



Reti di Comunicazione ed Internet

IP protocol 2a parte

Prof. Massimo Tornatore



Indirizzamento e inoltro in IP

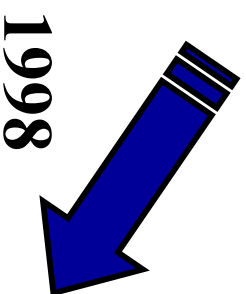
- **Indirizzo IP**
- **Indirizzamento Classfull**
- **Meccanismo di inoltro pacchetti**
- **Subnetting**
- **Supernetting**
- **Indirizzamento Classless**
- **NAT**



Indirizzi IP e nomi di domini

- Gli indirizzi IP sono assegnati su base globale
- Internet fa uso anche di nomi simbolici che sono anch'essi assegnati su base globale

IANA
(Internet Assigned Numbers Authority)



1998

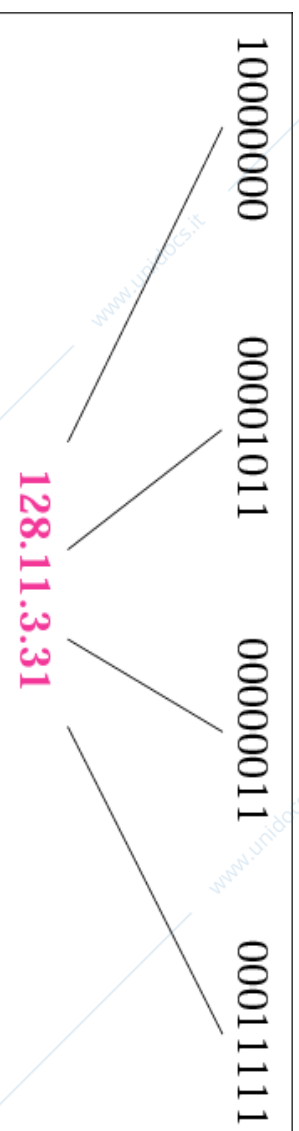
ICANN
(Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)



Internet Protocol Addressing/Indirizzamento

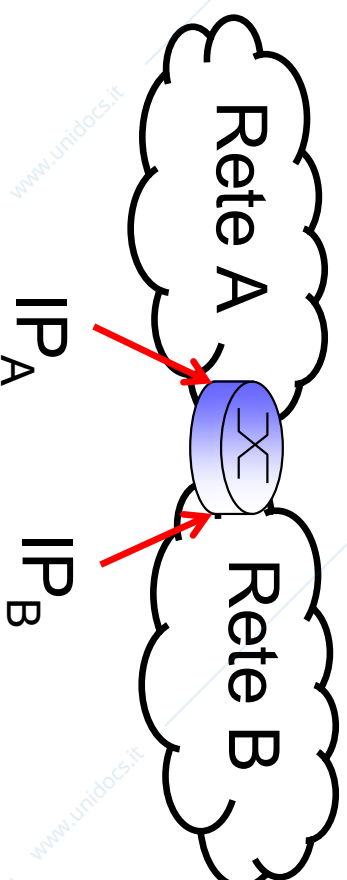
■ Indirizzo IP

- Include 32 bit nella forma x.y.z.w dove x,y,z,w=0,...,255



“Notazione decimale puntata”

- Caratterizza un'interfaccia di un nodo (non il nodo intero)



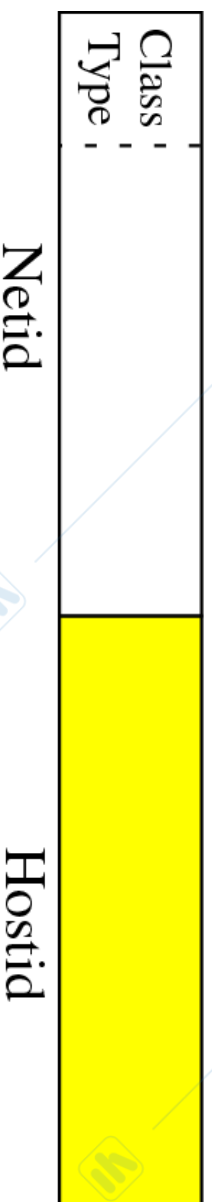


Internet Protocol Addressing/Indirizzamento

■ L'indirizzo IP è costituito da due livelli

- Il livello superiore (prefisso) contiene gli indirizzi IP per la rete (Net-ID)
- Il livello inferiore (suffisso) contiene gli indirizzi IP per gli host (Host-ID)

An Internet address is made of four bytes (32 bits) that define a host's connection to a network.



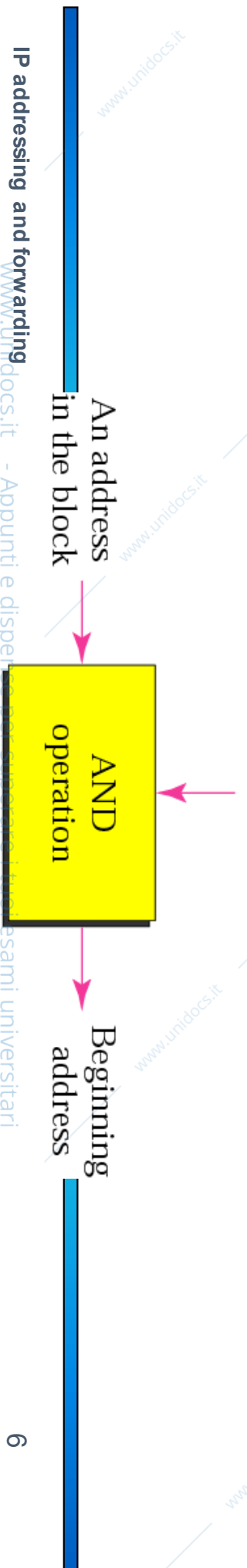
■ **NOTA BENE: esistono 2 valori di Host-ID particolari:**

- Tutti '0': utilizzato quando si vuole individuare l'intera rete *Net-ID*
- Tutti '1': utilizzato come indirizzo di broadcast della rete *Net-ID*
- **A nessun host fisico possono essere assegnati questi due indirizzi!!!!**



Internet Protocol Addressing/Indirizzamento

- La parte di indirizzo di rete corrisponde ai primi n bit dell'indirizzo IP, ed è chiamata network prefix (prefisso di rete)
- **Esempio:** $130=128+2$ $86=64+16+4+2=255-128-32-8-1$
 - Il prefisso 10000010 01010110 (=130.86)
 - Rappresenta tutti i 2^{16} indirizzi che iniziano con i bit 10000010 01010110
 - La notazione 130.86.0.0/16
 - Indica che la lunghezza del prefisso è data dai primi 16 bit dell'indirizzo, ovvero 130.86.*.*
 - Notazione alternativa equivalente: utilizzo di netmask (maschera di rete) 255.255.0.0
 - Contiene "1" in tutti i bit relativi alla parte rete, "0" per la parte host
 - Consente di individuare l'identificativo di rete (net-id) di un qualunque indirizzo del blocco tramite una semplice operazione logica





Indirizzamento e inoltro in IP

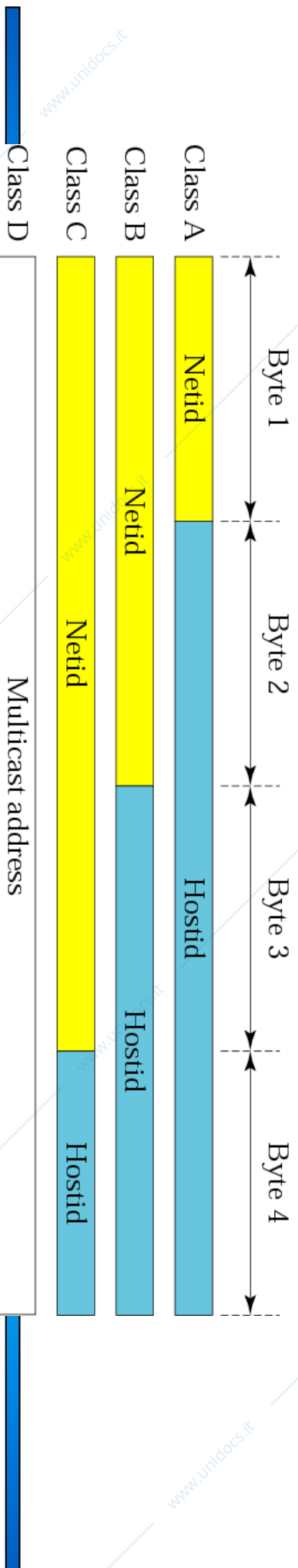
- Indirizzo IP
- **Indirizzamento Classfull**
- Meccanismo di inoltro pacchetti
- Subnetting
- Supernetting
- Indirizzamento *Classless*
- NAT



