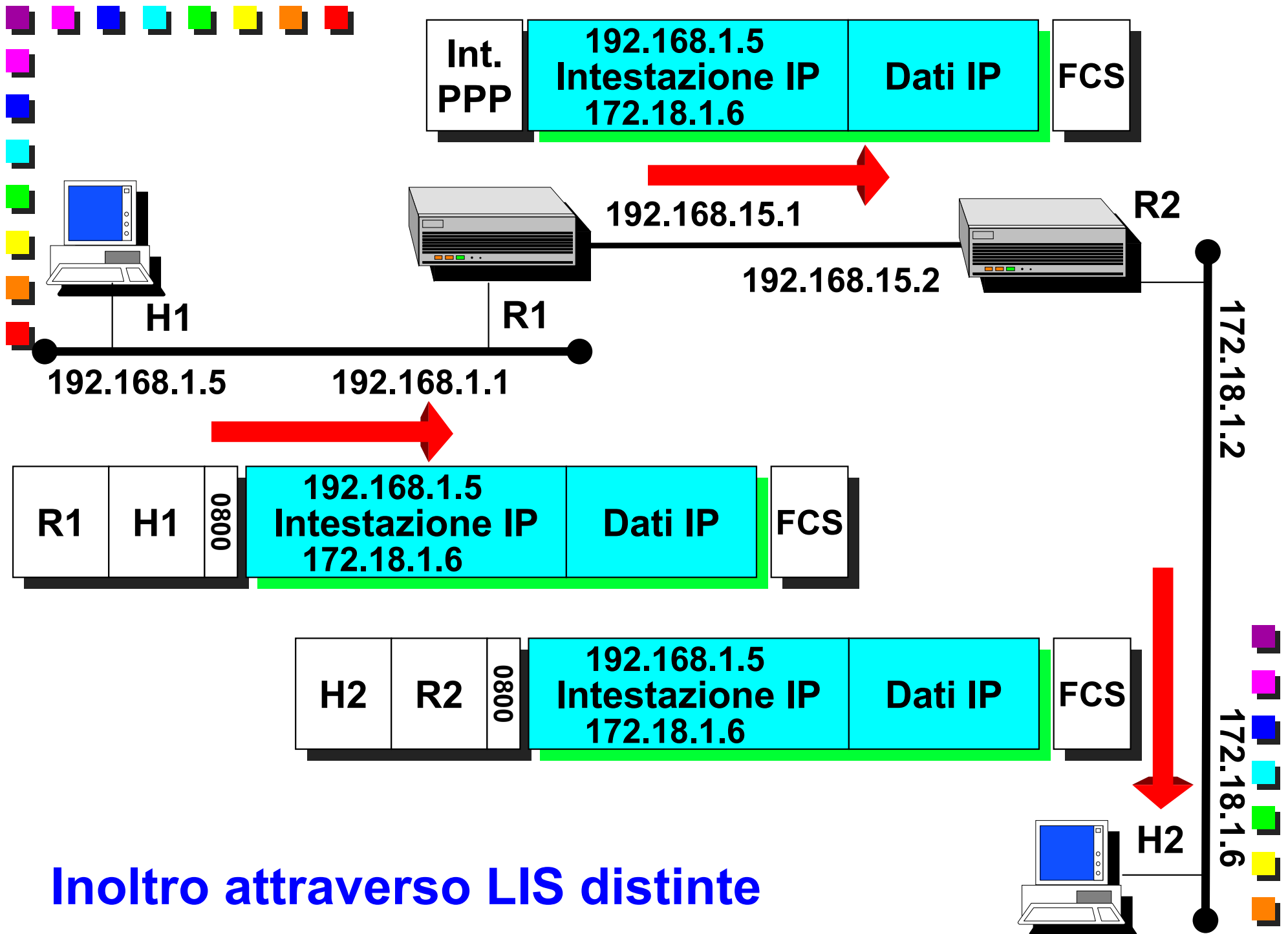


Architettura di instradamento



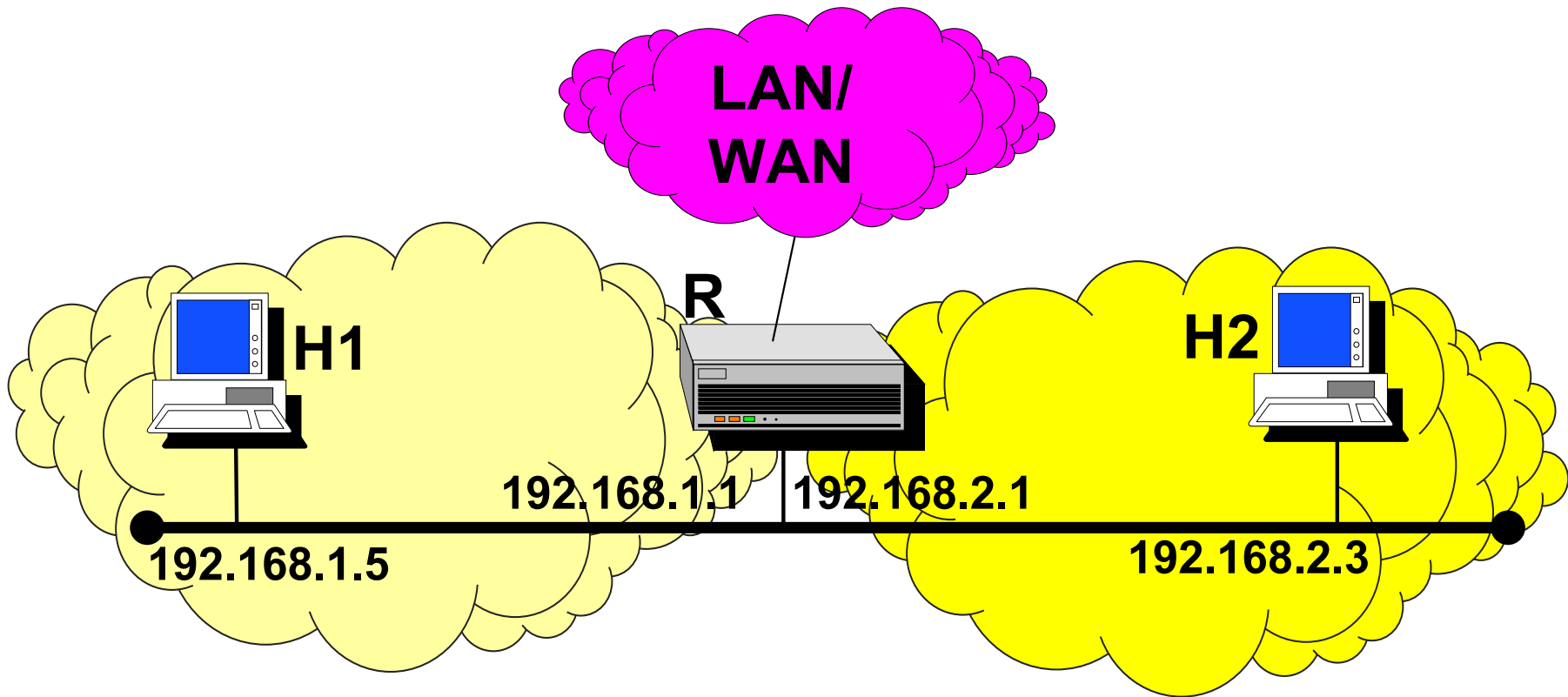
Consegna diretta





Inoltro attraverso LIS distinte

Più LIS nella stessa rete fisica



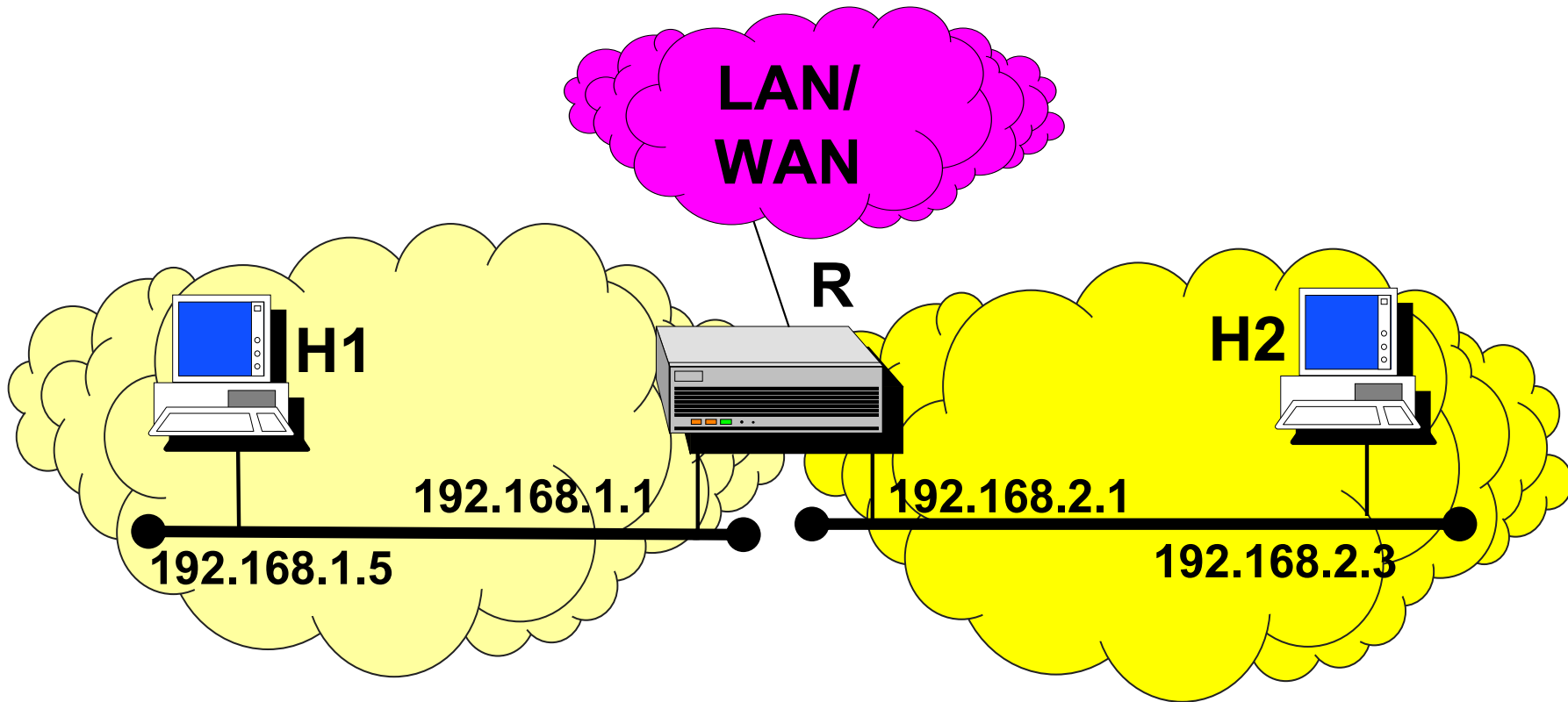


Indirizzi multipli alla stessa interfaccia

- Gli host che appartengono ad una sottorete logica possono inviare i pacchetti destinati ad altre sottoreti:
