

# Strato di rete (parte 1)

# **Funzioni dello strato di rete**

## **Reti datagramma o a Circuito Virtuale**

# Funzioni del livello di rete

## ■ Forwarding (inoltro)

### ■ Funzione attuativa

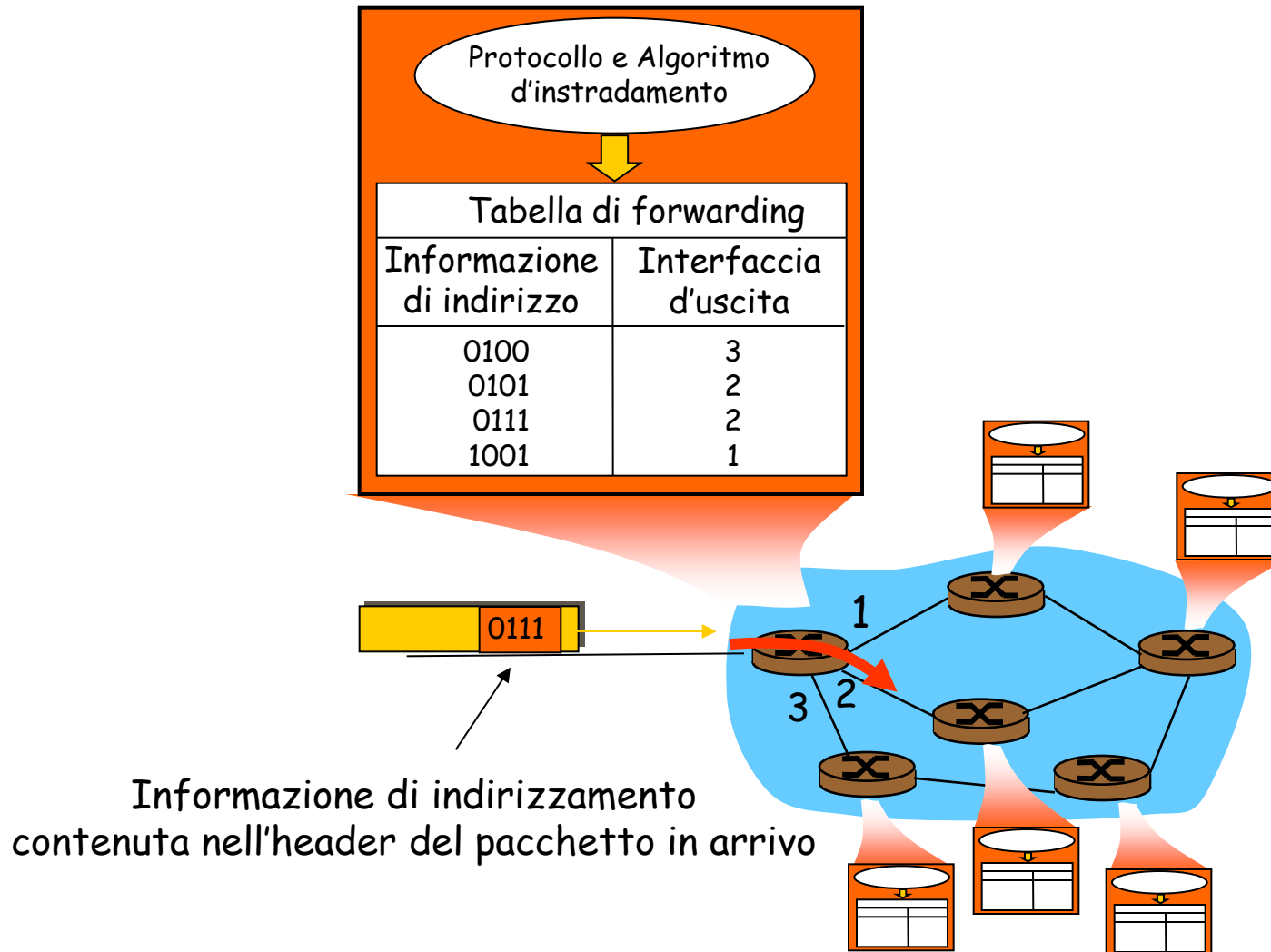
- trasferisce i pacchetti da un interfaccia di ingresso di un nodo (router) verso un'opportuna interfaccia di uscita

## ■ Routing (instradamento)

### ■ Funzione decisionale

- determina il percorso seguito dai pacchetti dall'origine alla destinazione
  - per ciascun router determina l'interfaccia di uscita su cui deve essere inoltrato un pacchetto
- utilizza protocolli e algoritmi specifici

# Routing e forwarding



# Tipologie di servizio di rete

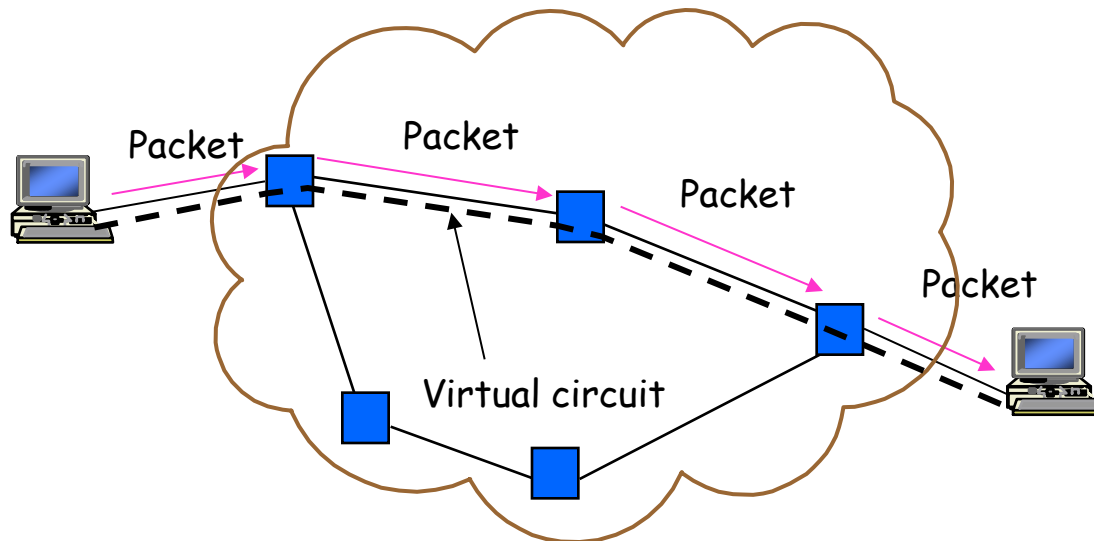
## ■ Servizio senza connessione

- reti a "datagramma"
- i pacchetti sono inviati da una sorgente senza un preventivo accordo sia con la destinazione sia con la rete
- i pacchetti sono trattati dalla rete e quindi da ciascun nodo come entità indipendenti
- l'instradamento è deciso pacchetto per pacchetto
- i router hanno un funzionamento "stateless"

## ■ Servizio connection-oriented

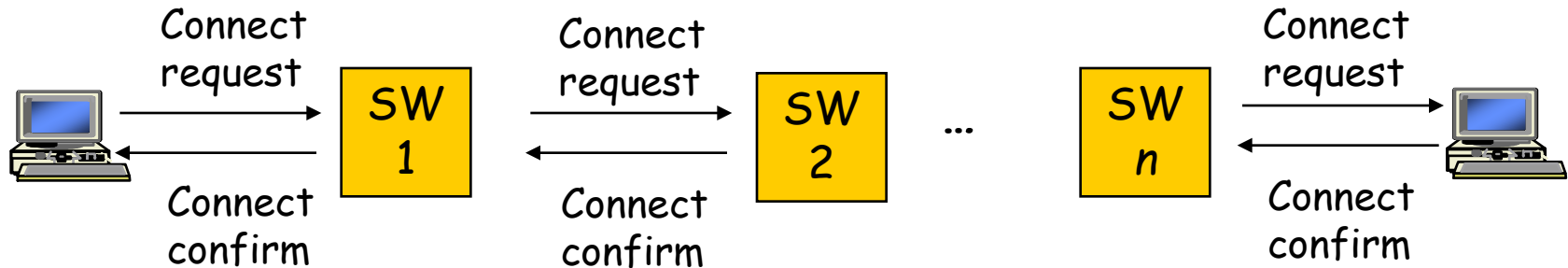
- reti a "circuito virtuale" (VC)
- prima dell'invio dei pacchetti viene instaurata una **connessione di rete**
- il cammino (path) di instradamento dei pacchetti è deciso al momento dell'instaurazione della connessione
- i nodi hanno un funzionamento "statefull"
  - i nodi mantengono informazioni sullo stato delle connessioni

# Packet Switching - Virtual Circuit



- E' necessaria una fase di set-up della connessione
- E' necessario un protocollo di segnalazione
- Tutti i pacchetti seguono lo stesso path in rete
  - Consegna in sequenza dei pacchetti
- L'informazione di indirizzamento contenuta nell'header di ogni pacchetto è l'**identificatore della connessione** a cui appartiene
  - l'identificazione della connessione avviene "per link"

# Connection Setup



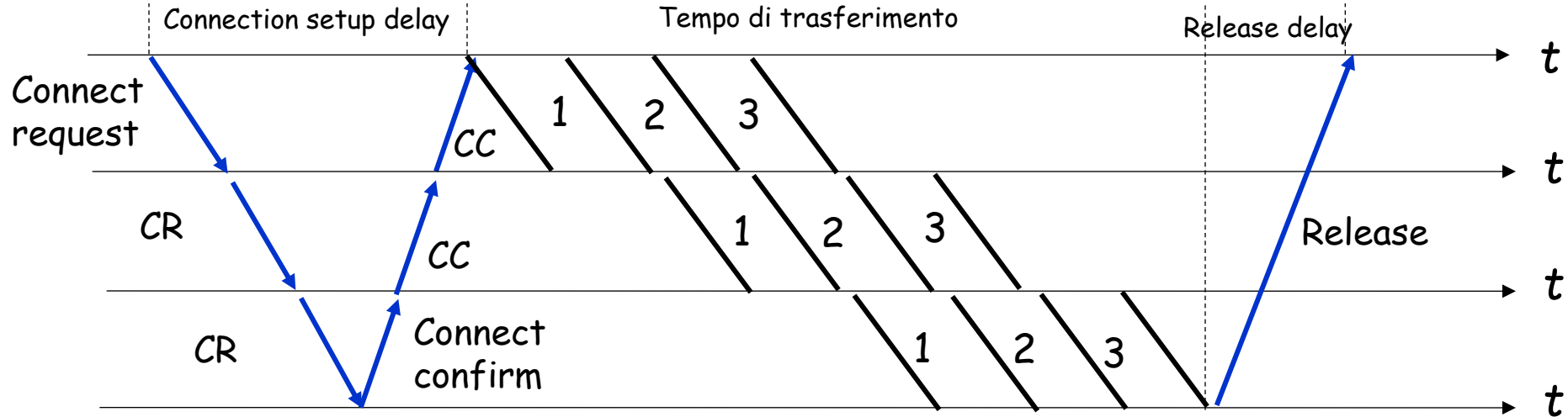
## ■ I messaggi di segnalazione

- sono trasmessi lungo il path della connessione
- determinano in ogni nodo l'esecuzione della funzione di routing che identifica il nodo successivo sul path
- inizializzano le tabelle di forwarding nei nodi

## ■ La connessione è identificata su ogni link da un "local tag" (**Virtual Circuit Identifier - VCI**)

- Ogni nodo (**switch**) memorizza la relazione tra input tag e output tag e interfaccia di uscita nella tabella di forwarding
- Una volta che le tabelle di forwarding sono inizializzate i pacchetti possono essere trasmessi in rete

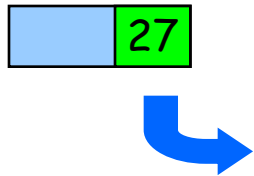
# Connection Setup Delay



- Il ritardo di instaurazione della connessione (**connection setup delay**) si somma al ritardo di transito dei pacchetti
- Tale ritardo aggiuntivo è
  - tollerabile se è inferiore al tempo di trasferimento dei pacchetti dati
  - inaccettabile se devono essere trasferiti pochi pacchetti