Indirizzamento Classful

■ In origine sono state definite 5 classi di indirizzi IP

- A: reti grandi: netID 7 bit ($x=1\dots, 126$), hostID 24 bit 255-128-1
- B: reti medie-grandi: netID 14 bit ($x=128, \dots, 191$), hostID 16 bit 255-64
- C: tante reti piccole: netID 21 bit ($x=192, \dots, 223$), hostID 8 bit 128+64
- D: applicazioni multicast 255-32
($x=224, \dots, 239$) 128+64+32
- E: riservati per usi futuri
($x=240, \dots, 255$) 128+64+32+16

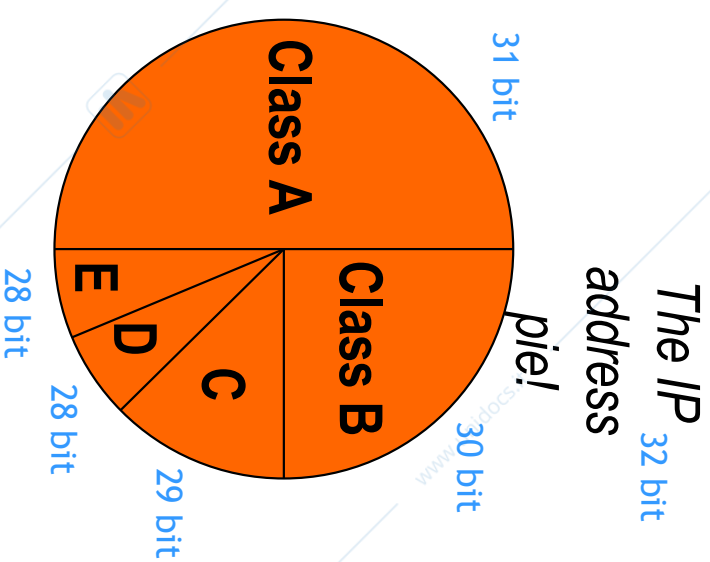
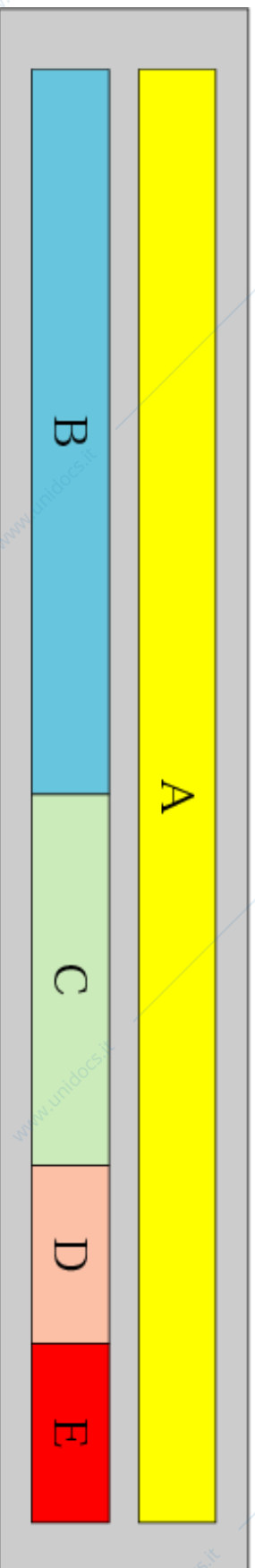




Spazio degli indirizzi

Class	Number of Addresses	Percentage
A	$2^{31} = 2,147,483,648$	50%
B	$2^{30} = 1,073,741,824$	25%
C	$2^{29} = 536,870,912$	12.5%
D	$2^{28} = 268,435,456$	6.25%
E	$2^{28} = 268,435,456$	6.25%

Address space

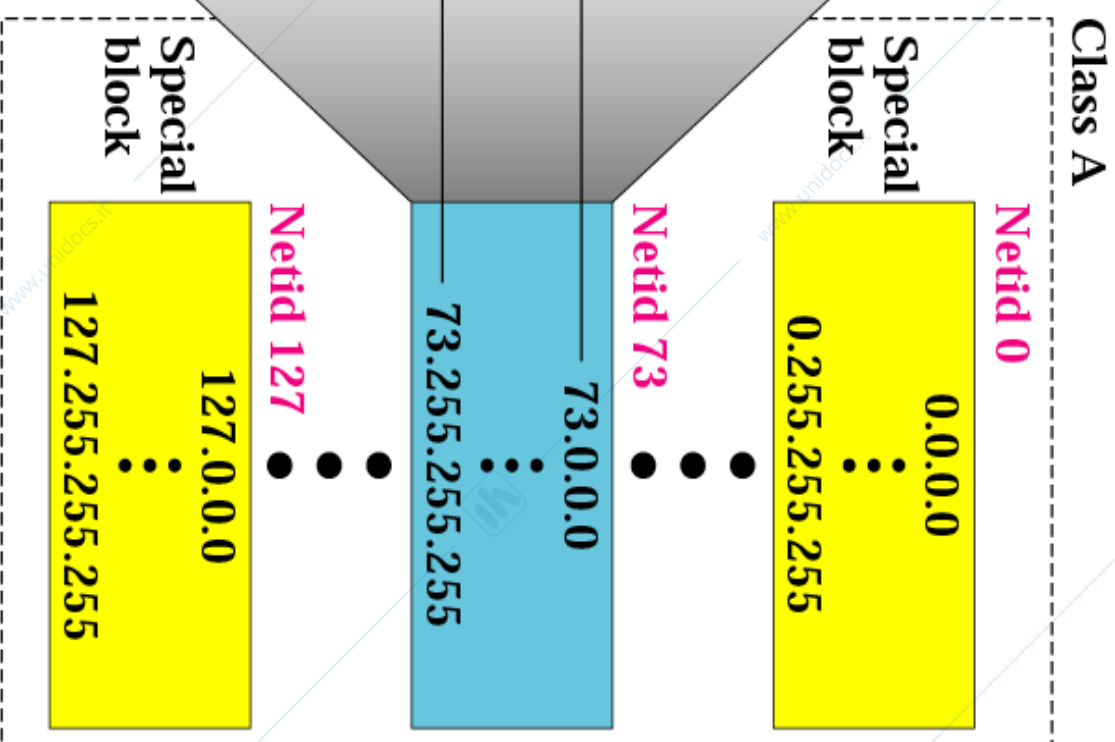
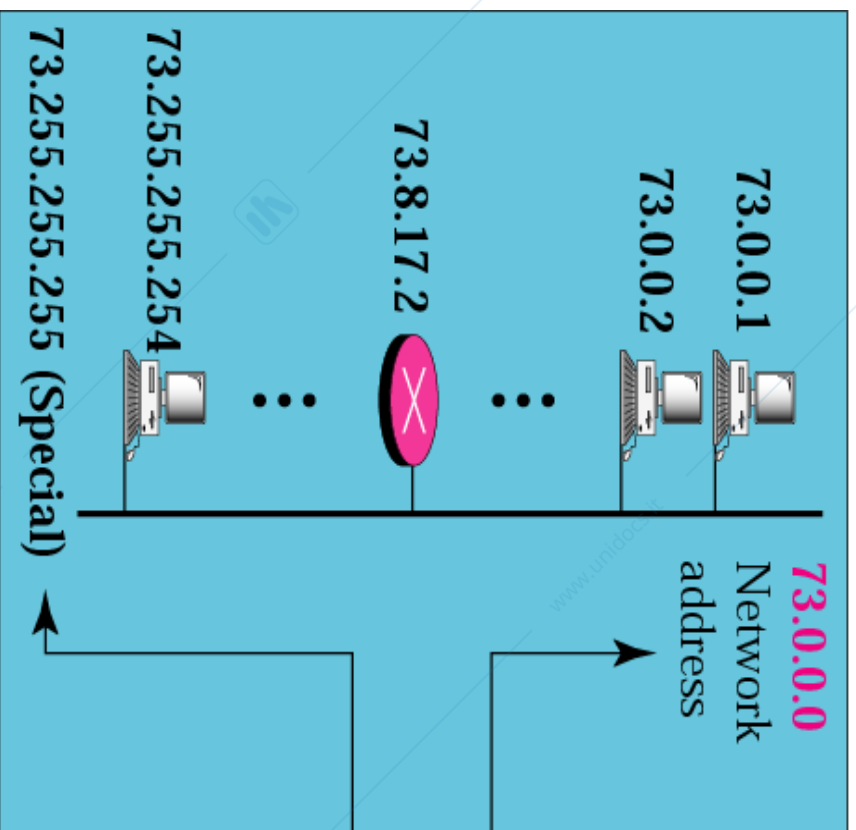