 - al router
 - se nelle loro routing table non c'è la destinazione
 - direttamente a destinazione
 - se nelle loro routing table c'è la destinazione
- Il messaggio ICMP xRedirect (extended redirect) permette di ottimizzare il routing aggiornando
 - Routing table
 - ARP table

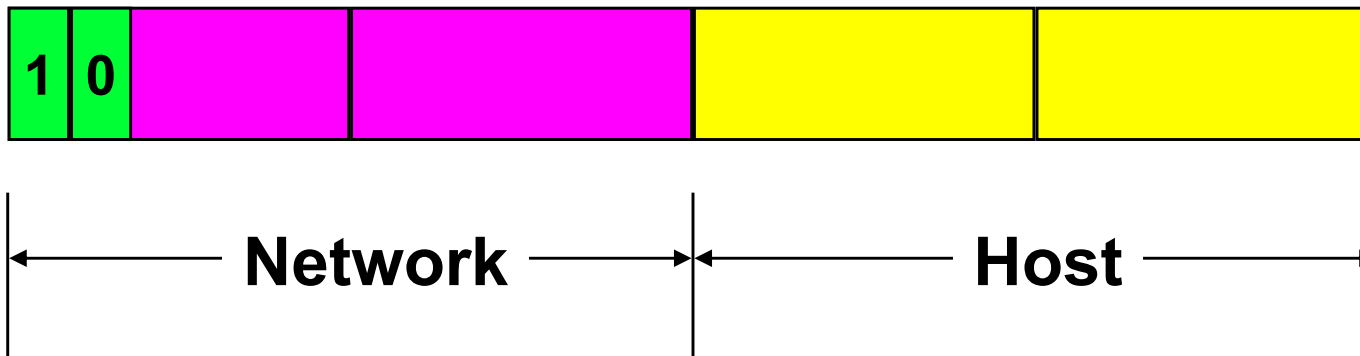
Perchè avere più LIS nella stessa rete fisica?