# Virtual Circuit Forwarding Table



Input VCI	Output port	Output VCI
12	13	44
15	15	23
27	13	16
58	7	34

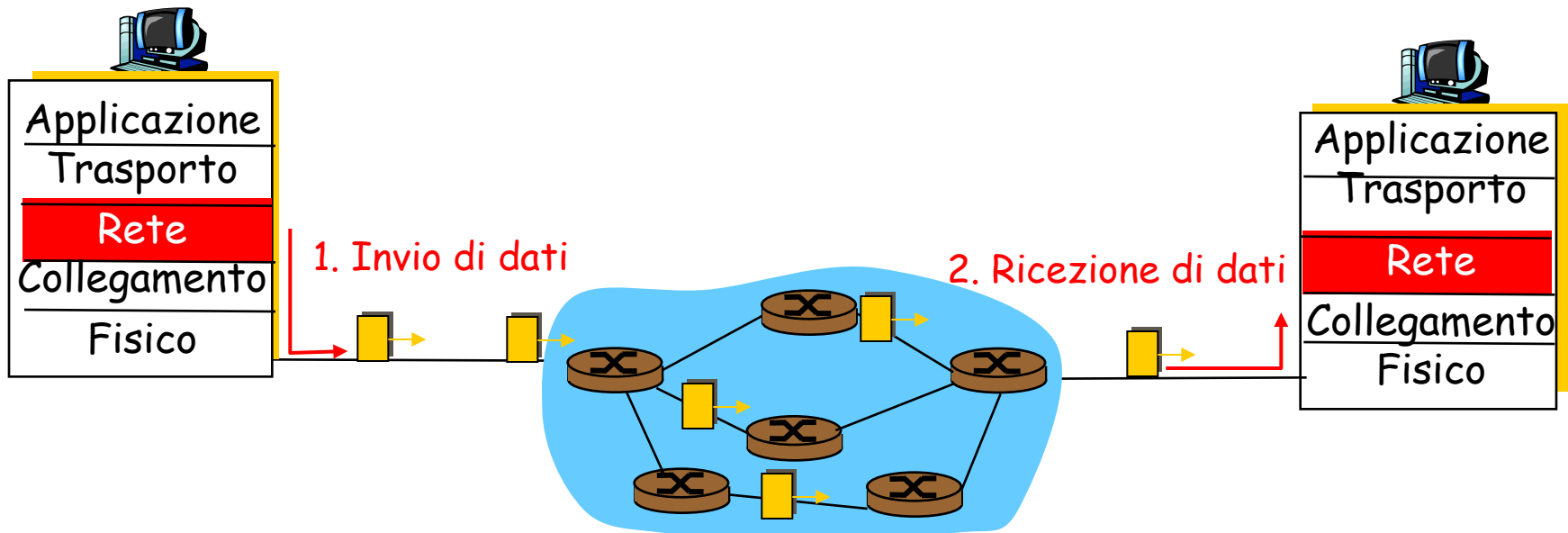
- Ogni porta di ingresso ha una propria forwarding table
- Si utilizza il VCI contenuto nell'header del pacchetto come indice di accesso della tabella
- Si individua il record corrispondente al VCI, si legge la porta di uscita e il valore del VCI sul link d'uscita
- Il valore del VCI d'uscita è scritto nell'header del pacchetto
- Commutazione molto veloce

# Riassumendo...

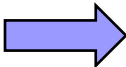
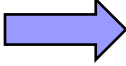
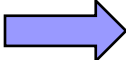
- **Un circuito virtuale consiste in**
  - un percorso tra origine e destinazione
  - identificatori di connessione (VCI), uno per ciascun link
  - righe nella tabella di forwarding in ciascun nodo (switch)
- **Il pacchetto di un circuito virtuale ha un VCI nella propria intestazione**
- **Il VCI del pacchetto cambia su tutti i collegamenti lungo un percorso**
  - Un nuovo VCI viene rilevato dalla tabella di forwarding

# Reti a datagramma

- I router della rete sono “stateless”
  - Non esiste il concetto di “connessione” a livello di rete
- I router utilizzano gli **indirizzi di destinazione** per effettuare il forwarding
  - I pacchetti possono seguire percorsi diversi in rete
  - La consegna in sequenza non è garantita



# Esempio di Tabella di routing

Intervallo degli indirizzi di destinazione		Interfaccia	
da	11001000 00010111 00010000 00000000		0
a	11001000 00010111 00010111 11111111		
da	11001000 00010111 00011000 00000000		1
a	11001000 00010111 00011000 11111111		
da	11001000 00010111 00011001 00000000		2
a	11001000 00010111 00011111 11111111		
altrimenti			3

4 miliardi di possibili indirizzi

# Concetto di prefisso

Prefisso		Interfaccia
11001000 00010111 00010	➡	0
11001000 00010111 00011000	➡	1
11001000 00010111 00011	➡	2
altrimenti	➡	3

- E' necessaria una fase di ricerca del prefisso nella tabella
  - Algoritmi di lookup

## Esempi

con: 11001000 00010111 00010110 10100001

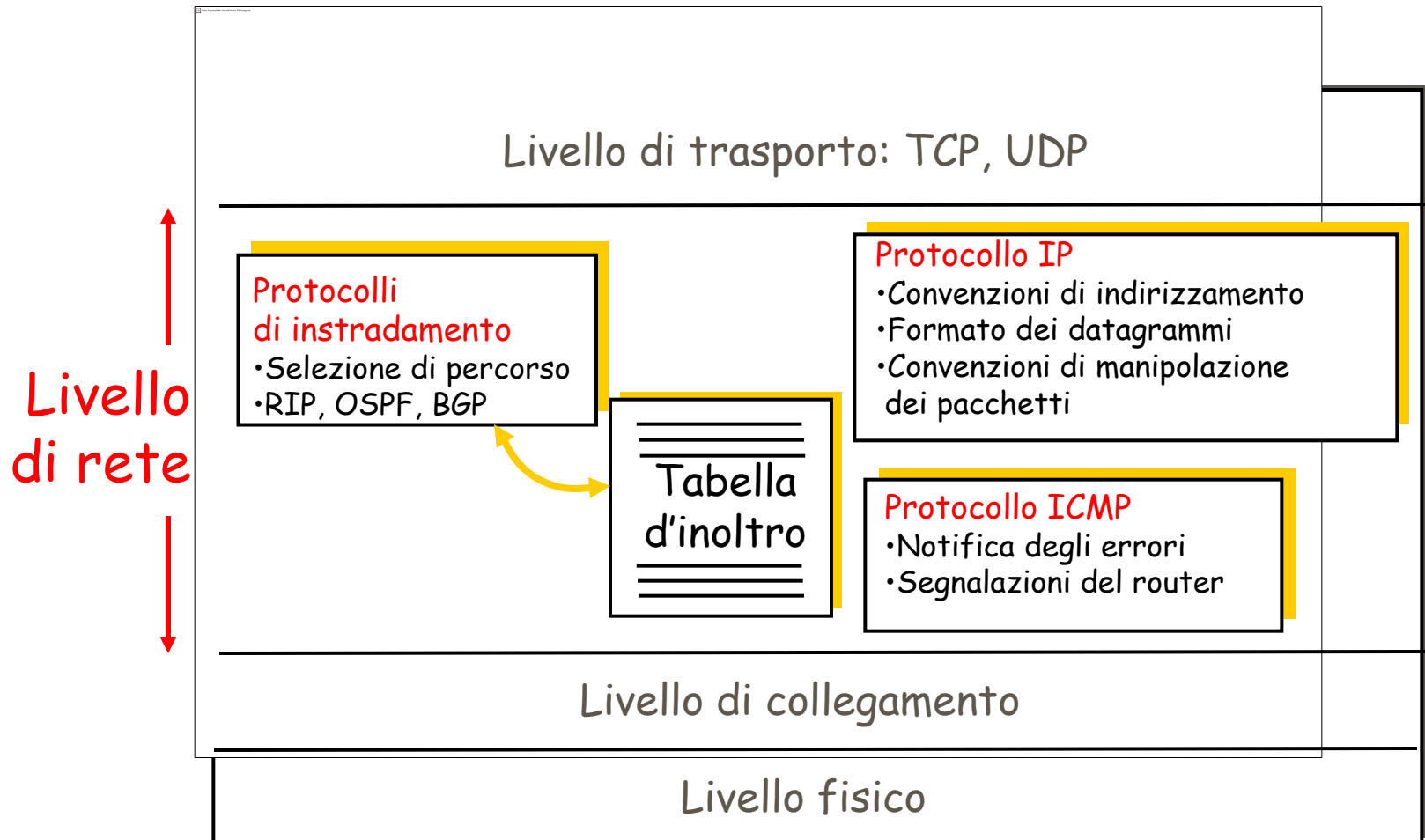
Qual interfaccia di uscita ?

con: 11001000 00010111 00011000 10101010

Qual interfaccia di uscita ?

# **Il protocollo IP**

# Architettura del protocollo IP



# Architettura protocollare

- **Il protocollo IP (RFC 791, 919, 922, 950, 1349)**
  - è un protocollo di strato di rete
  - opera con modalità di trasferimento *senza connessione*
  - non fornisce alcuna garanzia sulla QoS (servizio "best effort")
- **Il protocollo IP esegue le seguenti funzioni**
  - definisce il formato dei pacchetti
    - la lunghezza massima di un pacchetto è di 65536 byte
  - definisce lo schema di indirizzamento
  - definisce le modalità di instradamento dei pacchetti
  - esegue, se necessario, la frammentazione e il ri-assemblaggio delle unità dati



# Architettura protocollare

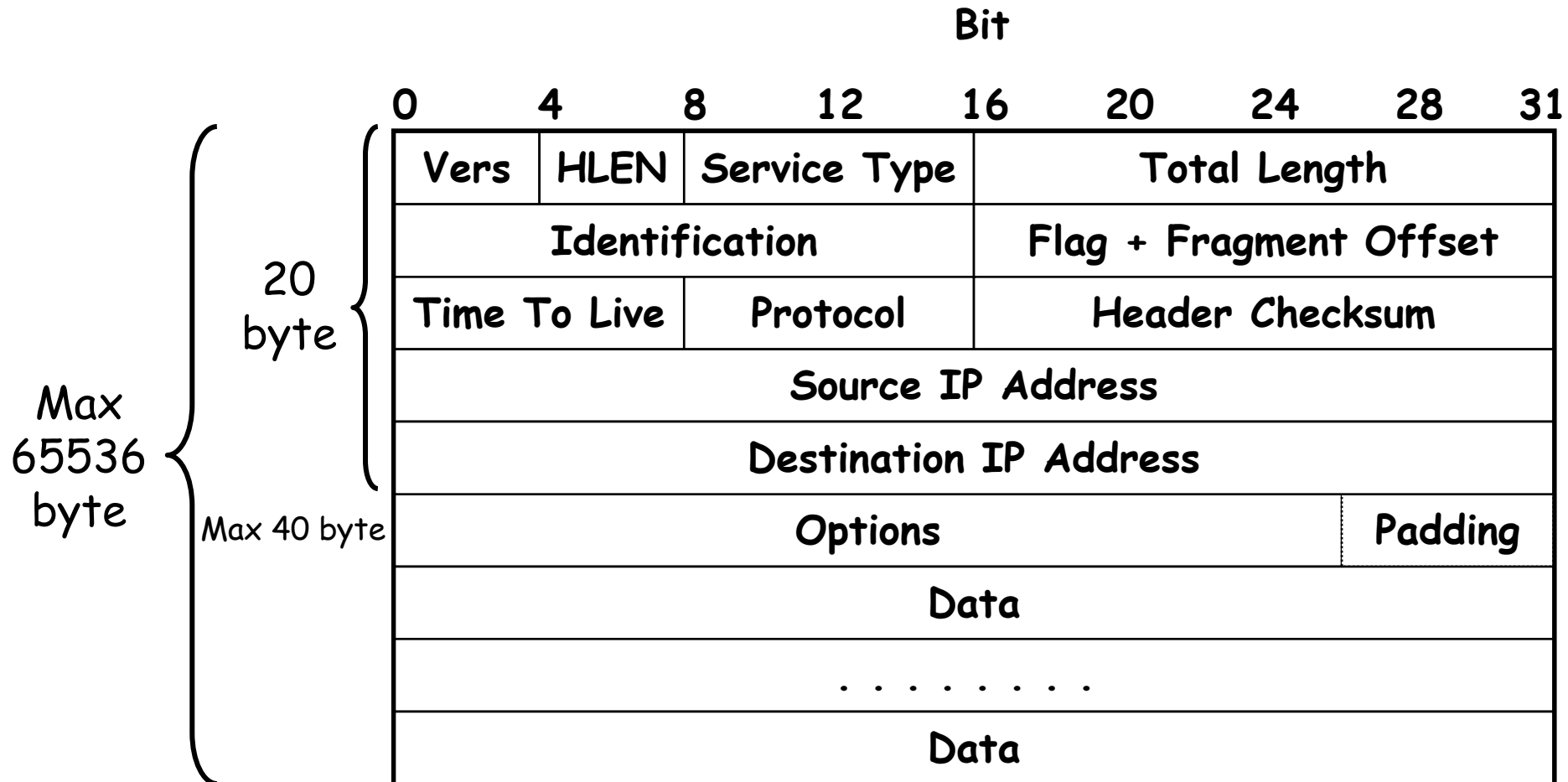
## ■ Il protocollo ICMP (Internet Control Message Protocol)