Blocchi in classe A

Notare l'indirizzo riservato all'interfaccia del router: Non dimenticarselo nella pianificazione

73 is common in all addresses



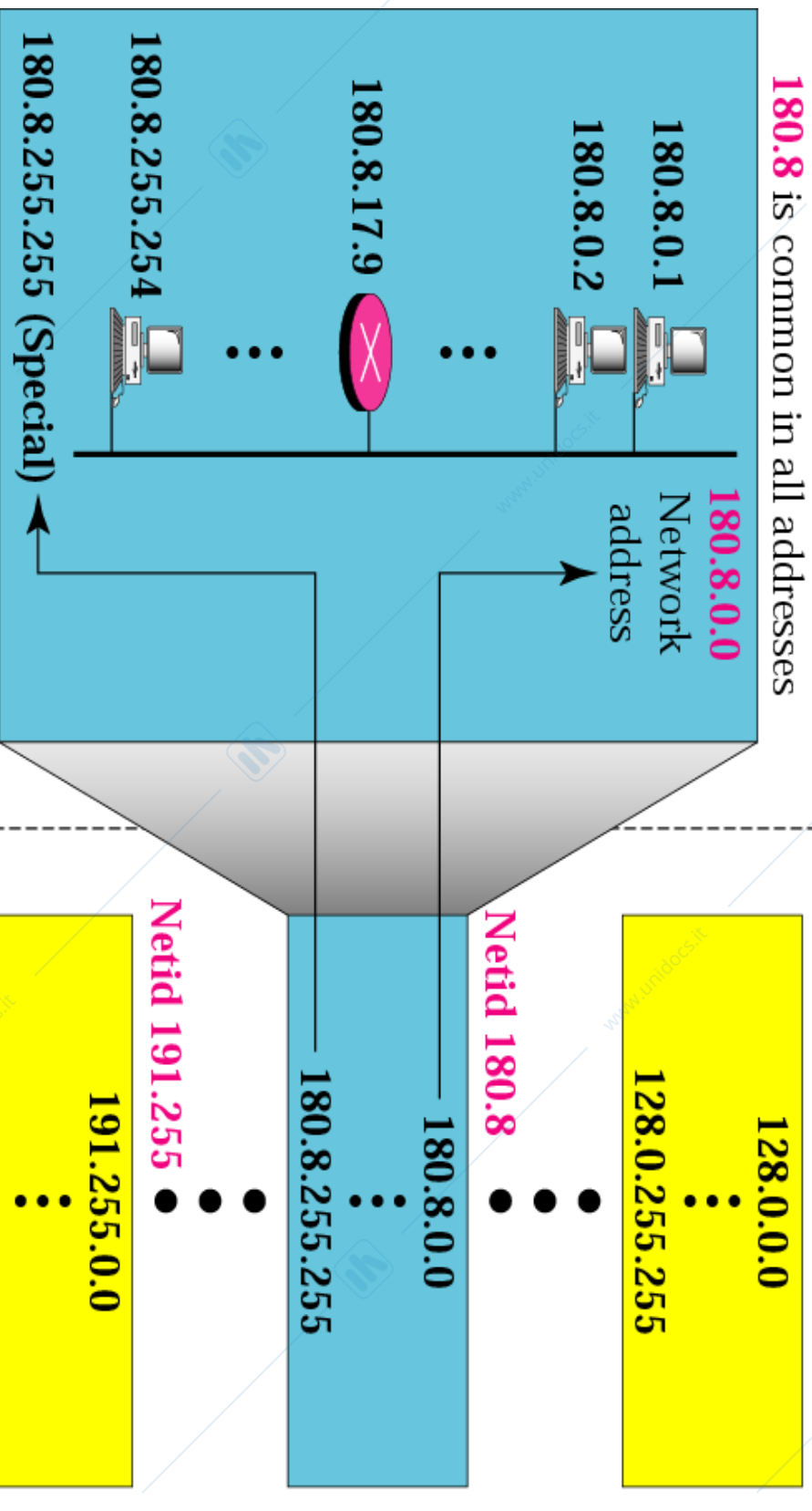
128 blocks: 16,777,216 addresses in each block

In ciascun blocco ad host e router posso assegnarne in totale
 $2^{24} - 2 = 16777216 - 2 = 16777214$