In preparazione ad espansione e crescita futura

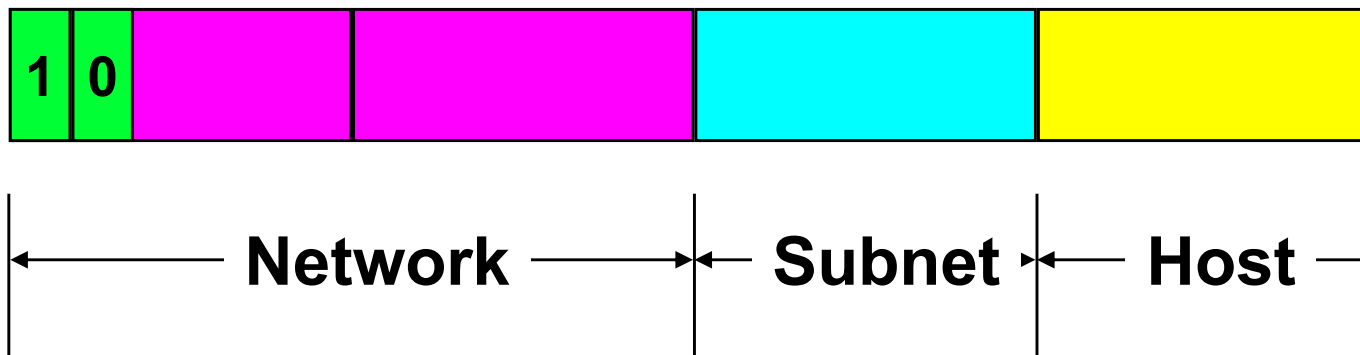


Subnetting

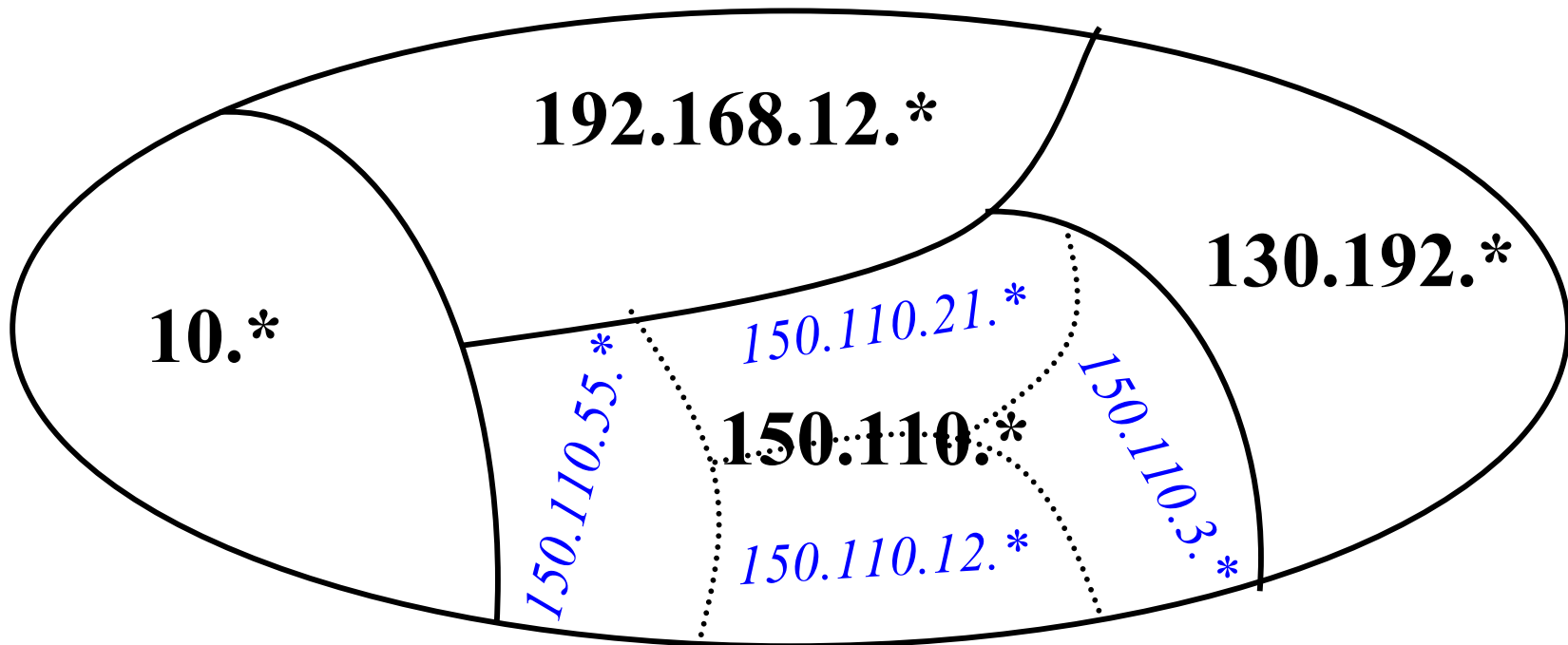
Indirizzo di classe B prima del subnetting