- è un protocollo senza connessione
- è orientato a
  - risolvere eventuali situazioni anomale
  - controllare il trasferimento (controllo di flusso di tipo On-Off)
  - comunicare alle sorgenti eventuali problemi (ad es. di indirizzamento)

## ■ Esempi:

- Source Quench: inviato dal destinatario, interrompe l'emissione di pacchetti del mittente;
- Redirect: il destinatario segnala al mittente di re-instradare il pacchetto verso un altro host;
- Echo: controlla se un possibile destinatario è attivo,
- Destination Unreachable: notifica il mittente la non-raggiungibilità di un host

# Formato del pacchetto IPv4



# Formato del pacchetto IP

## ■ Vers (4 bit)

- versione del protocollo, è possibile la coesistenza di più versioni di IP

## ■ Header Length (HLEN) (4 bit)

- lunghezza dell'intestazione (specificata in parole di 32 bit)
- comprende la parte fissa (20 bytes) e la parte opzionale
- valore massimo: 60 byte

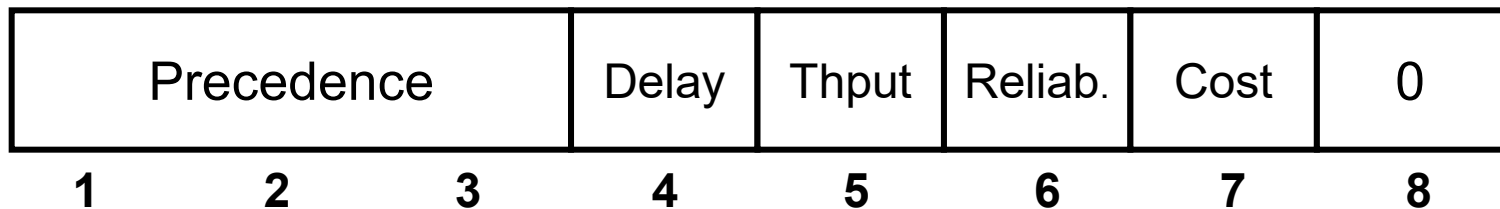
## ■ Total length (16 bit)

- lunghezza complessiva del pacchetto (specificata in byte)
- comprende la lunghezza dell'header e del payload
- valore massimo: 65536 byte

# Formato del pacchetto IP

## ■ Service Type (8 bit)

- specifica i parametri di qualità di servizio richiesti dall'utente per il pacchetto
- **Precedence (3 bit)**
  - indicano il livello di priorità del pacchetto
  - in passato non sono stati utilizzati
  - ora implementano i meccanismi DiffServ



# Formato del pacchetto IP

## ■ Service Type (8 bit)

### ■ Type Of Service (TOS) (4 bit)

- indicano il tipo di servizio richiesto per il pacchetto
- il servizio normale si ha se tutti i quattro bit sono a 0
- solo uno dei quattro bit può essere posto a 1

1 0 0 0	Minimize delay
0 1 0 0	Maximize Throughput
0 0 1 0	Maximize Reliability
0 0 0 1	Minimize Monetary Cost
0 0 0 0	Normal Service

# Formato del pacchetto IP

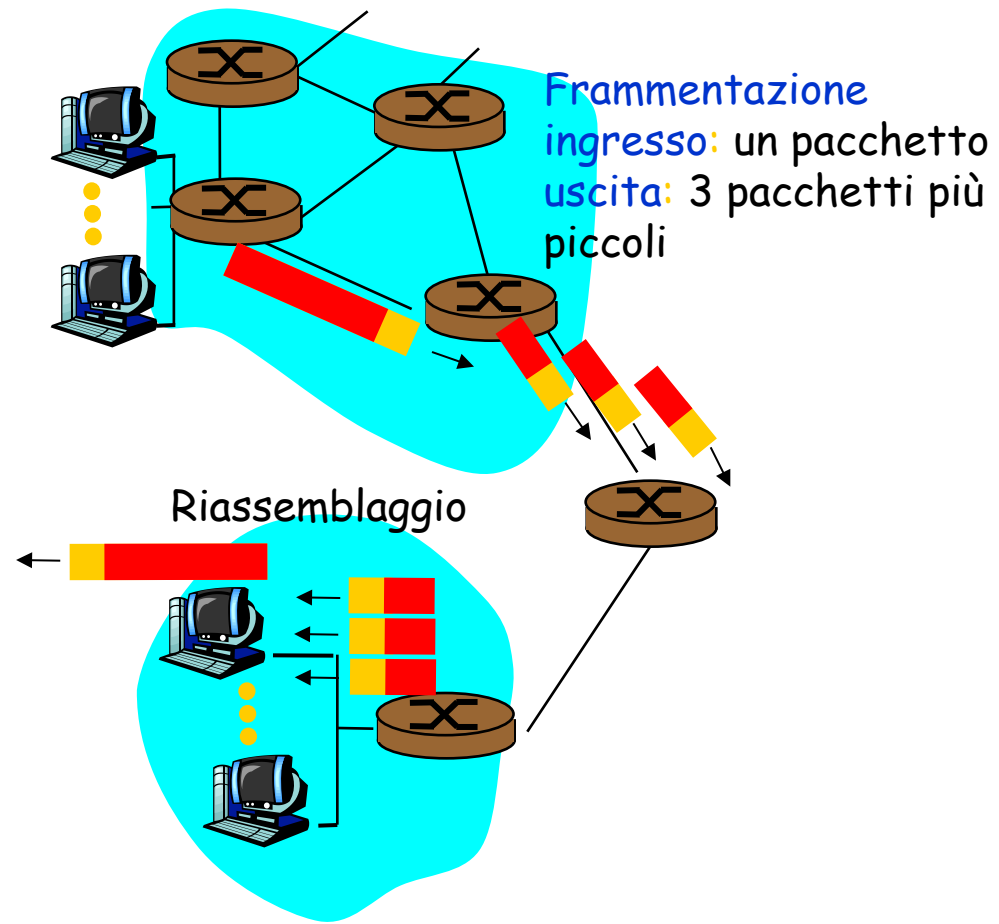
- Ogni rete fisica ha un valore massimo di lunghezza della propria unità informativa
  - Maximum Transmission Unit - MTU
- La frammentazione di un pacchetto IP è necessaria se il valore della MTU nella sottorete fisica è inferiore alla lunghezza del datagramma
  - Il valore minimo di una MTU è 68 byte
- La frammentazione è effettuata dal router/host prima del rilancio nella sottorete
- La ricomposizione del pacchetto originale è effettuata dall'host di destinazione

# Formato del pacchetto IP

- **Identification (16 bit)**
  - numero identificativo del pacchetto da frammentare
  - è assegnato dal processo sorgente
- **Flags (3 bit)**
  - X: non usato e posto a zero
  - DF: Don't Fragment (0: frammentazione permessa; 1: frammentazione vietata)
  - MF: More Fragment (0: ultimo frammento del datagramma; 1: non è l'ultimo frammento)
- **Fragment Offset (13 bit)**
  - posizione del frammento all'interno del pacchetto (espresso in unità di 8 byte) consente di valutare l'integrità del pacchetto

# Frammentazione dei pacchetti IP

- L'unità massima di trasmissione (MTU) è la massima quantità di dati che un frame a livello di collegamento può trasportare
  - Differenti tipi di link, differenti MTU
- Pacchetti IP grandi vengono suddivisi ("frammentati") in pacchetti IP più piccoli
  - I frammenti saranno riassemblati solo una volta raggiunta la destinazione
  - I bit dell'intestazione IP sono usati per identificare e ordinare i frammenti





# Frammentazione e riassemblaggio IP

## Esempio

- Pacchetto = 4000 byte
- MTU = 1500 byte

	Lunghez.	ID	Flag	Offset	
	=4000	=x	=0	=0	

Un pacchetto IP grande viene frammentato in pacchetti IP più piccoli

1480 byte nel  
campo dati

Offset =  $1480/8$

	Lunghez.	ID	Flag	Offset	
	=1500	=x	=1	=0	

	Lunghez.	ID	Flag	Offset	
	=1500	=x	=1	=185	

	Lunghez.	ID	Flag	Offset	
	=1040	=x	=0	=370	

# Formato del pacchetto IP

## ■ Time To Live (TTL) (8 bit)

- indica il numero massimo di router che possono essere ancora attraversati dal pacchetto
- è inizializzato dall'host sorgente ed è decrementato di una unità da ogni router
- quando il valore del campo è nullo, il pacchetto è scartato e viene emesso un messaggio ICMP di notifica verso l'host sorgente

## ■ Protocol (8 bit)

- indica a quale protocollo dello stato superiore deve essere trasferito il contenuto informativo del pacchetto (es. TCP=6, UDP=17, ICMP=1)

## ■ Header Cecksum (16 bit)

- protegge solo l'intestazione del pacchetto
- se viene rivelato un errore il pacchetto è scartato

# Formato del pacchetto IP

- **Source Address (32 bit) e Destination Address (32 bit)**
- **Options (lunghezza variabile a multipli di 8 bit)**
  - **Record Route Option (RRO)**
    - lista vuota di indirizzi IP, ogni router attraversato inserisce il suo indirizzo
  - **Timestamp Option**
    - come RRO con in più l'istante in cui il pacchetto attraversa ogni router
  - **Loose Source Routing Option (LSRO)**
    - specifica una lista di router che devono essere attraversati dal pacchetto
  - **Strict Source Route Option (SSRO)**
    - specifica tutti i router attraverso i quali deve transitare il pacchetto
- **Padding**
  - rende l'intestazione multipla di 32 bit mediante introduzione di zeri

# **Il protocollo ICMP**

# Internet Control Message Protocol (ICMP)

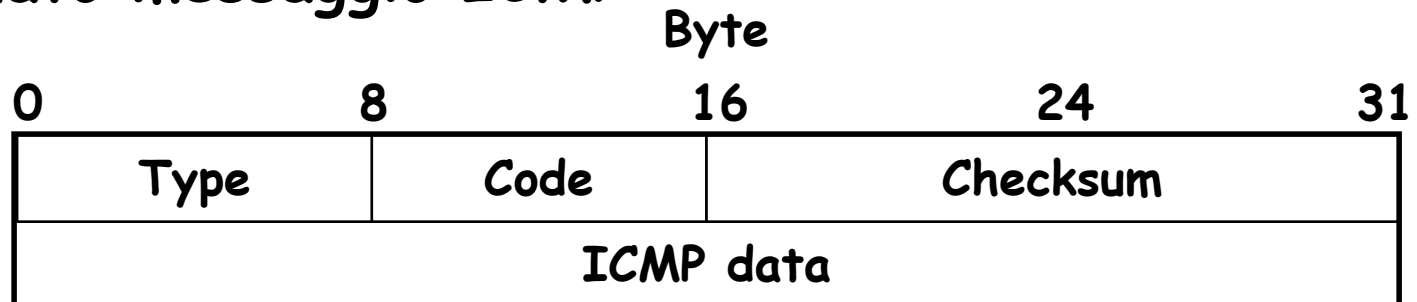
- Il protocollo ICMP (RFC 792, 950) consente ai router di inviare all'host sorgente informazioni riguardanti anomalie nel processamento di un pacchetto
  - errori di instradamento
  - TTL scaduto
  - congestione eccessiva
- ICMP è una parte integrante di IP e deve essere incluso in ogni implementazione di IP
- Un messaggio ICMP è incapsulato nella parte dati di un pacchetto IP

# ICMP

- **ICMP ha lo scopo esclusivo di notificare errori all'host di origine**
  - ICMP non specifica le azioni che devono essere prese per rimediare ai malfunzionamenti
  - spetta all'host di origine decidere le azioni da intraprendere per correggere il problema
- **I messaggi ICMP non sono elaborati dai router intermedi**
- **Non vengono generati nuovi messaggi ICMP in seguito ad errori causati da pacchetti contenenti messaggi ICMP**
  - evita messaggi di errore relativi a messaggi di errore

# ICMP

- Un messaggio ICMP si riferisce ad uno specifico pacchetto
- Un messaggio ICMP contiene l'indicazione del particolare pacchetto IP che ha generato l'errore
  - nel caso di frammentazione, un messaggio ICMP viene emesso solo per il frammento 0
- **Formato messaggio ICMP**



# ICMP

- **Type (4 bit):** identificano il particolare messaggio ICMP

0	Echo replay	11	Time exceeded
3	Dest. Unreachable	13	Time stamp request
4	Source Quench	14	Time stamp replay
5	Redirect	17	Address mask req.
8	Echo	18	Address mask rep.