IP Protocol



Blocchi in classe B

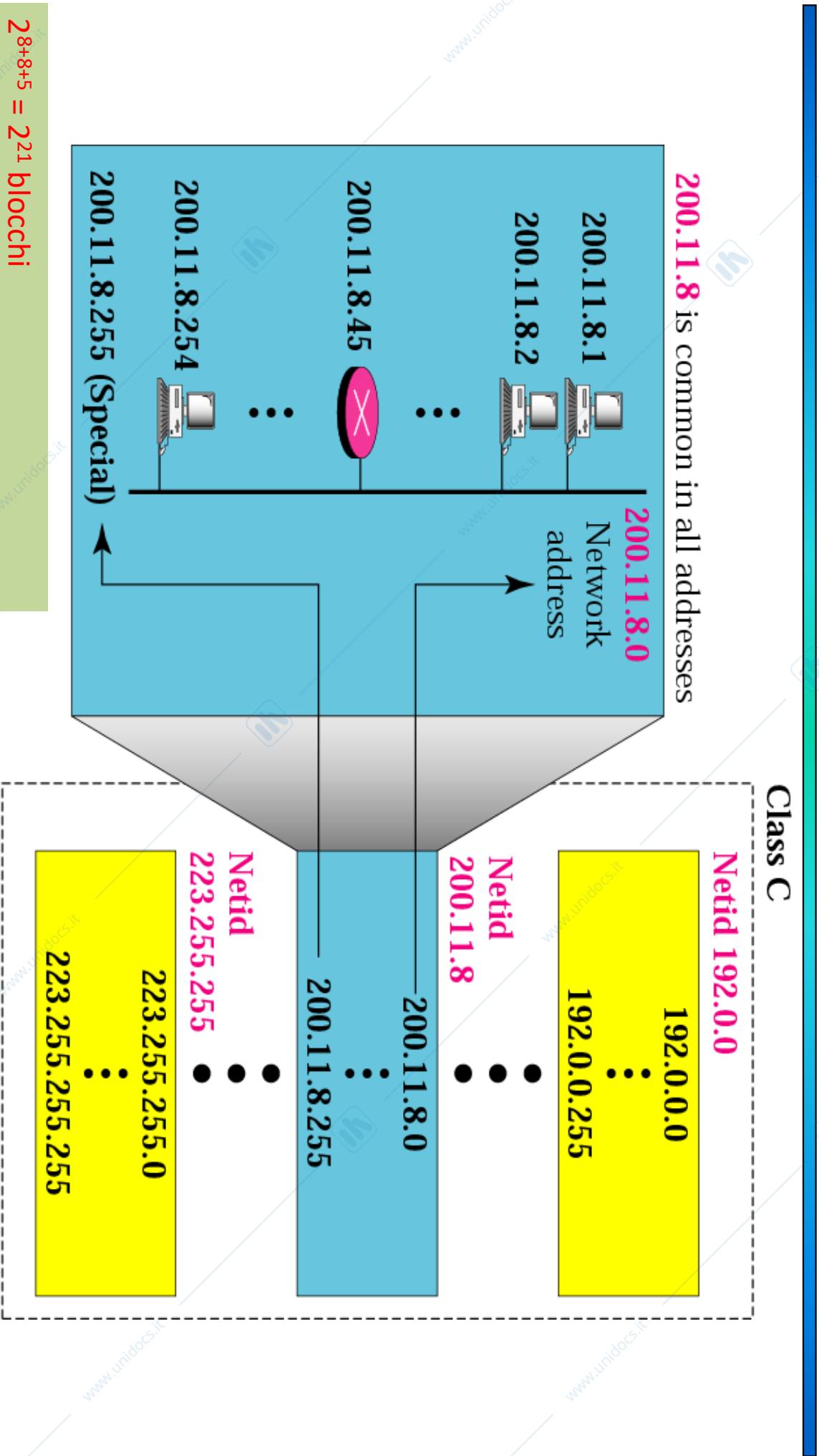


$2^{8+6} = 2^{14} = \text{blocchi}$
 $2^{16} - 2 = 65534$ indirizzi assegnabili per blocco

16,384 blocks: 65,536 addresses in each block



Blocchi in classe C



$2^{8+8+5} = 2^{21}$ blocchi

$2^8 - 2 = 254$ indirizzi assegnabili per blocco

2,097,152 blocks: 256 addresses in each block



Esempi di indirizzi IP

■ Class A

- 9.XX.XX.XX IBM
- 12.XX.XX.XX AT&T
- 13.XX.XX.XX XEROX
- 15.XX.XX.XX HP
- 17.XX.XX.XX Apple Computer

■ Class B

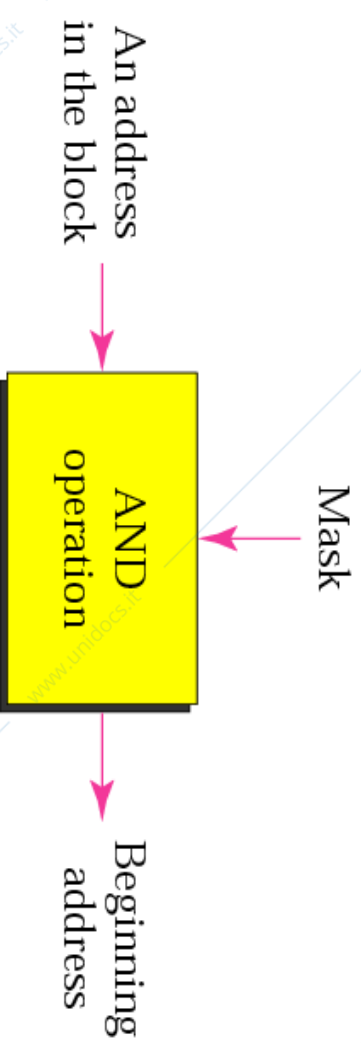
- 128.215.XX.XX INTEL
- 129.188.XX.XX MOTOROLA
- 131.107.XX.XX Microsoft
- 131.175.XX.XX CILEA

■ Class C

- 192.5.48.XX Purdue University
- 192.11.0.XX Lucent Technologies (AT&T Bell Labs)
- ...
- 192.11.255.XX



Indirizzamento Classfull Netmask



- **La netmask consente di individuare il campo net-id (e quindi la classe)**
 - Contiene “1” nel campo rete, “0” nel campo host
- **Maschere di default**

Class	Mask in binary	Mask in dotted-decimal
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0



Indirizzamento Classfull

Indirizzi Speciali

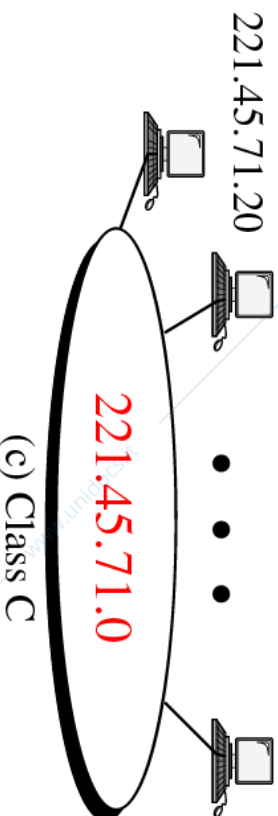
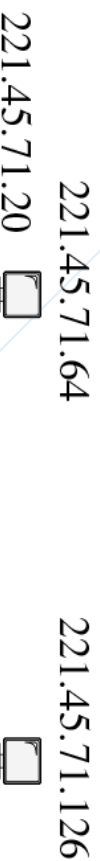
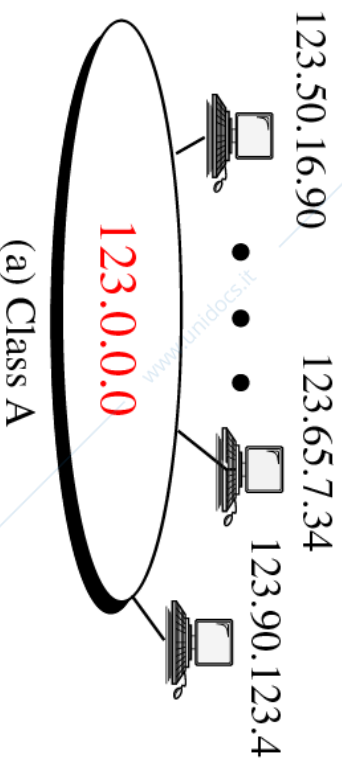
<i>Special Address</i>	<i>Netid</i>	<i>Hostid</i>	<i>Source or Destination</i>
Network address	Specific	All 0s	None
Direct broadcast address	Specific	All 1s	Destination
Limited broadcast address	All 1s	All 1s	Destination
This host on this network	All 0s	All 0s	Source
Specific host on this network	All 0s	Specific	Destination
Loopback address	127	Any	Destination



Indirizzamento Classfull

Indirizzi Speciali

Network address





Indirizzamento Classfull

Indirizzi Speciali

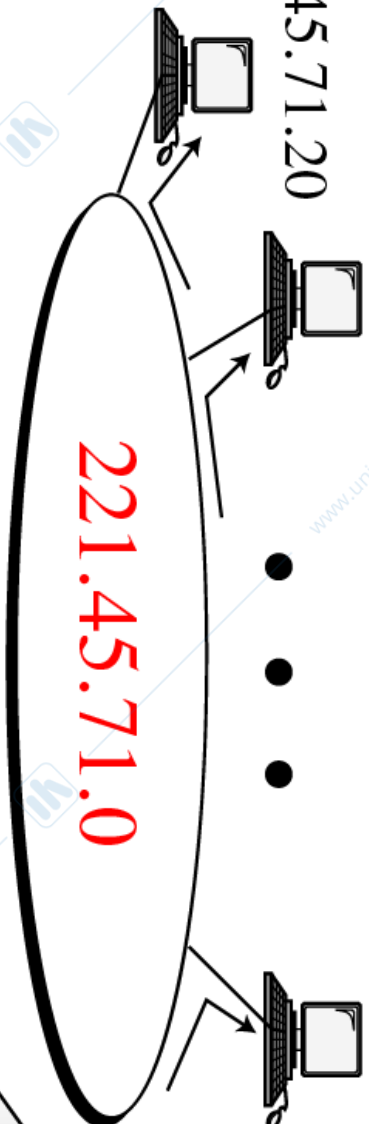
■ Broadcast diretto



221.45.71.64

221.45.71.126

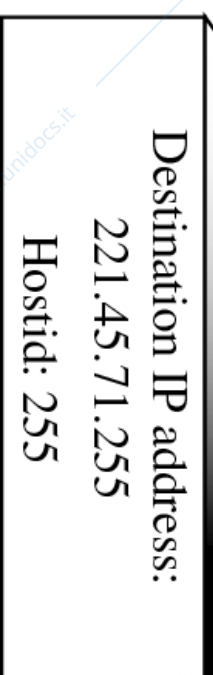
221.45.71.20



Class C

The direct broadcast address is used by a router to send a message to every host on a local network.