Indirizzo di classe B dopo il subnetting

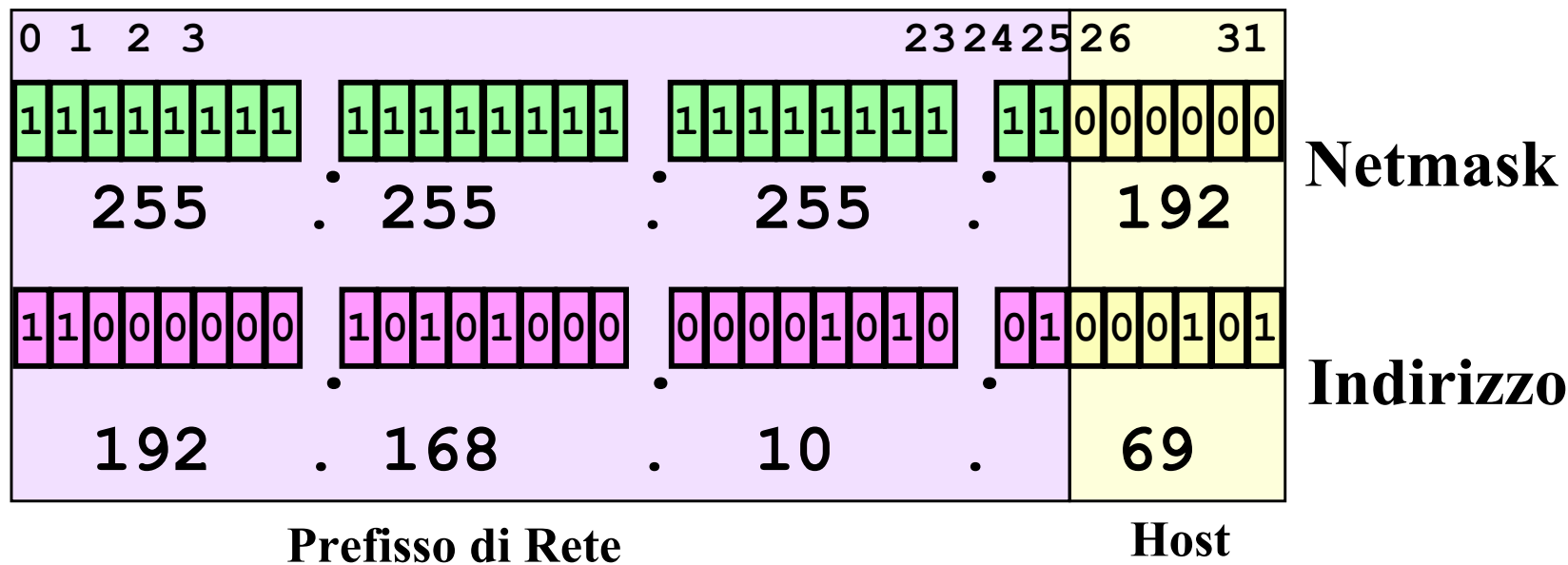


Indirizzamento gerarchico



Netmask

- Risolve la rigidità della suddivisione in classi
- Parametro che specifica il subnetting
 - bit a 1 in corrispondenza dei campi network e subnetwork
 - bit a 0 in corrispondenza del campo host
- Una coppia (indirizzo, subnet mask) individua una sottorete (*address range*)





Netmask: valori

- I valori decimali leciti nei 4 byte che costituiscono la netmask sono quindi:

128	1000 0000	(128)
192	1100 0000	(64)
224	1110 0000	(32)
240	1111 0000	(16)
248	1111 1000	(8)
252	1111 1100	(4)
254	1111 1110	(2)
255	1111 1111	(1)



Netmask: esempio

- Partizionare una rete di classe B in 1024 subnet da 64 host
 - Netmask 11111111 11111111 11111111 11000000
 - Netmask esadecimale ff ff ff c0
 - Netmask decimale 255.255.255.192

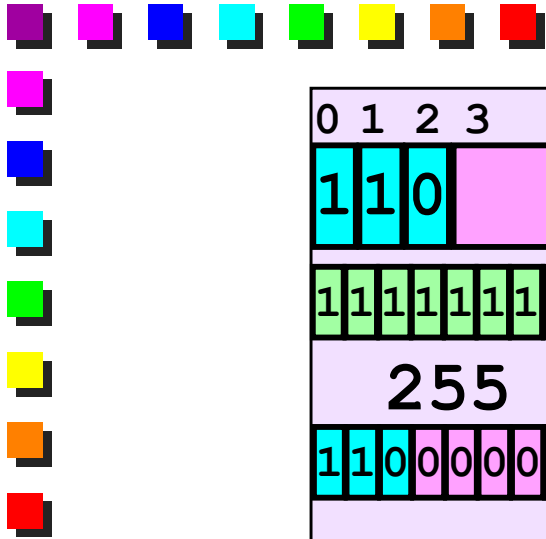
0	1	2	3					23	24	25	26	31							
1	0	Prefisso naturale						Ident. sottorete				Host							
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
255											192								
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
176											69								

Netmask

Indirizzo

Prefisso di Rete

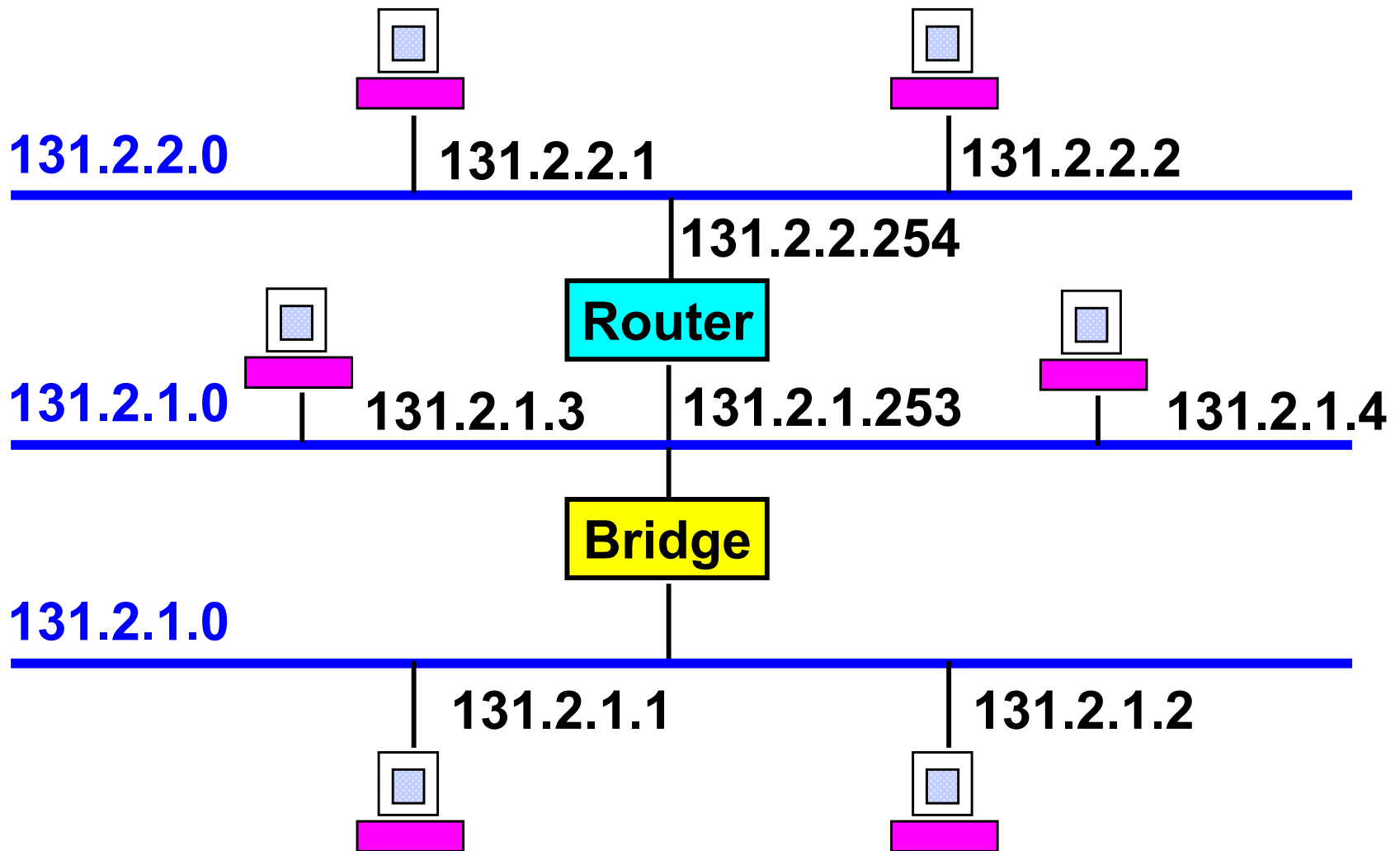
Host



0	1	2	3	23	24	25	26	31		
110			Prefisso naturale				Host			
11111111			11111111		11111111		11000000		Netmask	
255			. 255		. 255		. 192			
11000000			10101000		00001010		00000000		da 0	
192			. 168		. 10		00111111		a 63	
							01000000		da 64	
							01111111		a 127	
							10000000		da 128	
							10111111		a 191	
							11000001		da 192	
							11111111		a 255	
Prefisso di Rete							Host			