- **Code (4 bit)**

- contiene il codice di errore

- **Data**

- consente l'individuazione del datagramma che ha causato l'errore
- contiene parte del datagramma IP



# ICMP

## ■ Redirect message

- se è emesso da un router significa che i successivi pacchetti emessi dall'host verso la rete dovranno essere indirizzati verso il router indicato nel messaggio ICMP
- causa una modifica della tabella di instradamento dell'host sorgente

## ■ Source quench

- se è emesso da un router intermedio indica che il router non ha buffer sufficiente per memorizzare il pacchetto
- se è emesso dall'host di destinazione indica che il pacchetto non è stato processato dall'host
- il messaggio è utilizzato dal TCP

## ■ Time exceeded

- indica che il TTL si è esaurito

# ICMP

## ■ Echo e Echo replay

- sono utilizzati per stabilire l'attività di un elemento di un host

## ■ Destination unreachable

- indica che l'instradamento di un pacchetto non è stato completato

## ■ Time Stamp Request e Time Stamp Replay

- sono utilizzati per effettuare misure di prestazioni (es. ritardi di transito)

## ■ Address mask request e Address mask replay

- sono usati per determinare la maschera della sotto-rete a cui è connesso un host
- sono usati da host molto semplici (diskless) dopo aver individuato il proprio indirizzo con il protocollo RARP

# Ping

- **Si utilizza per verificare**
  - l'installazione della pila TCP/IP
  - l'attività di un host
  - il tempo di transito tra host sorgente e host destinazione
- **utilizza i messaggi ICMP Echo e Echo Replay**

# Traceroute

- **Il programma invia una serie di pacchetti IP alla destinazione**
  - Il primo con TTL = 1
  - Il secondo con TTL=2, ecc.
  - Numero di porta qualsiasi
- **Quando l'n-esimo pacchetto arriva all'n-esimo router**
  - Il router scarta il pacchetto
  - Invia all'origine un messaggio di allerta ICMP (tipo 11, codice 0)
  - Il messaggio include il nome del router e l'indirizzo IP
- **Quando il messaggio ICMP arriva, l'origine può calcolare RTT**
- **Traceroute lo fa per 3 volte**
- **Criteri di arresto dell'invio**
  - Quando un segmento UDP arriva all'host di destinazione
  - L'host di destinazione restituisce un messaggio ICMP di porta non raggiungibile (tipo 3, codice 3).
  - Quando l'origine riceve questo messaggio ICMP, si blocca

# tracert www.bbc.com

```
C:\Users\FC>tracert www.bbc.com
```

Traccia instradamento verso www-bbc-com.bbc.net.uk [212.58.246.94]  
su un massimo di 30 punti di passaggio:

```
 1  93 ms  101 ms   4 ms dsldevice.lan [192.168.1.254]
 2 121 ms  103 ms   99 ms 2.239.120.1
 3  91 ms  106 ms   96 ms 10.103.11.10
 4  78 ms  101 ms  101 ms 10.1.169.9
 5 301 ms   53 ms   52 ms 10.1.128.137
 6  92 ms   38 ms   42 ms 10.1.128.37
 7  26 ms   28 ms   45 ms 10.254.0.137
 8  44 ms   67 ms   67 ms 10.254.12.161
 9  31 ms   27 ms   27 ms 10.254.12.6
10 116 ms   70 ms   40 ms 89.97.200.66
11  51 ms  101 ms   50 ms 89.97.200.246
12 257 ms   43 ms   39 ms 93-63-100-10.ip27.fastwebnet.it [93.63.100.10]
13 234 ms  303 ms  303 ms bbc-linx.pr01.thdow.bbc.co.uk [195.66.224.103]
14  *      *      *   Richiesta scaduta.
15 443 ms  408 ms  308 ms ae0.er01.cwwtf.bbc.co.uk [132.185.254.93]
16 423 ms  308 ms  302 ms 132.185.255.165
17 392 ms  408 ms  306 ms bbc-vip015.cwwtf.bbc.co.uk [212.58.246.94]
```

Traccia completata.

# tracert www.oktoberfest.de

```

1  96 ms  98 ms  101 ms dsldevice.lan [192.168.1.254]
2  116 ms 101 ms 101 ms 2.239.120.1
3  288 ms  52 ms  52 ms 10.103.11.10
4  141 ms 101 ms 101 ms 10.1.169.9
5   29 ms  25 ms 235 ms 10.1.128.137
6  222 ms 101 ms 101 ms 10.1.128.37
7  251 ms  43 ms  41 ms 10.254.0.237
8   46 ms 101 ms 101 ms 10.254.12.161
9  292 ms  55 ms  54 ms 10.254.12.6
10 230 ms 101 ms 101 ms 89.97.200.54
11 289 ms  52 ms  53 ms 89.97.200.254
12  79 ms 101 ms 101 ms 89.96.200.21
13 302 ms  56 ms  54 ms r1fra1.core.init7.net [80.81.192.67]
14 254 ms 101 ms 101 ms r1fra3.core.init7.net [77.109.128.222]
15 221 ms 101 ms 101 ms r1nue2.core.init7.net [77.109.140.54]
16 228 ms 101 ms 102 ms r1nue1.core.init7.net [77.109.140.153]
17 124 ms 101 ms 101 ms gw-hetzner.init7.net [77.109.135.102]
18 320 ms  86 ms  85 ms hos-bb2.juniper3.rz16.hetzner.de [213.239.240.16
1]
19 108 ms 101 ms 101 ms hos-tr1.ex3k15.rz16.hetzner.de [213.239.230.3]
20 131 ms 101 ms 102 ms www5.oktoberfest.de [5.9.54.53]

```

Traccia completata.

# tracert www.cnn.com

Traccia instradamento verso cnn-lax-tmp.gslb.vgtf.net [157.166.241.10]  
su un massimo di 30 punti di passaggio:

```

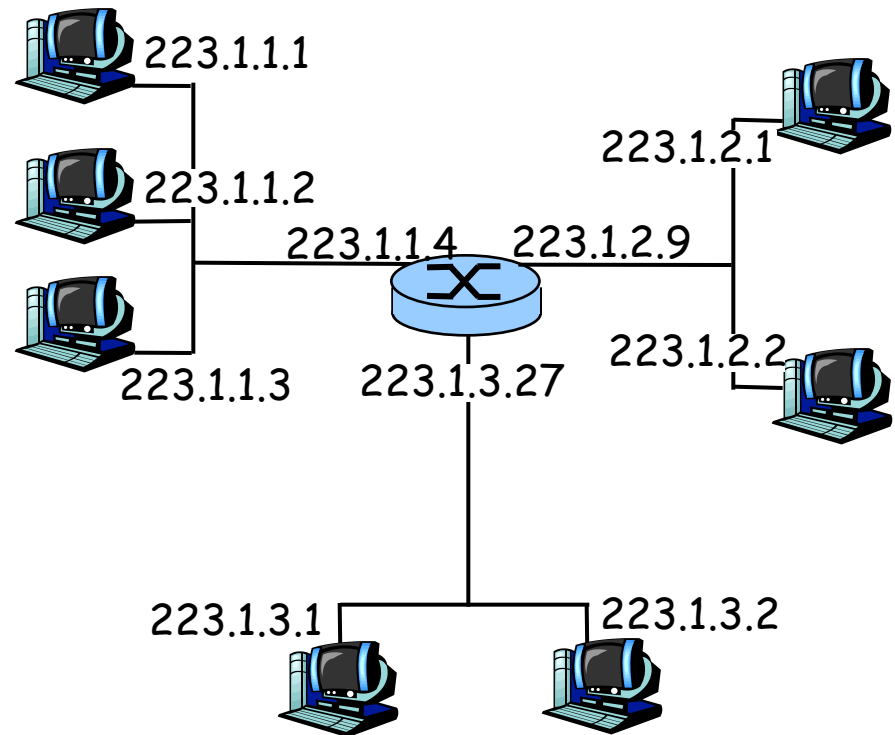
1  4 ms   3 ms   3 ms  dsldevice.lan [192.168.1.254]
2  53 ms  26 ms  26 ms  2.239.120.1
3  62 ms  101 ms 101 ms 10.103.11.58
4  96 ms  *      288 ms 10.1.169.17
5  47 ms  *      519 ms 10.1.128.137
6  39 ms  101 ms 249 ms 10.1.128.61
7  237 ms 53 ms  47 ms 10.254.1.41
8  90 ms  101 ms 99 ms 10.254.11.189
9  297 ms 53 ms  57 ms 89.97.200.62
10 144 ms 304 ms 100 ms 89.97.200.29
11 393 ms 408 ms 306 ms ge0-0-0.roma3.rom.seabone.net [195.22.192.73]
12 435 ms 306 ms 287 ms ge15-0.newark4.new.seabone.net [195.22.216.235]
13 203 ms 298 ms 306 ms te-4-2.car3.Newark1.Level3.net [4.71.148.9]
14 421 ms 306 ms 306 ms ae-32-52.ebr2.Newark1.Level3.net [4.69.156.62]
15 427 ms 306 ms 296 ms ae-4-4.ebr2.Washington1.Level3.net [4.69.132.101]
16 311 ms 306 ms 306 ms ae-82-82.csw3.Washington1.Level3.net [4.69.134.154]
17 218 ms 306 ms 306 ms ae-81-81.ebr1.Washington1.Level3.net [4.69.134.137]
18 423 ms 285 ms 306 ms ae-4-4.ebr3.LosAngeles1.Level3.net [4.69.132.81]
19 426 ms 511 ms 408 ms ae-63-63.csw1.LosAngeles1.Level3.net [4.69.137.34]
20 225 ms 306 ms 306 ms ae-1-60.edge1.LosAngeles9.Level3.net [4.69.144.10]
21 *      *      *      Richiesta scaduta.
```

# Indirizzamento in IPv4



# Indirizzamento IP

- Un indirizzo IP (IP Address) identifica un'interfaccia di rete
  - se un host è connesso a più di una rete (multi-homed) avrà un indirizzo IP per ogni interfaccia
  - Un router ha tanti indirizzi IP quanto sono le interfacce di rete che gestisce
- Un indirizzo IP pubblico è unico in tutta la rete
  - ha una lunghezza di 32 bit



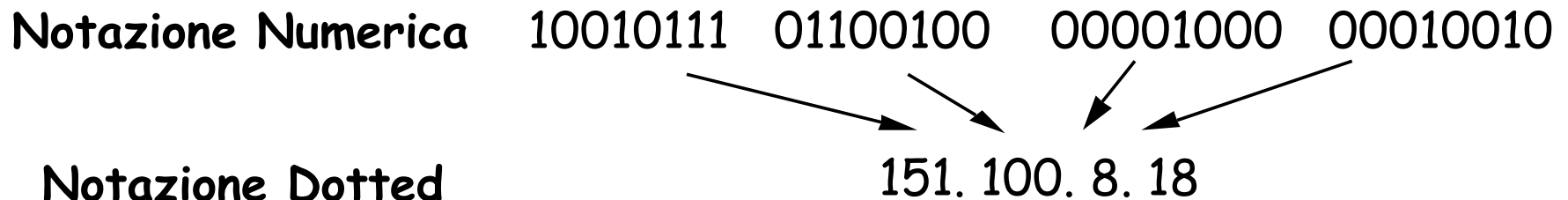
# Schema di indirizzamento

## ■ Notazione numerica

- l'indirizzo è espresso da una stringa di 32 bit

## ■ Notazione "dotted"

- ogni gruppo di 8 bit della notazione numerica è sostituito dall'equivalente numero decimale

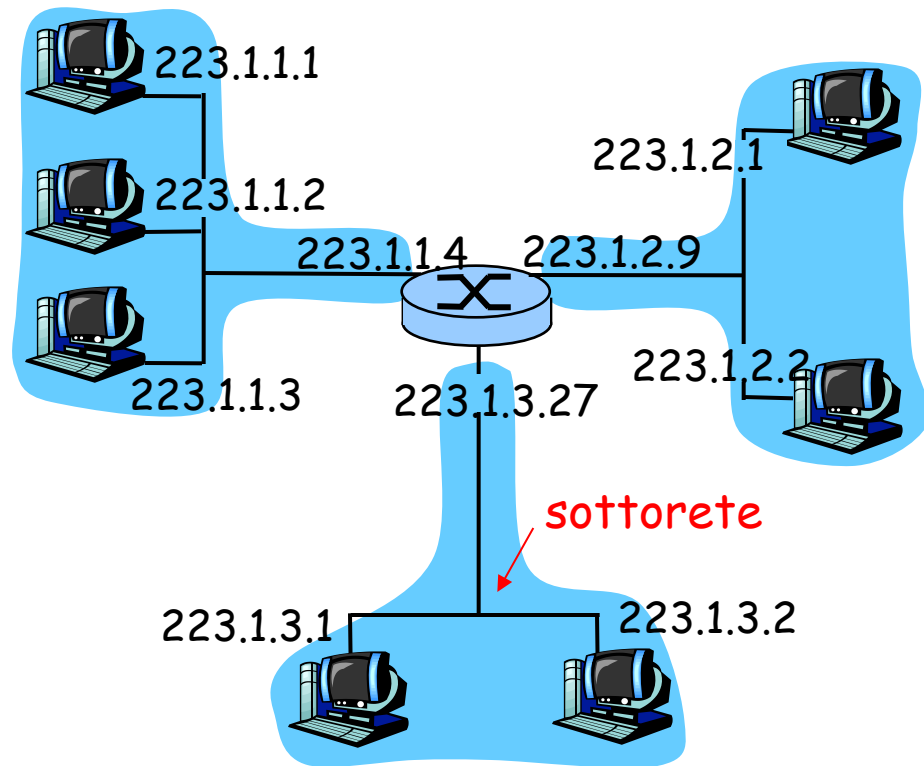


# Indirizzamento IP

- Una **sottorete** è una rete isolata i cui punti terminali sono collegati all'interfaccia di un host o di un router