Every host/router receives and processes the packet with a direct broadcast address.





Indirizzamento Classfull

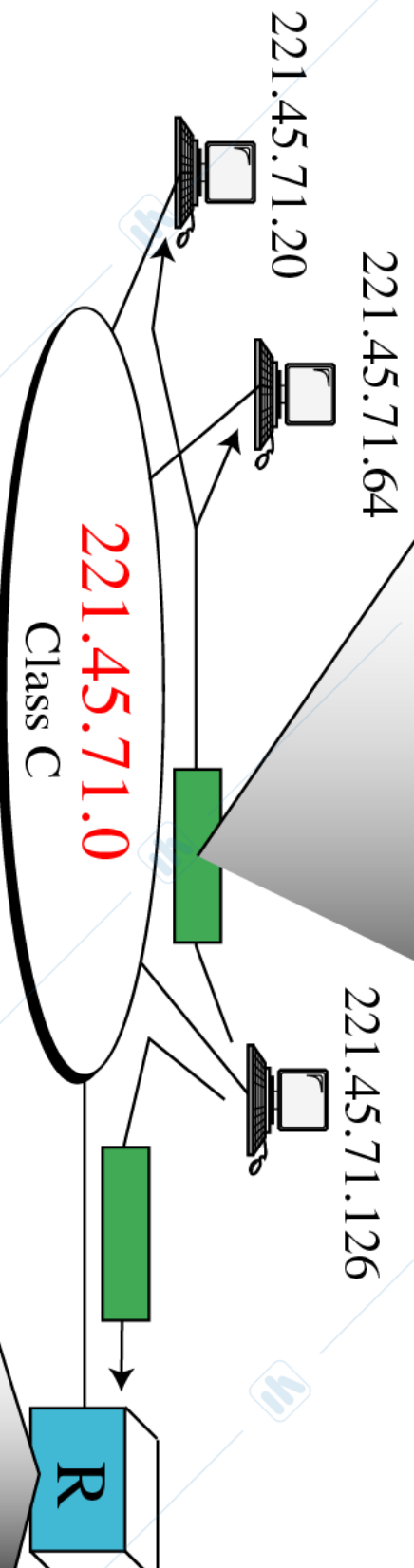
Indirizzi Speciali

■ Broadcast limitato

Netid and hostid



Destination IP address:
255.255.255.255



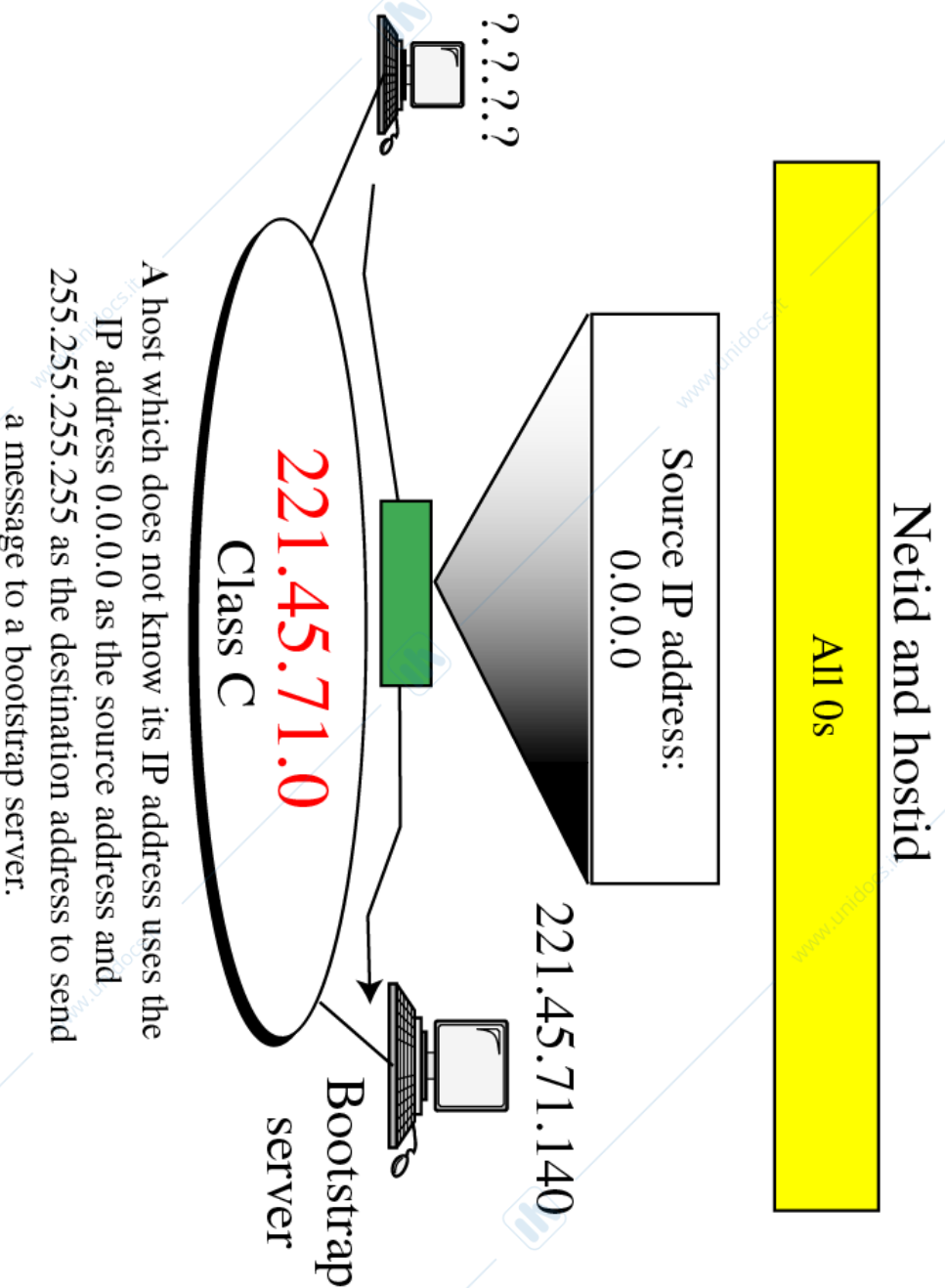
A limited broadcast address is used by a host to send a packet to every host on the same network. However, the packet is blocked by routers to confine the packet to the local network.