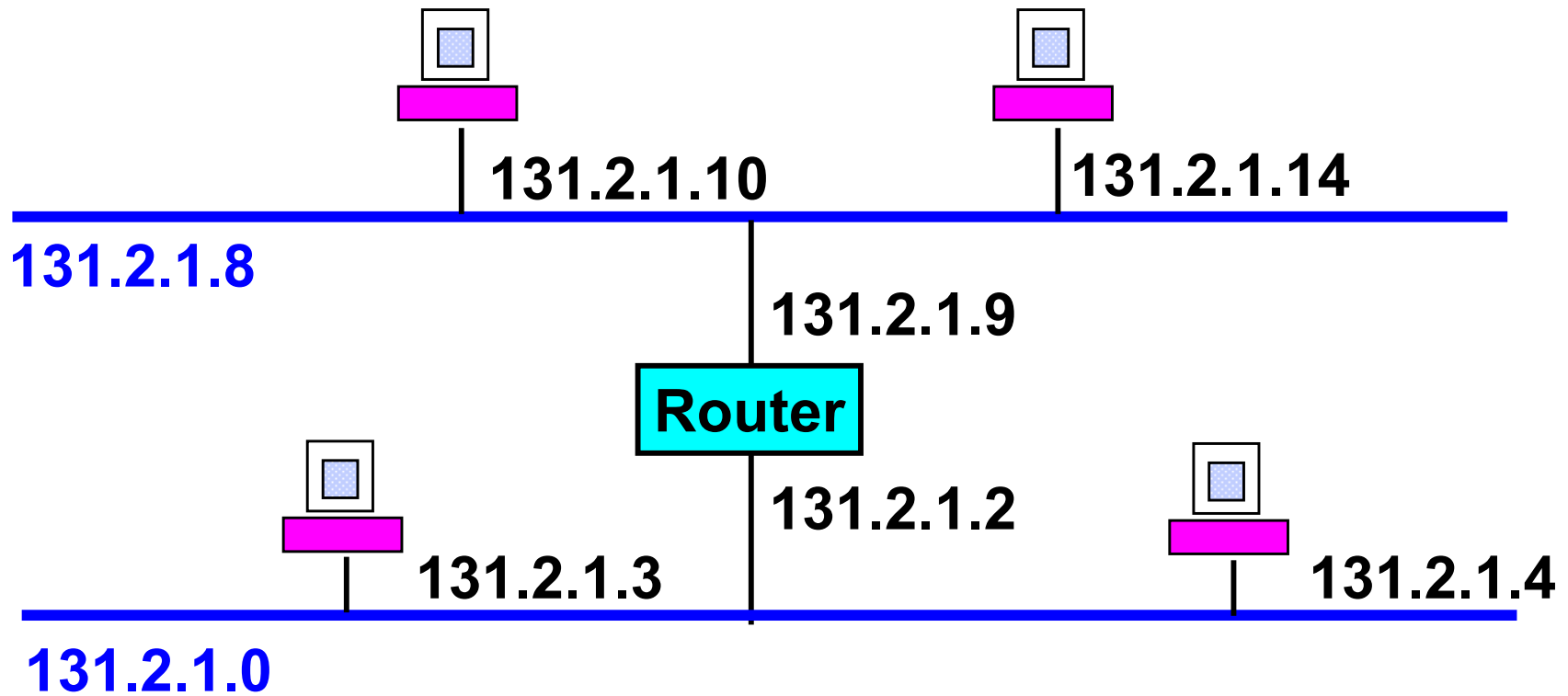


Subnetting



Netmask: 255.255.255.0

Subnetting



Netmask: 255.255.255.248

Routing: AND bit a bit

Indirizzo mittente 192.168.10.69

1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

AND bit a bit 192.168.10.64

Netmask mittente 255.255.255.192



Routing: AND bit a bit

Indirizzo destinazione **192.168.10.101**

1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

AND bit a bit 192.168.10.64

Netmask mittente 255.255.255.192

Indirizzo destinazione **192.168.10.132**

1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

AND bit a bit 192.168.10.128



Routing: appartenenza stessa LIS

Indirizzo mittente 192.168.10.69

11000000 10101000 00001010 01000101

Indirizzo destinazione 192.168.10.101

11000000 10101000 00001010 01100101

Netmask mittente
255.255.255.192

11111111 11111111 11111111 11000000

11000000 10101000 00001010 01000000

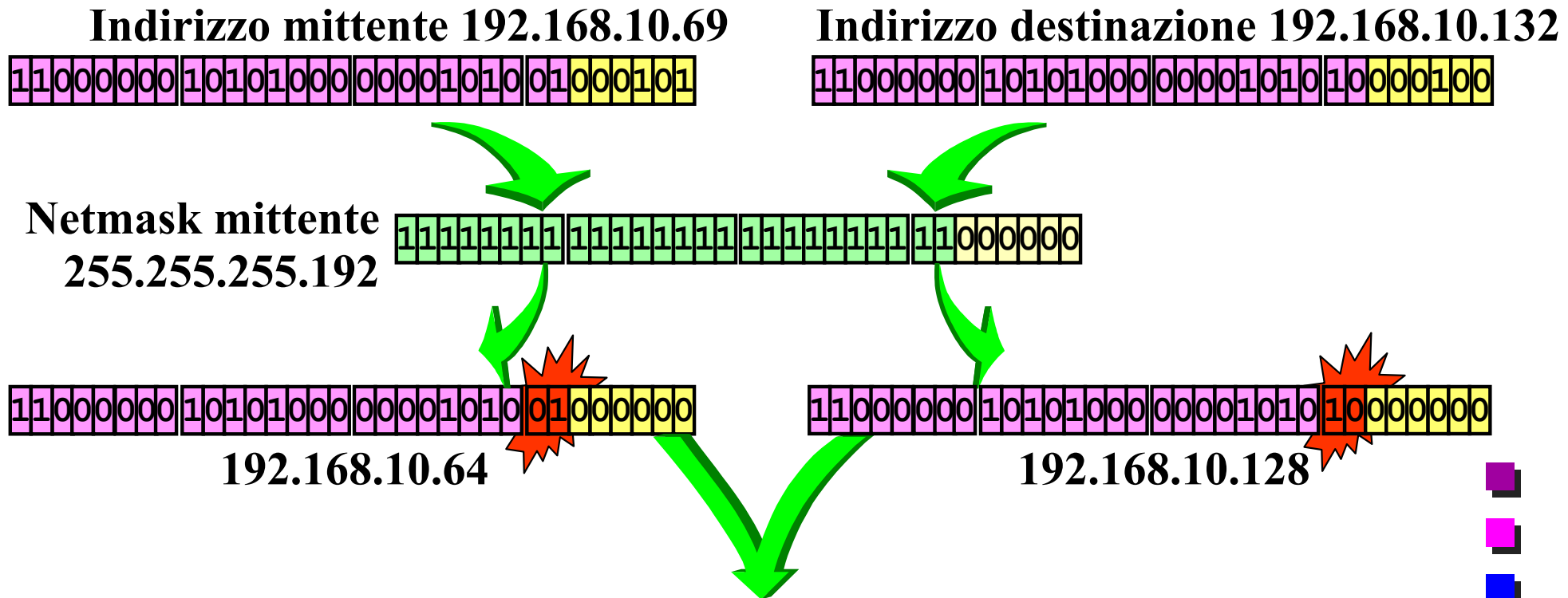
192.168.10.64

11000000 10101000 00001010 01000000

192.168.10.64

Stessa LIS: comunicazione diretta

Routing: appartenenza diversa LIS



LIS differenti: utilizzo del router



Appartenenza ad address range

■ Rete logica (address range)

```
11011100 00101101 10110010 11000011 (indirizzo)
11111111 11111111 11110000 00000000 (netmask)
-----
11011100 00101101 10110000 00000000
```

■ Indirizzo per cui verificare l'appartenenza

- 11011100 00101101 10110110 10111001

■ Verifica:

- AND bit a bit tra indirizzo da verificare e netmask

```
11011100 00101101 10110110 10111001