- Esempio: LAN

- Una sottorete è anche detta **rete IP**

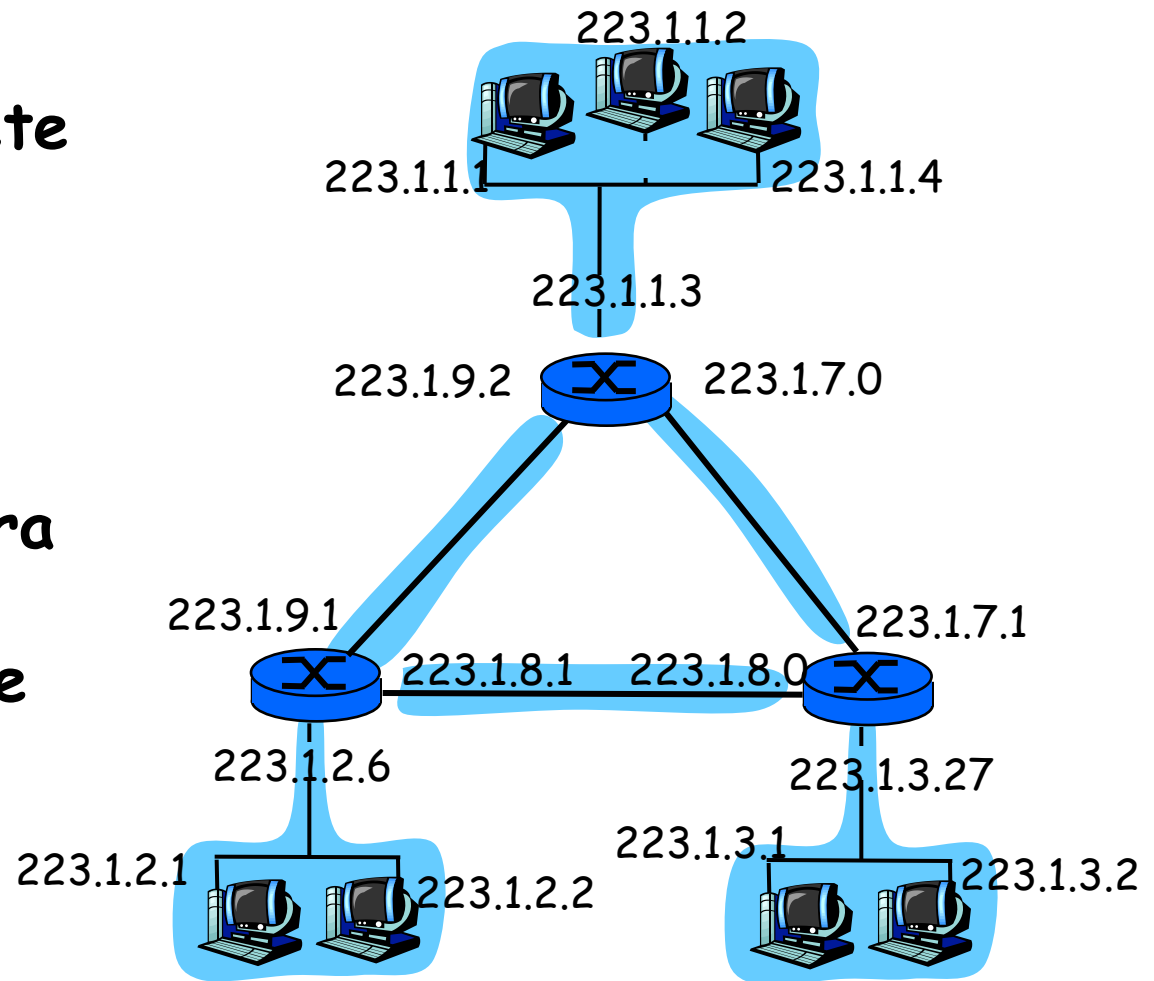


rete composta da 3 sottoreti

# Indirizzamento IP

■ Quante sottoreti compongono la rete IP mostrata in figura ?

■ Un link diretto tra due router è una sottorete con due interfacce



# Indirizzamento IP

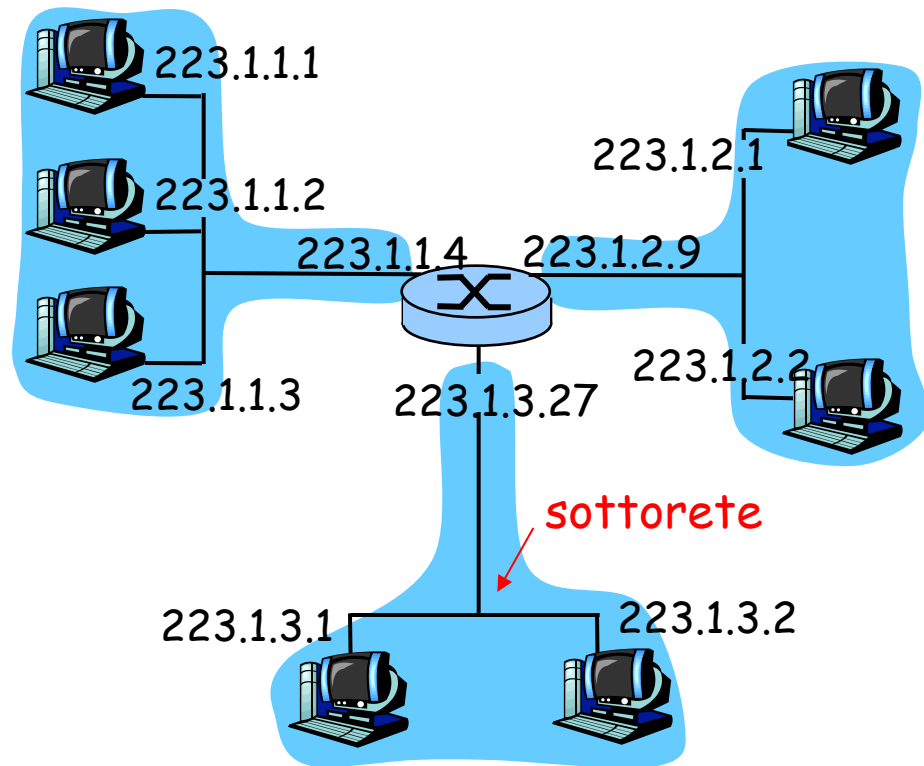
- Un indirizzo IP è formato da due parti

- **Net\_Id**: identificativo di sotto-rete
- **Host\_Id**: identificativo di host all'interno della sotto-rete

**IP\_Address = Net\_Id . Host\_Id**

- La divisione tra Net\_Id e Host\_Id non è fissa

- Una **sottorete** è una rete isolata i cui punti terminali sono collegati all'interfaccia di un host o di un router



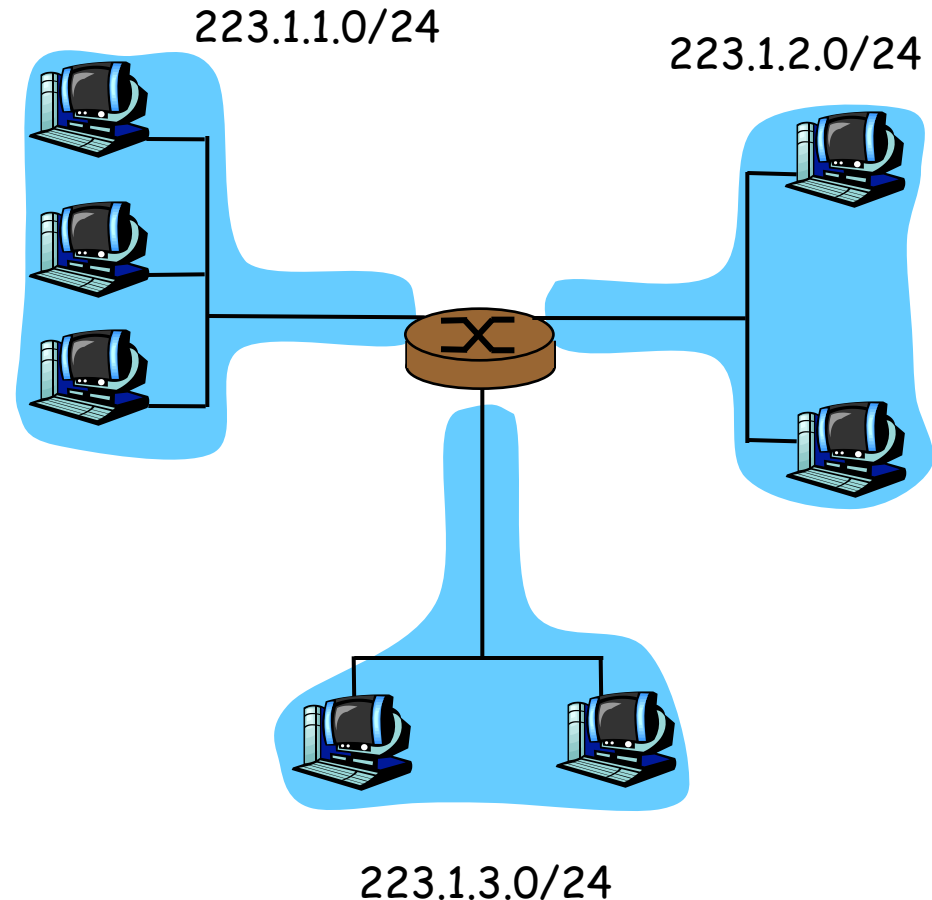
rete composta da 3 sottoreti

# Concetto di prefisso di sottorete

- Una sottorete è identificata da un **prefisso (Net\_Id)**
  - parte dell'indirizzo IP identica per tutte le interfacce che appartengono alla sottorete
- Gli indirizzi IP delle interfacce di una stessa sottorete sono caratterizzati dallo stesso prefisso
- Un indirizzo IP è quindi formato da due parti
  - **Prefisso (Net\_Id)**: identificativo di sotto-rete
  - **Host\_Id**: identificativo di host all'interno della sotto-rete

**IP\_Address = Net\_Id . Host\_Id**

- La divisione tra Net\_Id e Host\_Id non è fissa



Maschera di sottorete: /24

# Schema di indirizzamento "Classfull"

- In origine (1981, RFC 1166) le sottoreti erano divise in classi
  - la classe era individuata dai bit iniziali dell'indirizzo
  - i prefissi (Net\_Id) di sottorete avevano lunghezza fissa

Classe	Bit iniziali	Net_Id	Host_Id	"Reti" disponibili	"Host" disponibili
A	0	7 bit	24 bit	128	16.777.216
B	10	14 bit	16 bit	16384	65.536
C	110	21 bit	8 bit	2.097.152	256
D	1110	Indirizzo multicast: 28 bit Indirizzi possibili: 268.435.456			
E	11110	Riservata per usi futuri: 27 bit Indirizzi possibili: 134.217.728			

# Schema di indirizzamento "Classful"

## ■ Classi di indirizzi IP

	0	8	16	24	31	
Classe A	0	Net_Id	Host_Id			
Classe B	1	0	Net_id	Host_Id		
Classe C	1	1	0	Net_Id	Host_Id	
Classe D	1	1	1	0	Multicast Address	
Classe E	1	1	1	1	0	Reserved



# Convenzioni speciali

- Se un host si muove dalla rete in cui si trova, il suo indirizzo deve essere cambiato

- Mobilità: protocollo Mobile IP

- Convenzioni speciali

Questo host (fase di boot)