Indirizzamento Classfull

Indirizzi Speciali

- **Host corrente sulla rete corrente**
 - Usato quando non si conosce l'indirizzo sorgente



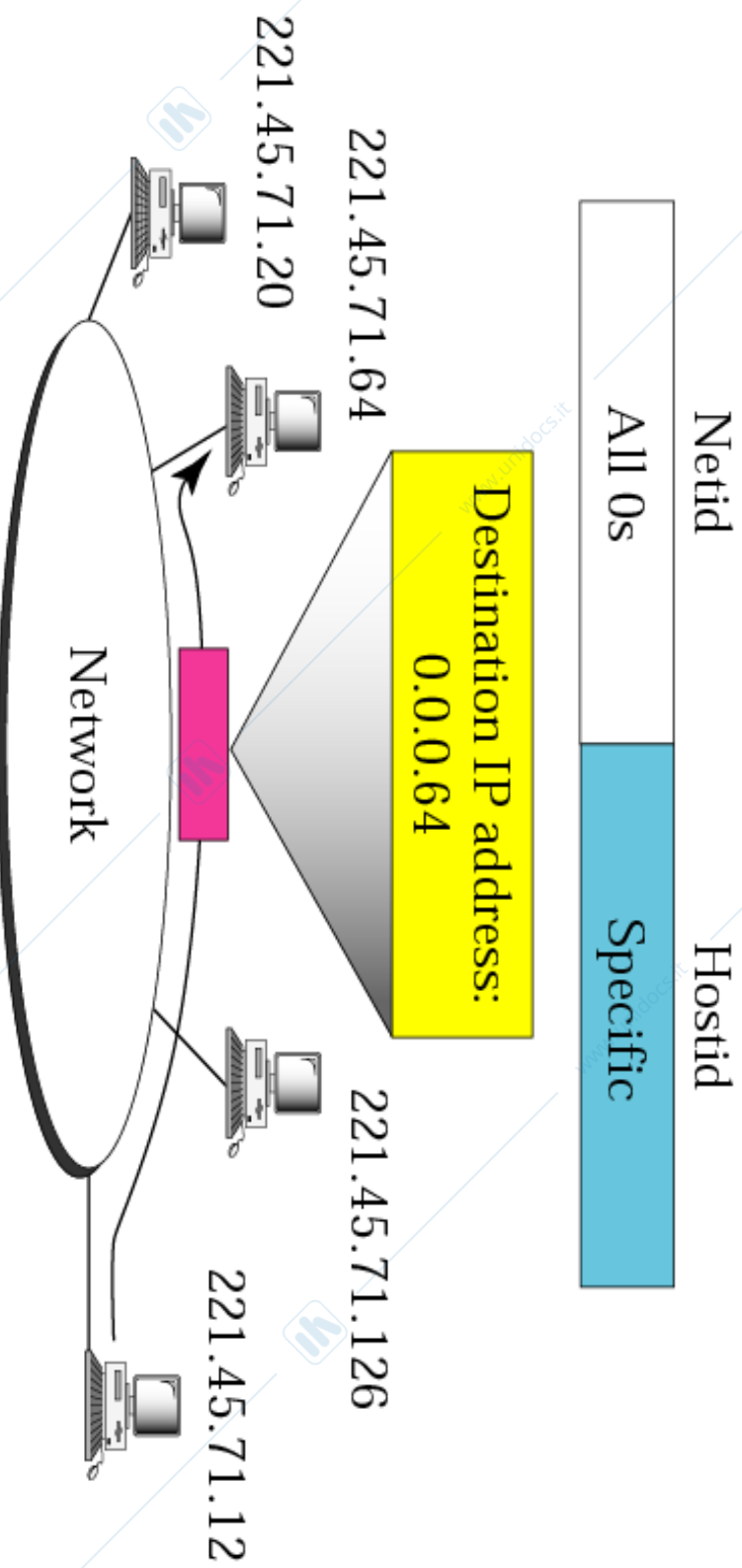
A host which does not know its IP address uses the IP address 0.0.0.0 as the source address and 255.255.255.255 as the destination address to send a message to a bootstrap server.



Indirizzamento Classfull

Indirizzi Speciali

■ Specifico host nella rete corrente



This address is used by a router or host to send a message to a specific host on the same network.



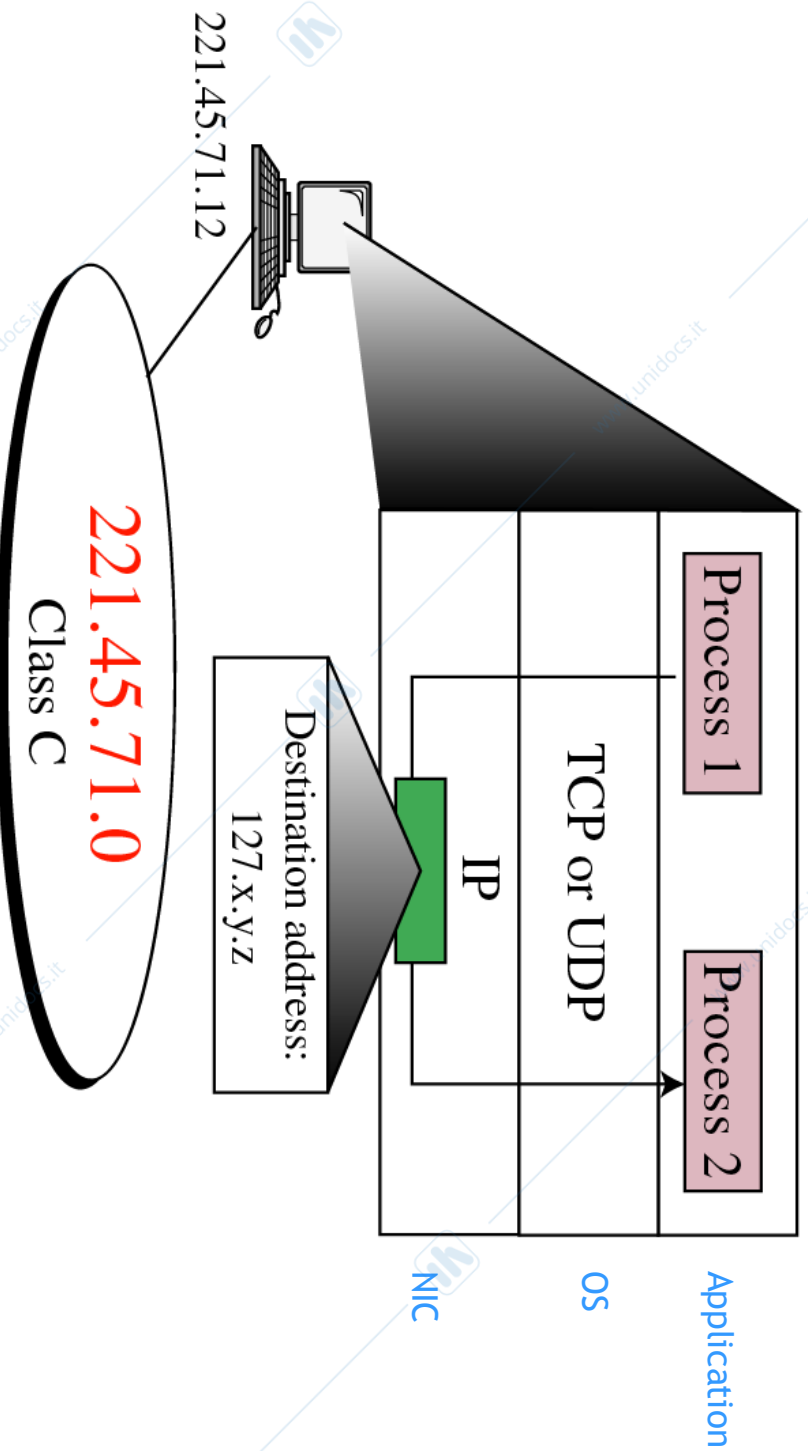
Indirizzamento Classfull

Indirizzi Speciali

■ Indirizzo di *loopback*

Netid and hostid

127.X.Y.Z



A packet with a loopback address will not reach the network.