11111111 11111111 11110000 00000000
-----
11011100 00101101 10110000 00000000
```

- Confronto con l'indirizzo che identifica l'address range

- coincidono: appartenenza
- non coincidono: non appartenenza

■ Tutti gli indirizzi che appartengono all'address range hanno un prefisso comune



Variable Subnetting

LIS e Netmask						Tipo di impiego
Notazione binaria					Notazione decimale puntata	
1010	1100.0001	0000.0001	0000.0000	0000	172.16.16.0	Rete locale con al più 510 host
1111	1111.1111	1111.1111	1110.0000	0000	255.255.254.0	
1010	1100.0001	0000.0100	0000.0000	0000	172.16.64.0	Reti locali con al più 254 host
1010	1100.0001	0000.0100	0001.0000	0000	172.16.65.0	
1010	1100.0001	0000.0100	0010.0000	0000	172.16.66.0	
1111	1111.1111	1111.1111	1111.0000	0000	255.255.255.0	
1010	1100.0001	0000.0100	0011.0010	0000	172.16.67.32	
1111	1111.1111	1111.1111	1111.1111	0000	255.255.255.240	Rete ISDN
1010	1100.0001	0000.0000	0010.0000	0000	172.16.2.0	Linee punto-punto
1010	1100.0001	0000.0000	0010.0000	0100	172.16.2.4	
1010	1100.0001	0000.0000	0010.0000	1000	172.16.2.8	
1010	1100.0001	0000.0000	0010.0000	1100	172.16.2.12	
1010	1100.0001	0000.0000	0010.0001	0000	172.16.2.16	
1111	1111.1111	1111.1111	1111.1111	1100	255.255.255.252	

Gerarchia

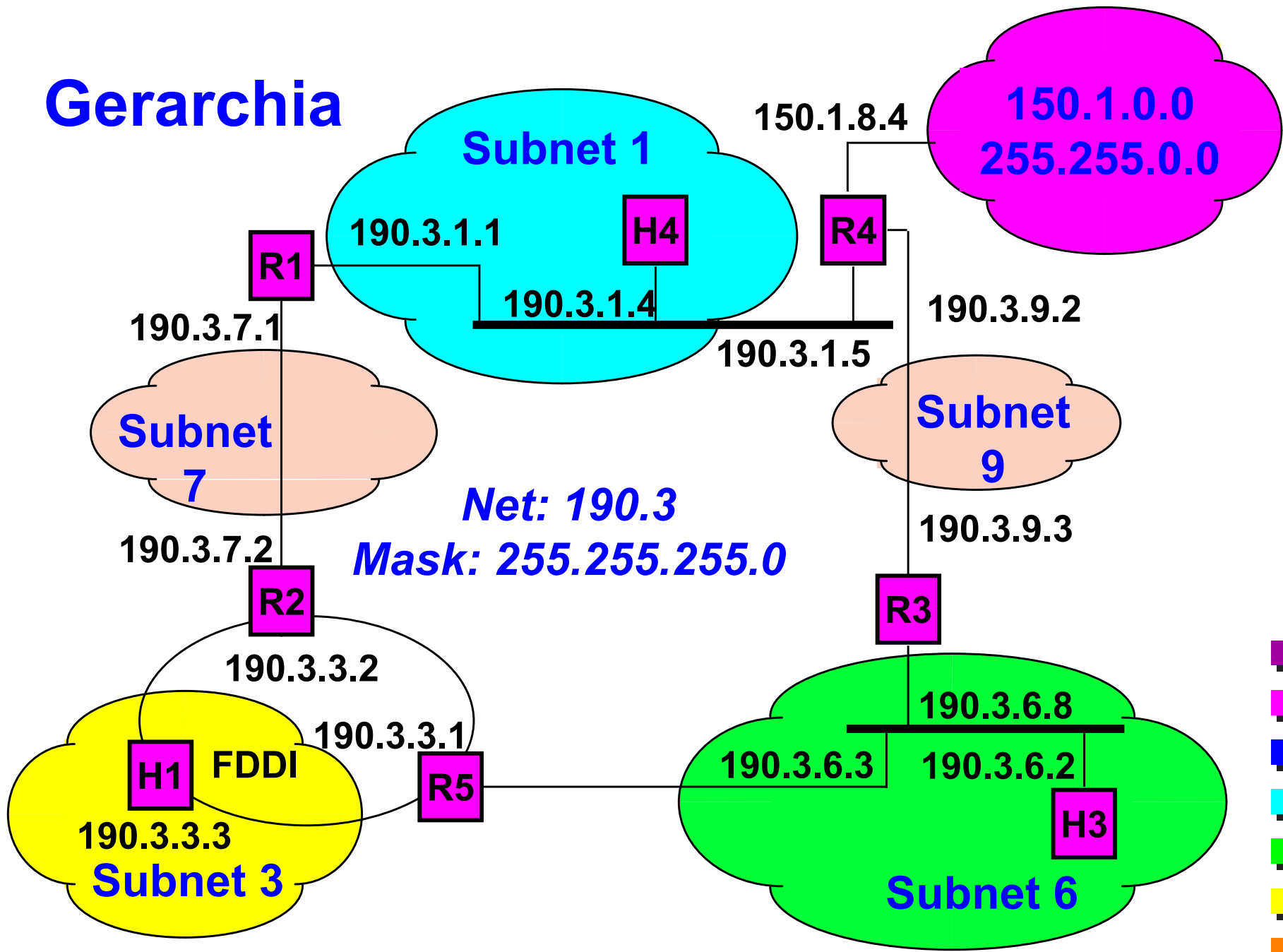


Tabelle di instradamento

- L'instradamento tra subnet diverse viene gestito da tabelle di instradamento presenti sui router
- Esempio:
 - tabelle di instradamento del router R5
 - 3 subnet non raggiungibili direttamente