Tutti "0"
-----------

Host nella rete locale

Tutti "0"
-----------

Host_Id
---------

Broadcast sulla rete locale

Tutti "1"
-----------

Broadcast sulla rete Net\_Id

Net_Id
--------

Tutti "1"
-----------

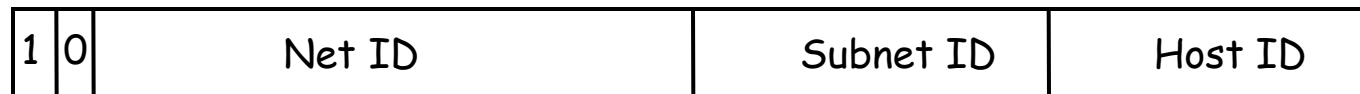
# Subnetting

- La struttura di indirizzamento a due livelli gerarchici era sufficiente nella fase iniziale di Internet
- Nel 1984 è stato aggiunto un terzo livello gerarchico
  - il livello di Sottorete (Subnet)
- Si utilizzano alcuni bit dell'Host\_Id per codificare il Subnet\_Id

Original  
address



Subnetted  
address



# Subnetting

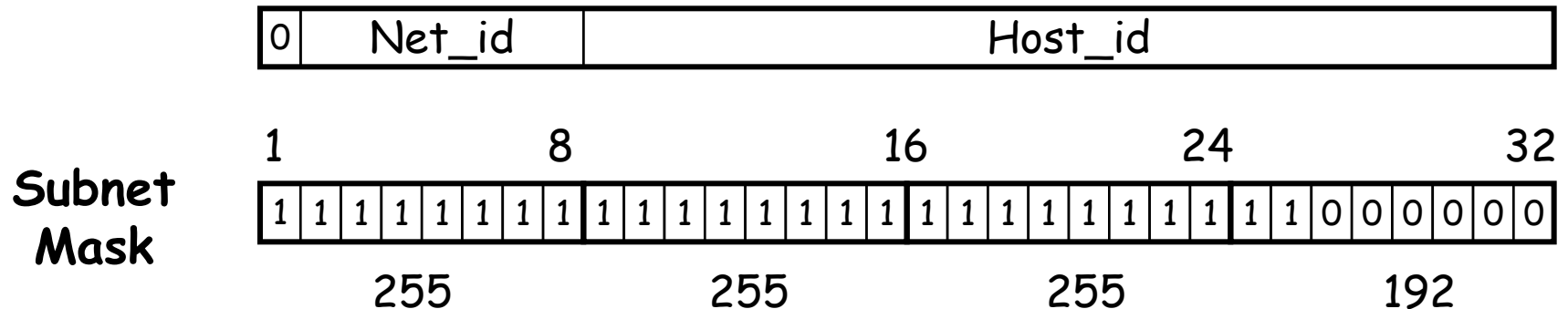
- Il campo Subnet\_Id è identificato da una maschera denominata "**Subnet Mask**"
- Una Subnet Mask è una parola di 32 bit in cui
  - i bit uguali a "1" identificano i bit del Net\_Id e del Subnet\_Id
  - i bit uguali a "0" identificano i bit dell'Host\_Id
- La Subnet\_Id ha significato solo nel router a cui sono connesse le sottoreti

IP address	1	0	Net ID														Subnet ID								Host ID							
------------	---	---	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------	--	--	--	--	--	--	--	---------	--	--	--	--	--	--	--

Subnet Mask	1	1	1	1	1	1	1	1	1	...												1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

# Subnetting Statico (lunghezza fissa)

- Tutte le subnet hanno la stessa maschera
- Esempio:



- numero massimo di sottoreti possibili =  $2^{18} = 262.142$
- numero massimo di host per sottorete =  $2^6 - 2 = 62$

# Subnetting a lunghezza variabile

- Le sotto-reti di una rete usano maschere diverse

- Consente di gestire reti di dimensione diversa

- Esempio:

- Router con un indirizzo di classe C

- 193.214.32.0

- 5 Sottoreti

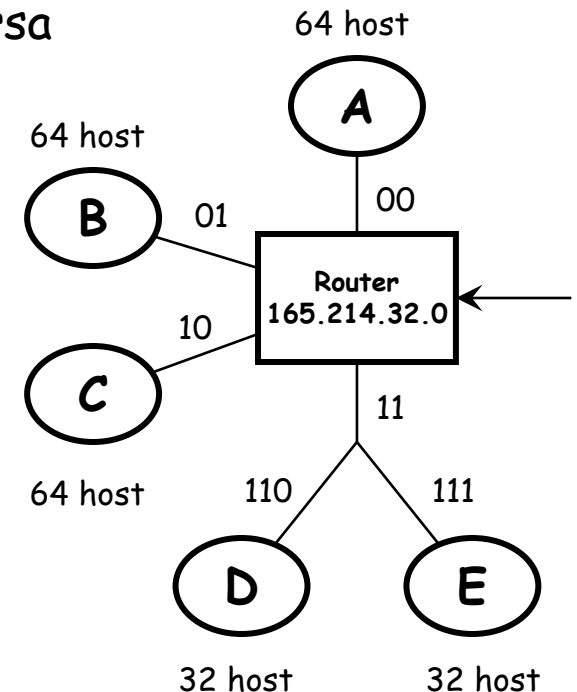
- Subnet A, Subnet B, Subnet C: 50 host

- Subnet D, Subnet E: 30 host

- Subnetting

- 3 sottoreti con 64 host ciascuna (Host\_id: 6 bit)  
(subnet mask 255.255.255.192)

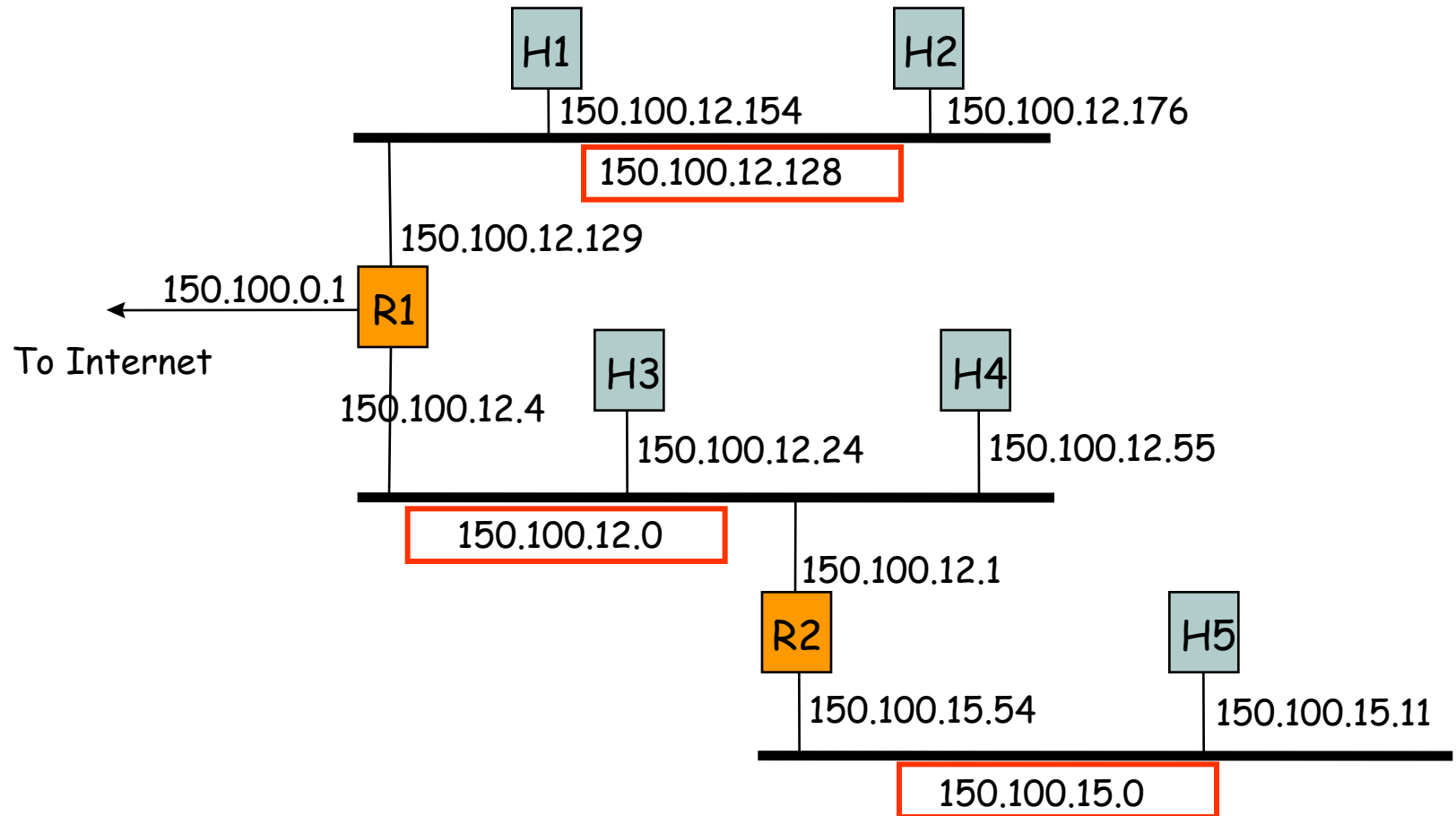
- 1 sottorete divisa in due ulteriori sottoreti con 32 host ciascuna (Host\_id: 5 bit)  
(subnet mask 255.255.255.224)



# Esempio subnetting

- Un provider ha un indirizzo di classe B (Host Id = 16 bit) con Net\_Id = 150.100.0.0
- Si devono creare sottoreti con un numero massimo di 100 host ciascuna
  - 7 bit sufficienti per ciascuna sottorete
  - $16 - 7 = 9$  bit per il Subnet\_Id
- Si applicano le subnet mask per individuare la sottorete
  - Esempio: trovare la sottorete per 150.100.12.176
  - IP add = 10010110 01100100 00001100 10110000
  - Mask = 11111111 11111111 11111111 10000000
  - AND = 10010110 01100100 00001100 10000000
  - Subnet = 150.100.12.128
  - L'indirizzo di sottorete è usato dai router del provider

# Subnetting a lunghezza variabile



# Routing in reti IP



# Routing in reti IP

- Sia gli host che i router hanno una **Tabella di Routing** (Routing table)
- **Host origine**
  - Se la destinazione è sulla stessa rete, il pacchetto è emesso direttamente usando l'interfaccia di rete
    - La frame in cui viene incapsulato il pacchetto conterrà l'indirizzo MAC della destinazione
  - Se la destinazione non è nella stessa rete, il pacchetto è inviato al **default router**
    - La frame in cui viene incapsulato il pacchetto conterrà l'indirizzo MAC del router
- **Router**
  - Esamina l'indirizzo IP di destinazione (IP destination address) nel pacchetto entrante
  - Se la destinazione è su una delle reti a cui è connesso il router, il pacchetto è emesso direttamente usando l'interfaccia di rete
  - Se la destinazione non è su una delle reti a cui è connesso il router, il router accede alla routing table per determinare il next-hop verso cui inoltrare il pacchetto