Indirizzamento Classfull

Indirizzi Privati

- Sono indirizzi utilizzabili da chiunque, ma nella rete pubblica (Internet) non possono circolare pacchetti con questi indirizzi
- Tre blocchi
 - I: 10.0.0.0 - 10.255.255.255
 - 1 intero blocco di classe A

2^{24} indirizzi
 - II: 172.16.0.0 - 172.31.255.255
 - 16 blocchi adiacenti di classe B

$2^4 \cdot 2^{16} = 2^{20}$ indirizzi
 - III: 192.168.0.0 - 192.168.255.255
 - 256 blocchi adiacenti di classe C

$2^8 \cdot 2^8 = 2^{16}$ indirizzi
- Un router non instraderà mai alcun pacchetto con indirizzo (sorgente e/o destinazione) privato su un'interfaccia avente indirizzo pubblico



Outline

- **Indirizzo IP**
- **Indirizzamento Classfull**
- **Meccanismo di inoltro pacchetti**
- **Subnetting**
- **Supernetting**
- **Indirizzamento Classless**
- **NAT**

Una “rete IP”

IP-B: 193.17.31.55

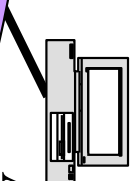
MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



B

Classe C

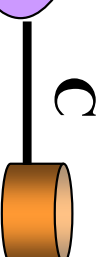
IP NET
193.17.31.0



A

IP-A: 193.17.31.45

MAC-A: 00:9f:7a:89:90:7a



C

IP-C: 193.17.31.254

MAC-C: 99:8b:6f:ac:58:7f

- Una rete o sottorete IP (IP NET), identificata dal suo net ID, è formata da un gruppo di host interconnessi *direttamente*
 - Nella maggior parte dei casi, una IP NET coincide con una rete di layer-2 (per esempio una LAN Ethernet LAN)
 - Le interfacce Ethernet degli host nella LAN sono identificate da un MAC address
- Esiste almeno un router con una interfaccia sulla IP NET per interconnettere gli host della rete ad altre IP NET



Inoltro dei pacchetti: generalità

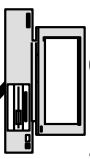
- IP è una tecnica di internetworking, quindi nell'inoltro dei pacchetti tra un *router/host* e un altro si serve della capacità di inoltro della reti (locali) che collega
- **Inoltro diretto:**
 - quando la destinazione è nella stessa rete (locale)
- **Inoltro indiretto:**
 - quando la destinazione non è nella stessa rete (locale)
- **Nel seguito vedremo come avviene l'inoltro di pacchetti:**
 - in un host
 - e in un router

Inoltre *diretto* negli *host* (1)

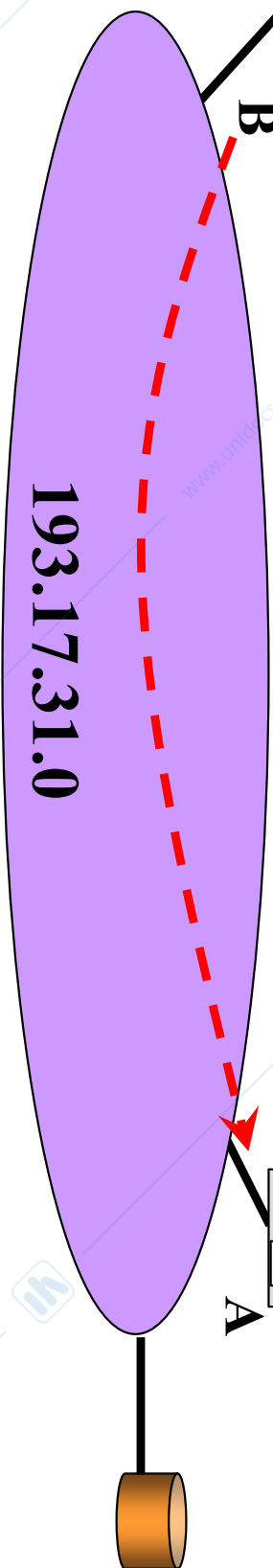
- Rete locale coincidente con rete / sottorete IP

IP-B: 193.17.31.55

MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



B



193.17.31.0

IP-A: 193.17.31.45

MAC-A: 00:9f:7a:89:90:7a

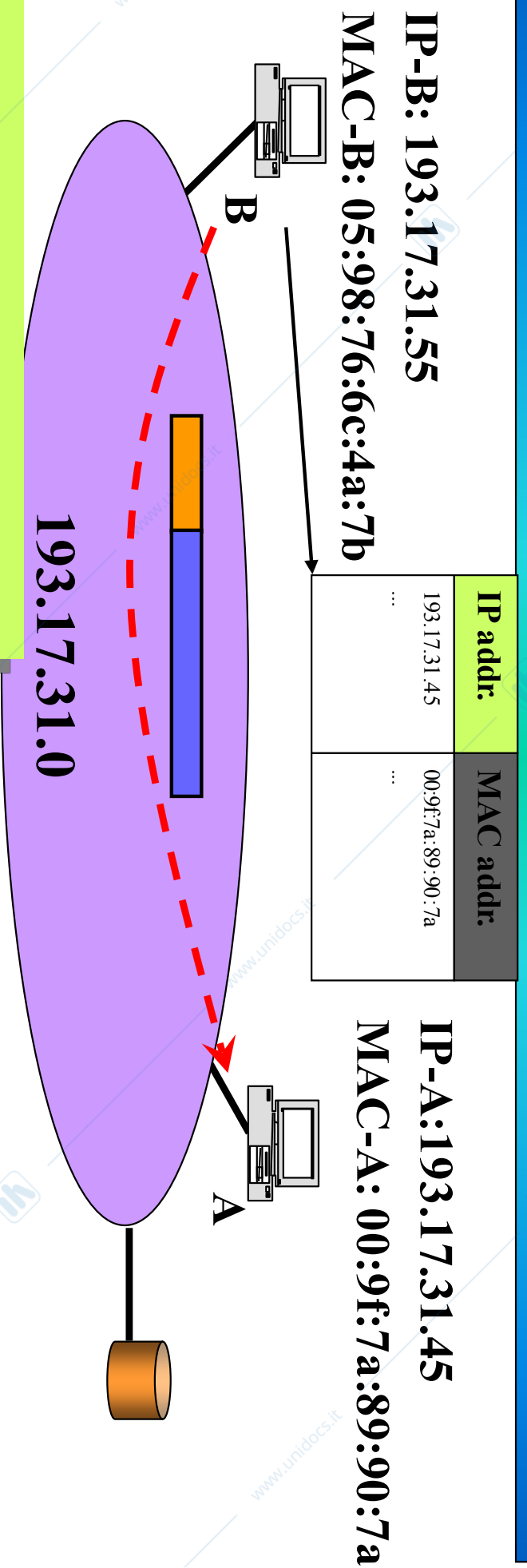


A

1. L'entità IP di B deve spedire un pacchetto all'indirizzo IP-A

2. B conosce l'indirizzo IP-B della propria interfaccia e dal confronto con IP-A capisce che A si trova nella stessa rete

Inoltre *diretto* negli *host* (2)



3. B consulta una tabella di corrispondenza tra indirizzi IP e indirizzi della rete (indirizzi MAC nel caso di rete locale) per reperire l'indirizzo MAC-A