Subnet di Destinazione	Indirizzo del router	
190.3.1.0	255.255.255.0	190.3.3.2
190.3.7.0	255.255.255.0	190.3.3.2
190.3.9.0	255.255.255.0	190.3.6.8
150.1.0.0	255.255.0.0	190.3.6.8

Next Hop



Instradamento

255.255.255.252

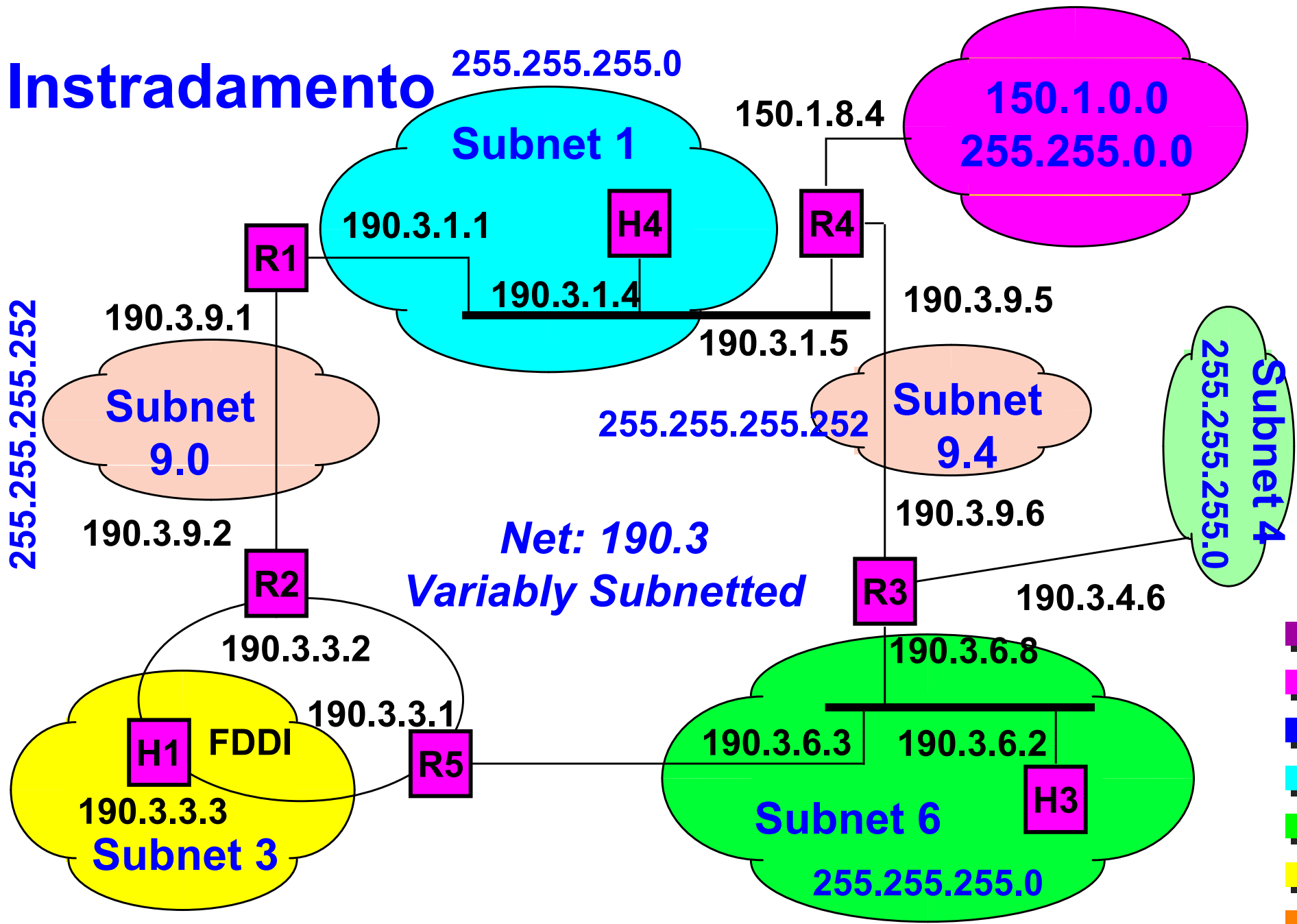





Tabelle di instradamento di R5

Subnet di Destinazione		Indirizzo del router
190.3.1.0	255.255.255.0	190.3.3.2
190.3.9.0	255.255.255.252	190.3.3.2
190.3.9.4	255.255.255.252	190.3.6.8
190.3.0.0	255.255.0.0	190.3.6.8 ¹
150.1.0.0	255.255.0.0	190.3.6.8

¹Route di default per l'intera sottorete 190.3



Instradamento di pacchetti IP

- Il destination address coincide con quello di un'interfaccia del router
 - elaborazione locale
 - Il destination address appartiene all'address range di una delle interfacce
 - reti punto-punto
 - invio del datagramma sull'interfaccia
 - reti multipunto con broadcast
 - risoluzione dell'indirizzo con ARP
 - invio diretto verso il destinatario
 - reti multipunto senza broadcast
 - l'indirizzo nativo (data-link) dell'host sulla rete destinataria deve essere configurato staticamente
- 






Instradamento di pacchetti IP

- Il destination address non è in nessuno degli address range corrispondenti alle interfacce del router
 - consultazione della “routing table”
 - invio del datagramma al “next hop” indicato sulla routing table
 - se non esiste una entry esplicita viene inviato sulla default route
- Se l’indirizzo destinazione appartiene a più address range viene preferito quello con più 1 nella netmask