# Routing Table

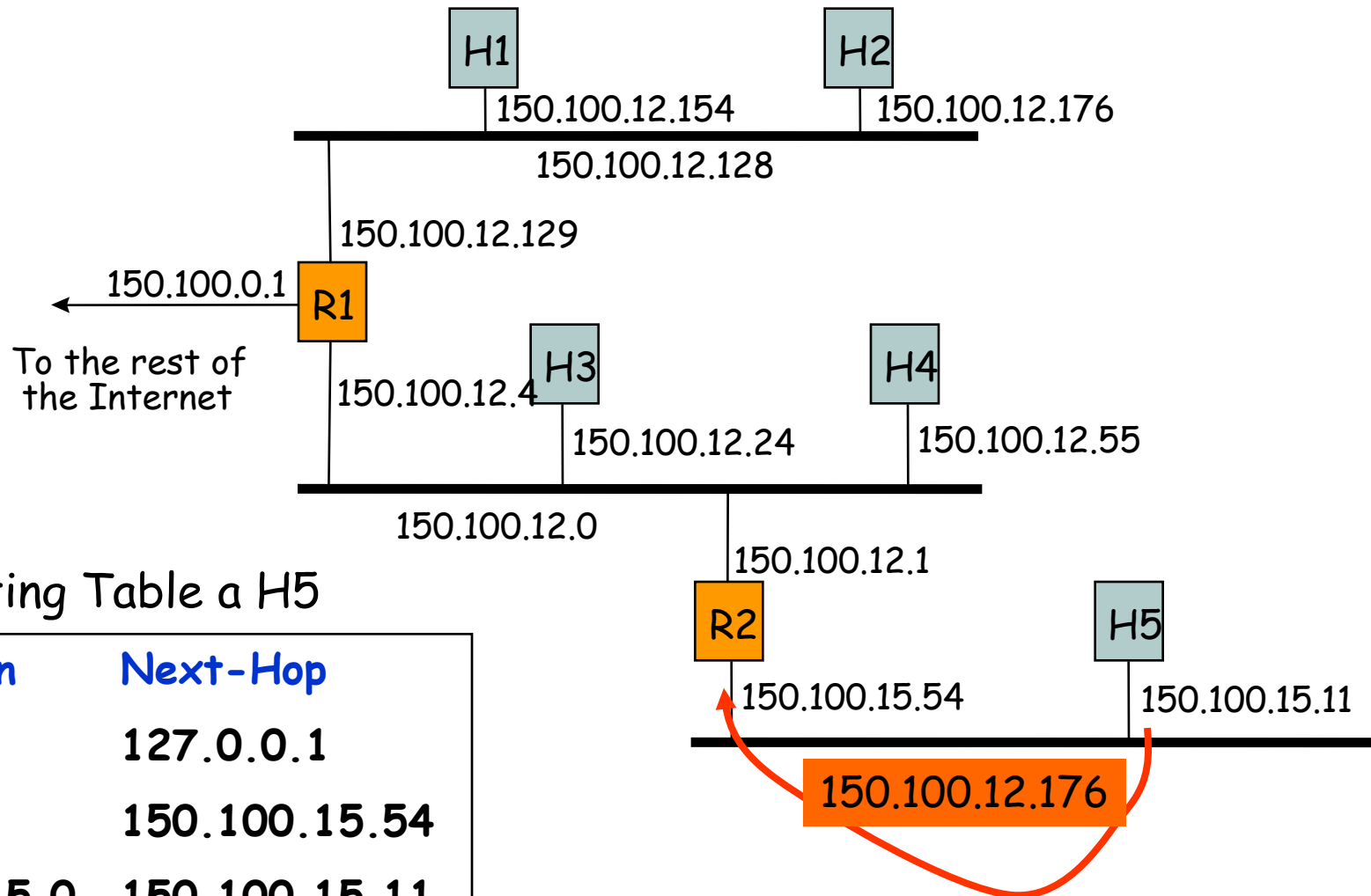
## ■ Ogni riga contiene

- Destination IP address
- IP address del next-hop router
- Identificatore della porta di uscita
- Informazioni statistiche

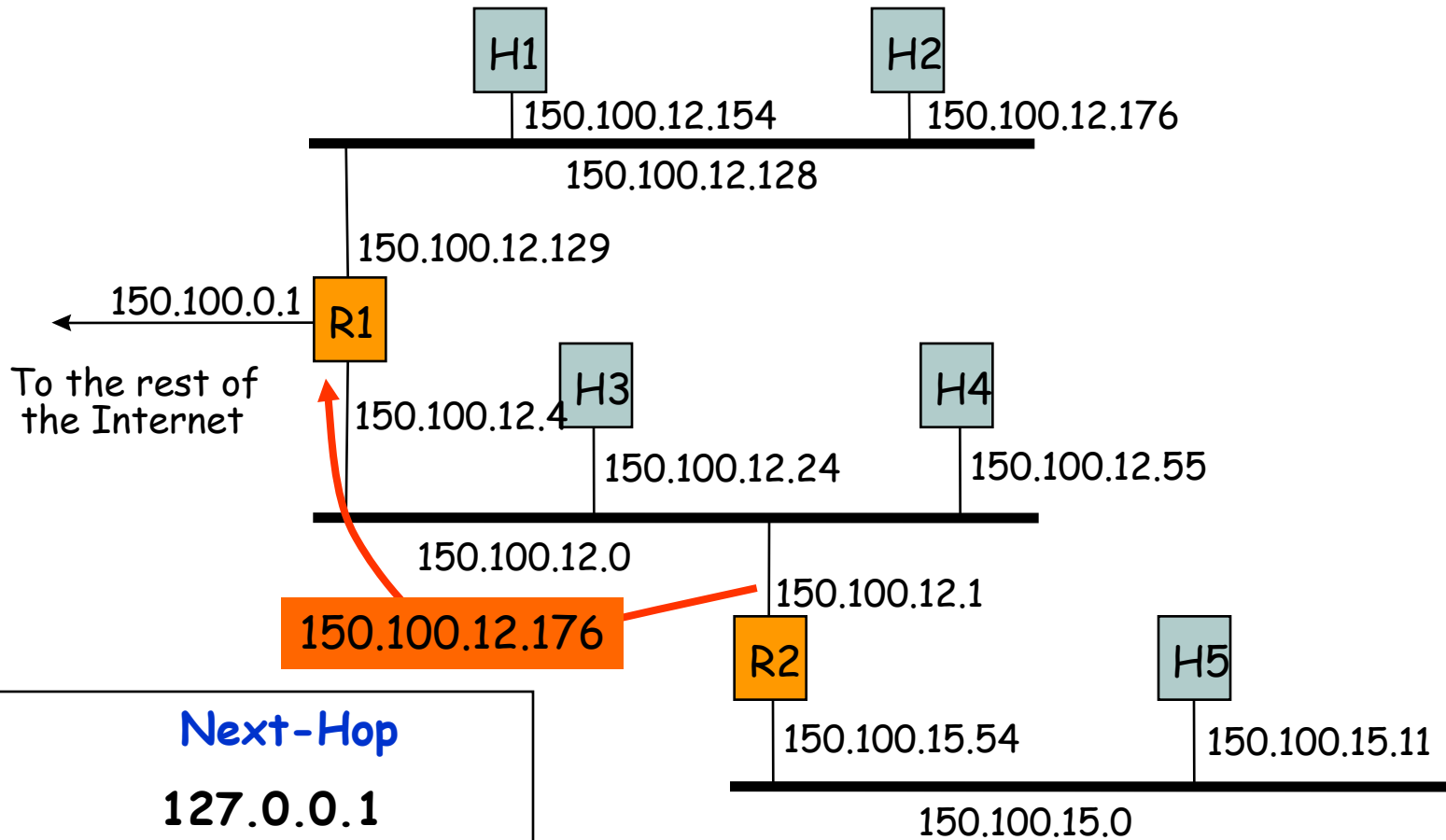
## ■ Criteri di ricerca e relative azioni

1. Destination address completo
2. Destination Net\_ID (prefisso)
3. Default router
4. Altrimenti "Declare packet undeliverable"
  - emissione di un pacchetto ICMP "host unreachable error" verso l'host mittente

# Esempio: H5 emette un pacchetto verso H2



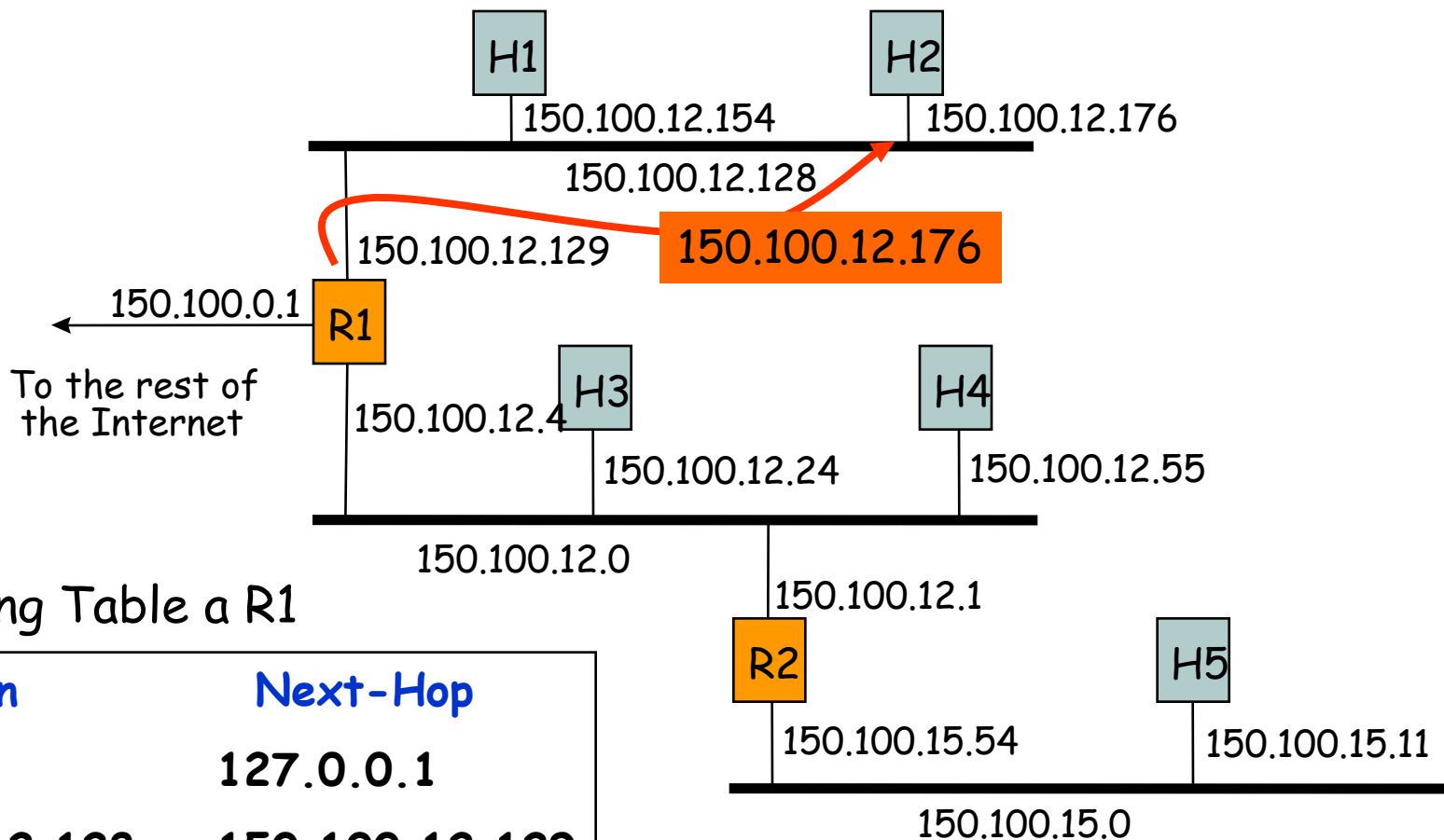
# Esempio: H5 emette un pacchetto verso H2



Destination	Next-Hop
127.0.0.1	127.0.0.1
default	150.100.12.4
150.100.15.0	150.100.15.54
150.100.12.0	150.100.12.1

Routing Table  
a R2

# Esempio: H5 emette un pacchetto verso H2



Routing Table a R1

Destination	Next-Hop
127.0.0.1	127.0.0.1
150.100.12.128	150.100.12.129
150.100.12.0	150.100.12.4
150.100.15.0	150.100.12.1

# Classless Inter Domain Routing CIDR

# Problemi dell'indirizzamento IP

- **Nel 1990, sono apparsi chari due prolemi**
  - Gli indirizzi IP erano in via di esauriemnto
  - Le tabelle di routing stavano crescendo di dimensione
- **Esaurimento degli indirizzi IP**
  - la struttura Classful era inefficiente
    - Indirizzi di Classe B troopo grandi per la maggior parte delle organizzazioni
    - Indirizzi di Classe C troopo piccoli
    - Con la frequenza di allocazione di indirizzi di Classe B se ne prevedeva l'esaurimento entro il 1994
- **Dimensione delle IP routing table**
  - la crescita del numero di reti IP si rifletteva nella crescita del numero di entry delle tabelle di routing
    - Dal 1991 al 1995, la dimensione delle routing table raddoppiava ogni 10 mesi
    - Aumento del tempo di processing e della dimensione dell'ipegno di memoria
- **Soluzione Short-term**
  - Classless Interdomain Routing (CIDR), RFC 1518
  - New allocation policy (RFC 2050)
  - Uso di indirizzi Privatie per le Intranet
- **Long-term solution**
  - Aumento dello spazio di indirizzamento (IPv6, indirizzi a 128 bit)

# Classless Inter Domain Routing (CIDR)

- **CIDR è stato ideato per**
  - rendere più efficiente l'impiego dello spazio di indirizzamento di IP
  - diminuire la complessità delle tabelle di instradamento nei router
- **Ad una rete è assegnato un certo numero di blocchi contigui di indirizzi (Supernetting)**
  - la rete sarà caratterizzata da un unico *prefisso* (insieme dei bit più significativi)
  - la rete sarà individuata nei router solo dal suo *prefisso*
- **Un insieme di reti caratterizzato da blocchi di indirizzi contigui sarà identificato da un unico prefisso**



# Address Allocation Policy

- Indirizzi di Classe A e B sono assegnati solo in caso di dimostrata necessità
- Sono assegnati blocchi consecutivi di classe C (fino a 64 blocchi)
  - Tutti gli IP addresses hanno un common **prefix**
  - La lunghezza del prefisso può essere arbitraria
- La metà inferiore degli indirizzi di classe C è assegnata su base geografica

Address Requirement	Address Allocation
< 256	1 Class C
256< , <512	2 Class C
512< , <1024	4 Class C
1024< , <2048	8 Class C
2048< , <4096	16 Class C
4096< , <8192	32 Class C
8192< , <16384	64 Class C

# CIDR

## ■ Pianificazione geografica degli indirizzi di classe C

Multiregional	192.0.0	193.255.255
Europe	194.0.0	195.255.255
Others	196.0.0	197.255.255
North America	198.0.0	199.255.255
Central/South America	200.0.0	201.255.255
Pacific Rim	202.0.0	203.255.255
Others	204.0.0	205.255.255
Others	206.0.0	207.255.255

## ■ Tutte le reti appartenenti ad una regione geografica sono identificate dagli stessi 7 bit di prefisso

### ■ Esempio: Europa

■ da 194 = 11000010 0 a 195 = 11000011 1

# Supernetting

## ■ Esempio: 150.158.16.0/20

- IP Address (150.158.16.0); lunghezza della maschera (20)
- IP add = 10010110 10011110 00010000 00000000
- Mask = 11111111 11111111 11110000 00000000
- Contiene 16 blocchi di Classe C
- Da 10010110 10011110 00010000 00000000
  - 150.158.16.0
- Fino a 10010110 10011110 00011111 00000000
  - 150.158.31.0

# Classless Inter-Domain Routing

- **Il CIDR rallenta la crescita della dimensione delle Routing Table**
  - Una rete è rappresentata da un prefisso e da una maschera
  - Pre-CIDR: Una rete con 16 blocchi di classe C contigui richiedeva 16 entry
  - Post-CIDR: Una rete con 16 blocchi di classe C contigui richiedeva 1 entry
- **L'instradamento è effettuato in base al prefisso**
  - Un entry di una Routing table entry contiene <IP address, network mask>
  - Esempio: 192.32.136.0/21
    - 11000000 00100000 10001000 00000001 min address
    - 11111111 11111111 11111--- ----- mask
    - 11000000 00100000 10001--- ----- IP prefix
    - 11000000 00100000 10001111 11111110 max address
    - 11111111 11111111 11111--- ----- mask
    - 11000000 00100000 10001--- ----- same IP prefix

# CIDR

## ■ Esempio 1

- Assegnazione degli indirizzi nel Nord America
  - CIDR mask per il North America = 198.0.0.0/7
- Ad un grande Internet Service Provider (ISP) sono assegnati 2048 blocchi di indirizzi di classe C
  - da 198.24.0.0      (11000110.00011000.00000000.0)
  - a 198.31.255.0    (11000110.00011111.11111111.0)
  - CIDR mask per il grande ISP = 198.24.0.0/13
- Un piccolo ISP locale richiede al grande ISP 16 blocchi di indirizzi di classe C
  - da 198.24.16.0    (11000110.00011000.00010000.0)
  - a 198.24.31.0    (11000110.00011000.00011111.0)
  - CIDR mask per il piccolo ISP locale = 198.24.16.0/20

# CIDR

## ■ Esempio 2

### ■ Assegnazione degli indirizzi in Europa

■ CIDR mask per l'Europa = 194.0.0.0/7

### ■ Ad una organizzazione sono assegnati 2048 indirizzi di classe C

■ da 194.32.136.0 (11000010.00100000.10001000.0)

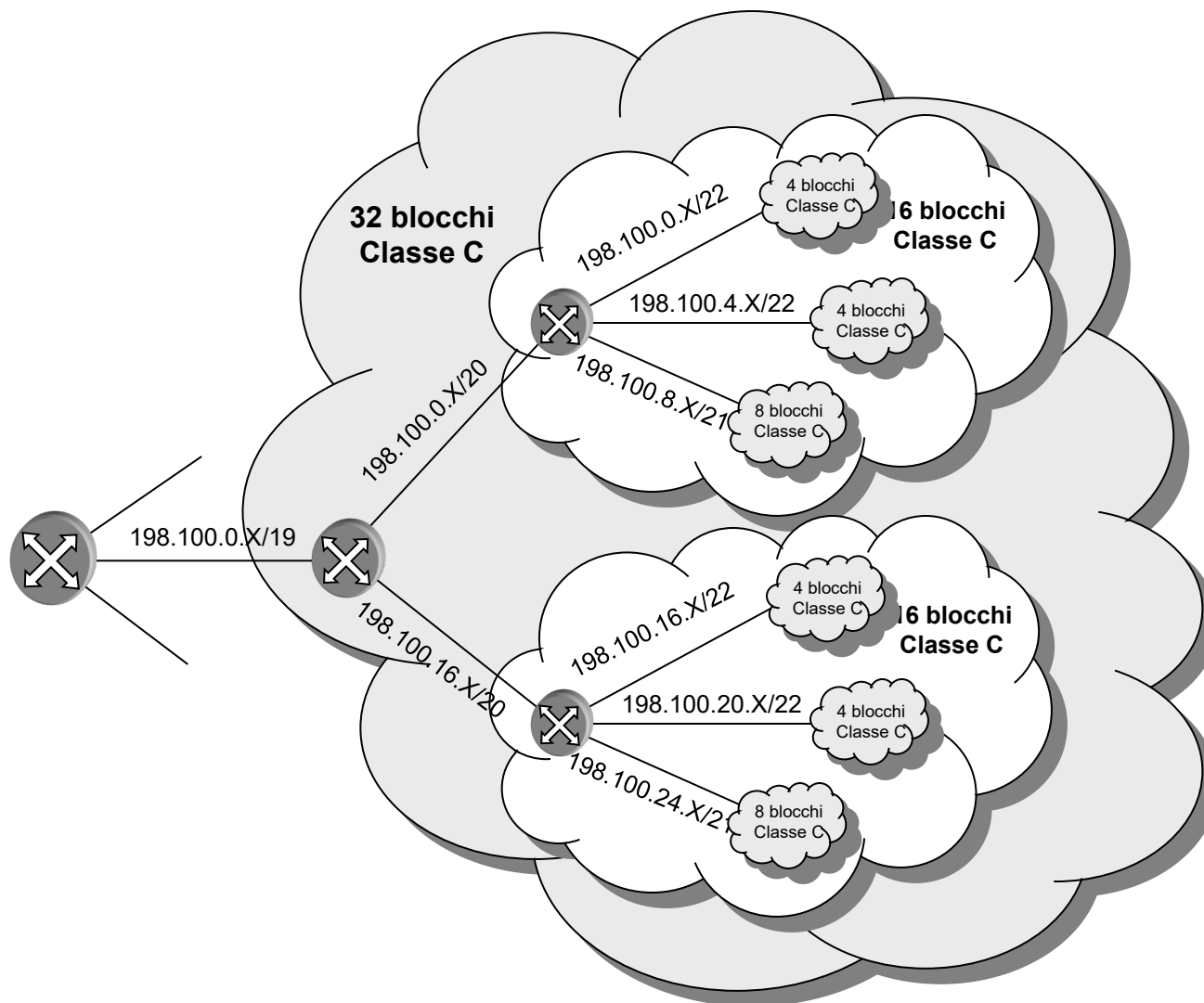
■ a 194.32.143.0 (11000010.00100000.10001111.0)

■ CIDR mask per il grande ISP = 194.32.136.0/21

# CIDR Allocation Principles (RFC 1518-1520)

- **L'assegnazione degli IP address riflette la topologia fisica della rete**
- **La topologia di rete segue i confini continentali e nazionali**
  - Gli indirizzi IP devono essere assegnati su questa base
- **I domini di transito (TRD) hanno un prefisso IP unico**
  - Trasportano traffico tra domini terminali
  - la maggior parte dei domini terminali sono single-homed: connessi ad un solo TRD
  - A tali domini sono assegnati indirizzi con lo stesso prefisso del TRD
  - Tutte le reti connesse ad un TRD sono aggregate in un solo entry delle tabelle di routing (BGPv4, RFC 1520)

# CIDR





# Longest Prefix Matching

- In una routing table una Super rete può essere rappresentata da un unico elemento corrispondente al suo prefisso
- Per ogni pacchetto entrante, un router sceglie l'instradamento verso la direzione corrispondente al **prefisso di lunghezza maggiore**

# Longest Prefix Matching

## ■ Instradamento

- indirizzo 198.15.7.3

- indirizzo 198.15.7.4

## ■ 198.15.7.3

- porta 1: matching prefisso 16

- porta 7: matching prefisso 24

- porta 4: matching prefisso 32

## ■ 198.15.7.4

- porta 1: matching prefisso 16

- porta 7: matching prefisso 24

- porta 4: no matching

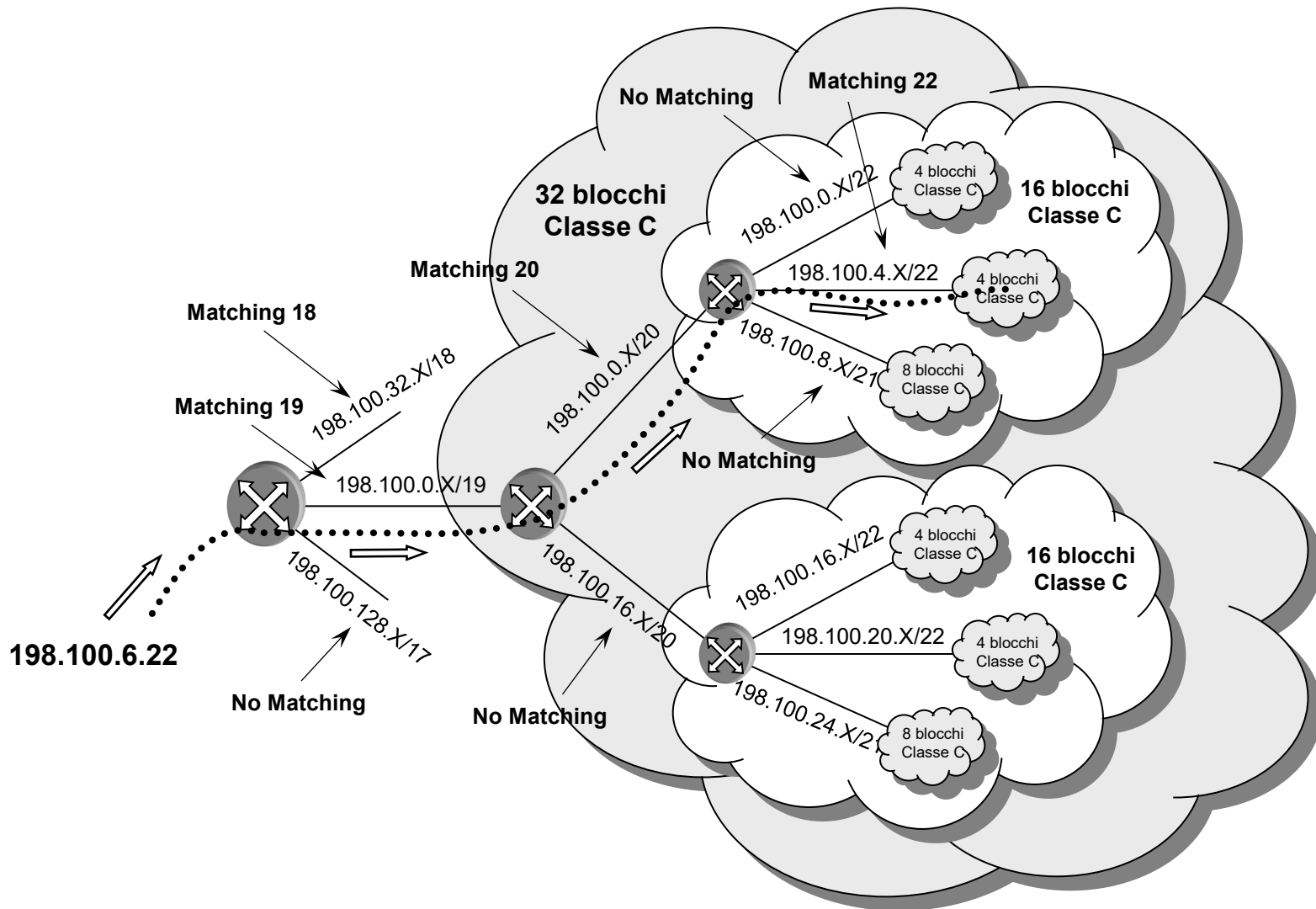
Tabella di instradamento

Prefix	Porta d'uscita
198.15.0.0/16	1
198.15.7.0/24	7
198.15.7.3/32	4

198.15.7.3  $\Rightarrow$  porta 4

198.15.7.4  $\Rightarrow$  porta 7

# Longest Prefix Matching



# Longest Prefix Matching