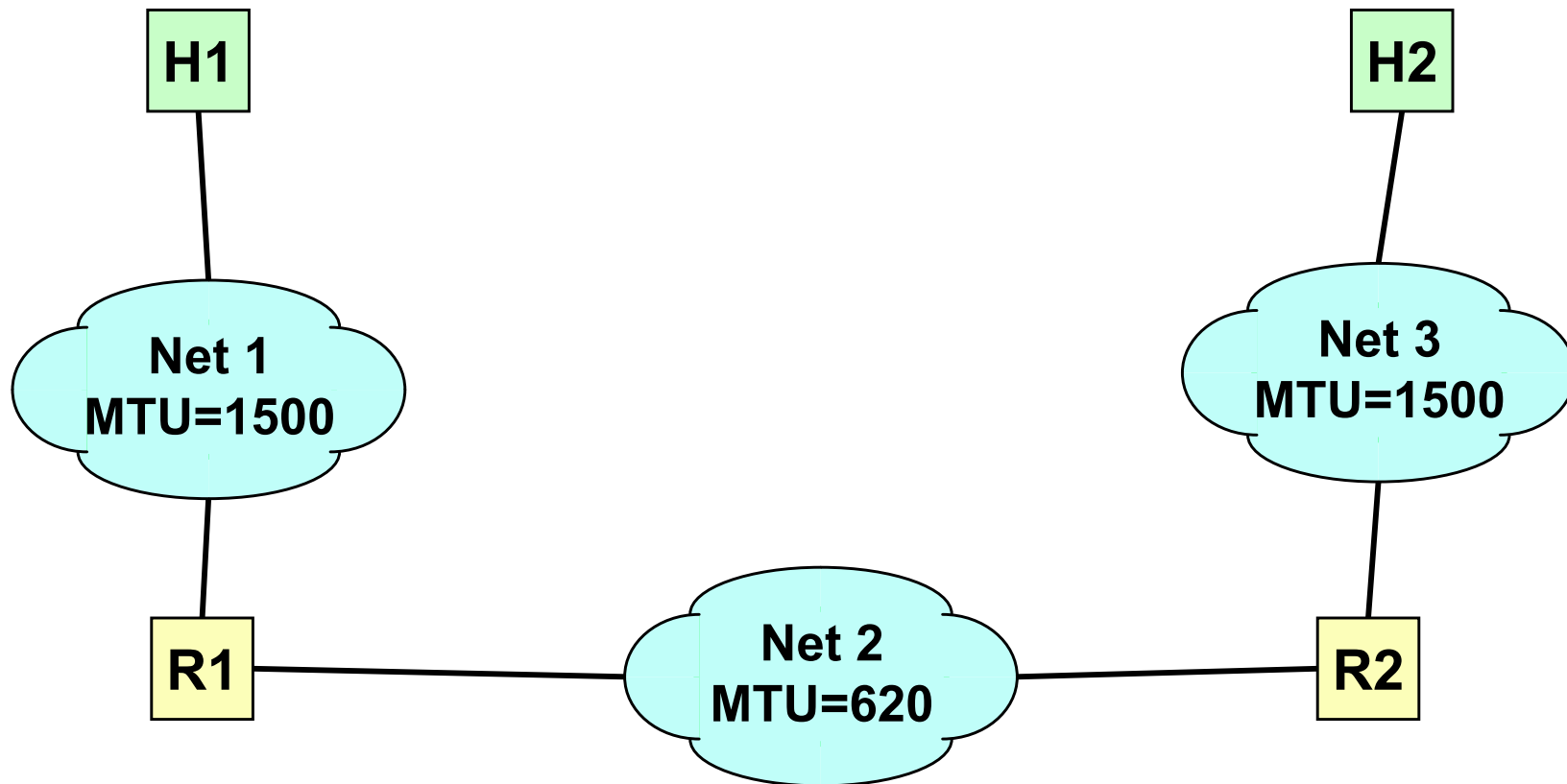
Entry sulle tabelle di routing

- **Diretti**
 - address range corrispondenti alle interfacce del router
 - **Statici**
 - route configurate staticamente dal gestore
 - **Dinamici**
 - address range appresi attraverso un 'protocollo di routing'
 - route apprese attraverso ICMP redirect
 - **Nel caso la route per uno stesso address range sia appresa da diverse fonti deve essere specificato quale deve essere preferita**
- 

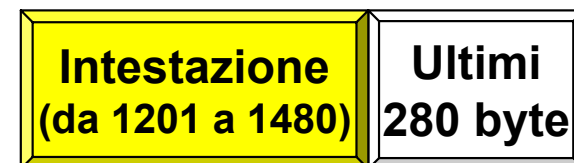
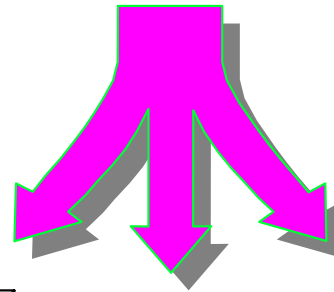
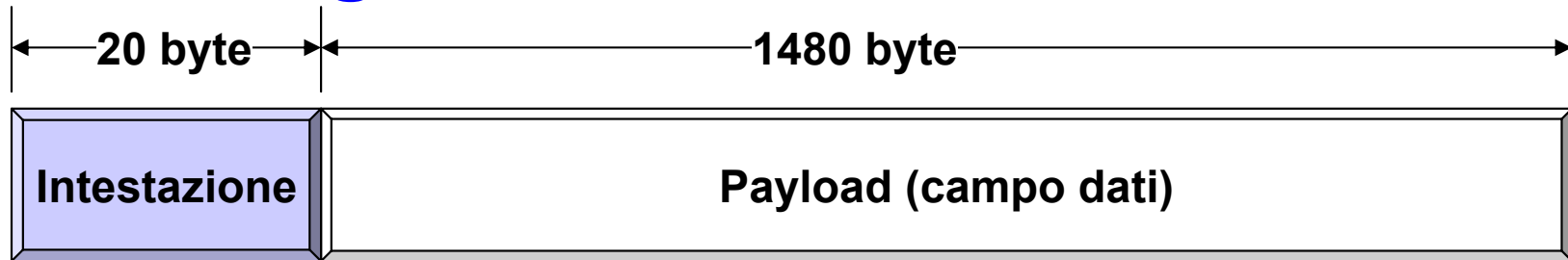


Frammentazione

Può essere necessaria quando i collegamenti hanno MTU (Maximum Transfer Unit) diverse




R1 esegue la frammentazione





Frammentazione

- Il pacchetto originale viene frammentato in pacchetti di dimensione inferiore alla MTU
 - L'intestazione viene riportata in ogni frammento variando solo i campi:
 - FLAGS (bit MF)
 - Fragment Offset
 - Checksum
 - Total Length (è quella del frammento)
 - Alcuni campi opzionali
 - I frammenti possono arrivare out of order
- 





Riassemblaggio

- Alla ricezione del primo frammento il router fa innesca un reassembly timer
- Memorizza tutti i frammenti in un buffer
- Se allo scadere del timer il pacchetto non è completo viene scartato