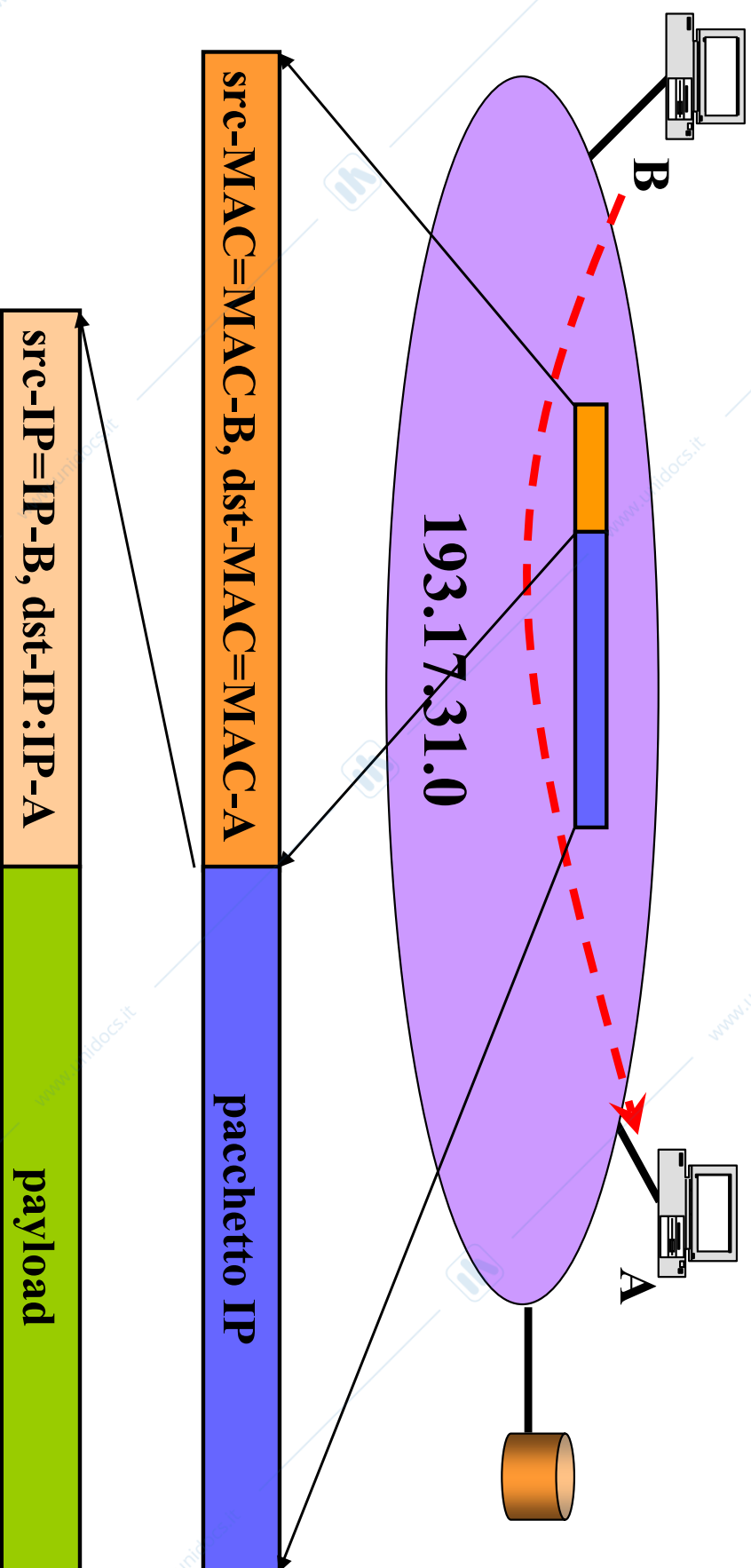
4. L'entità IP di B passa il pacchetto al livello inferiore che crea un pacchetto con destinazione MAC-A



Inoltre *diretto* negli *host* (3)

IP-B: 193.17.31.55
MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b

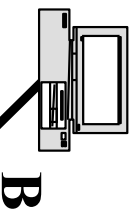
IP-A: 193.17.31.45
MAC-A: 00:9f:7a:89:90:7a



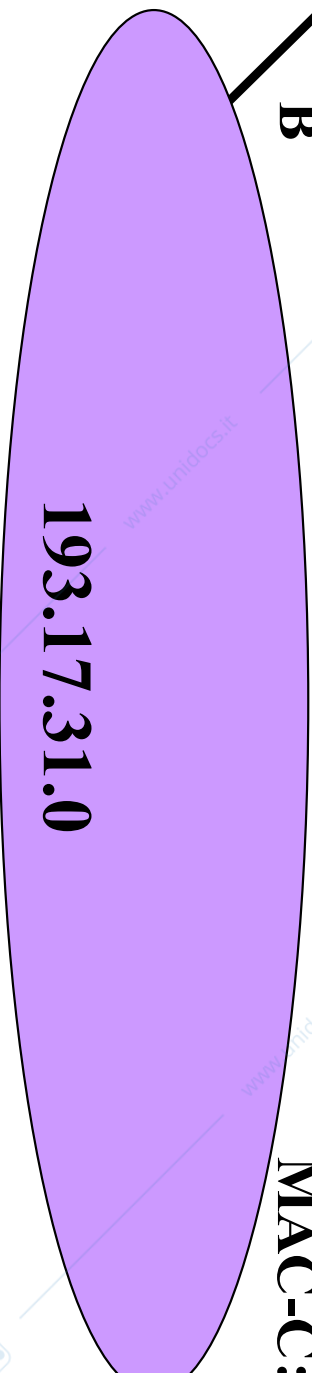
Inoltro *indiretto* negli *host* (1)

IP-B: 193.17.31.55

MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



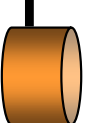
B



193.17.31.0

IP-C: 193.17.31.254

MAC-C: 99:8b:6f:ac:58:7f



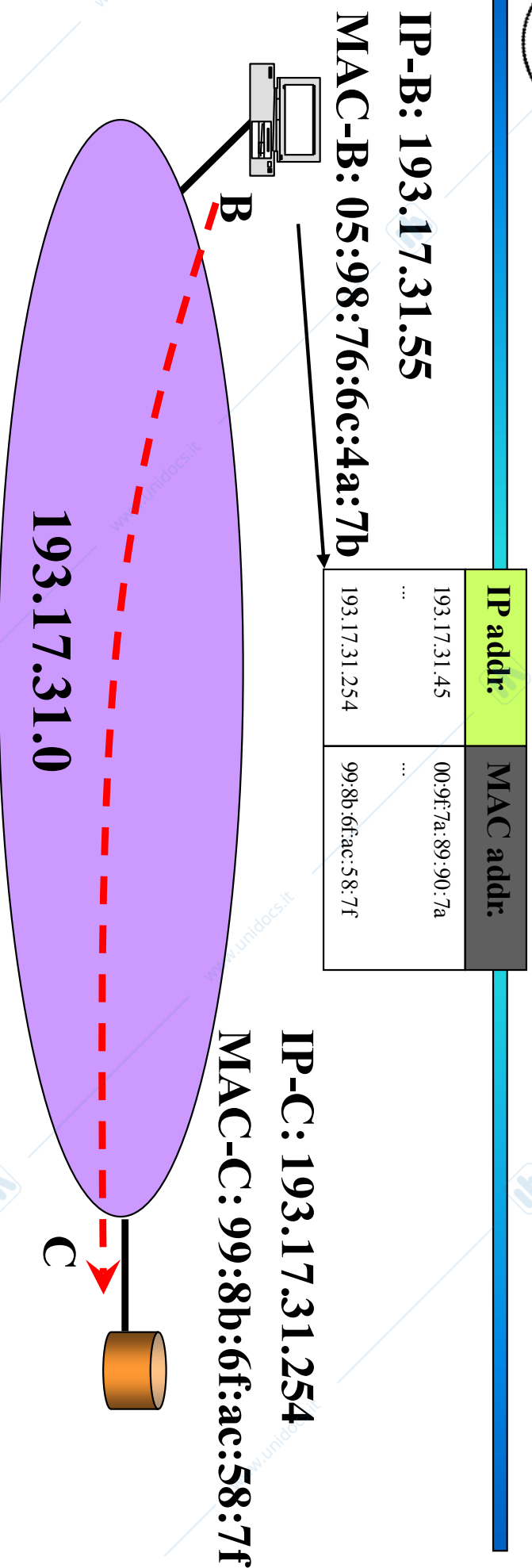
C

1. L'entità IP di B deve spedire un pacchetto all'indirizzo *IP-D=131.17.23.4*

2. B conosce l'indirizzo IP-*B* della propria interfaccia e dal confronto con IP-*D* capisce che *D* **NON** si trova nella stessa rete



Inoltro *indiretto* negli *host* (2)



3. B deve dunque inoltrare il pacchetto ad un router (di solito è configurato un solo default router)

4. B recupera l'indirizzo MAC del router nella tabella di corrispondenza e passa il pacchetto al livello inferiore

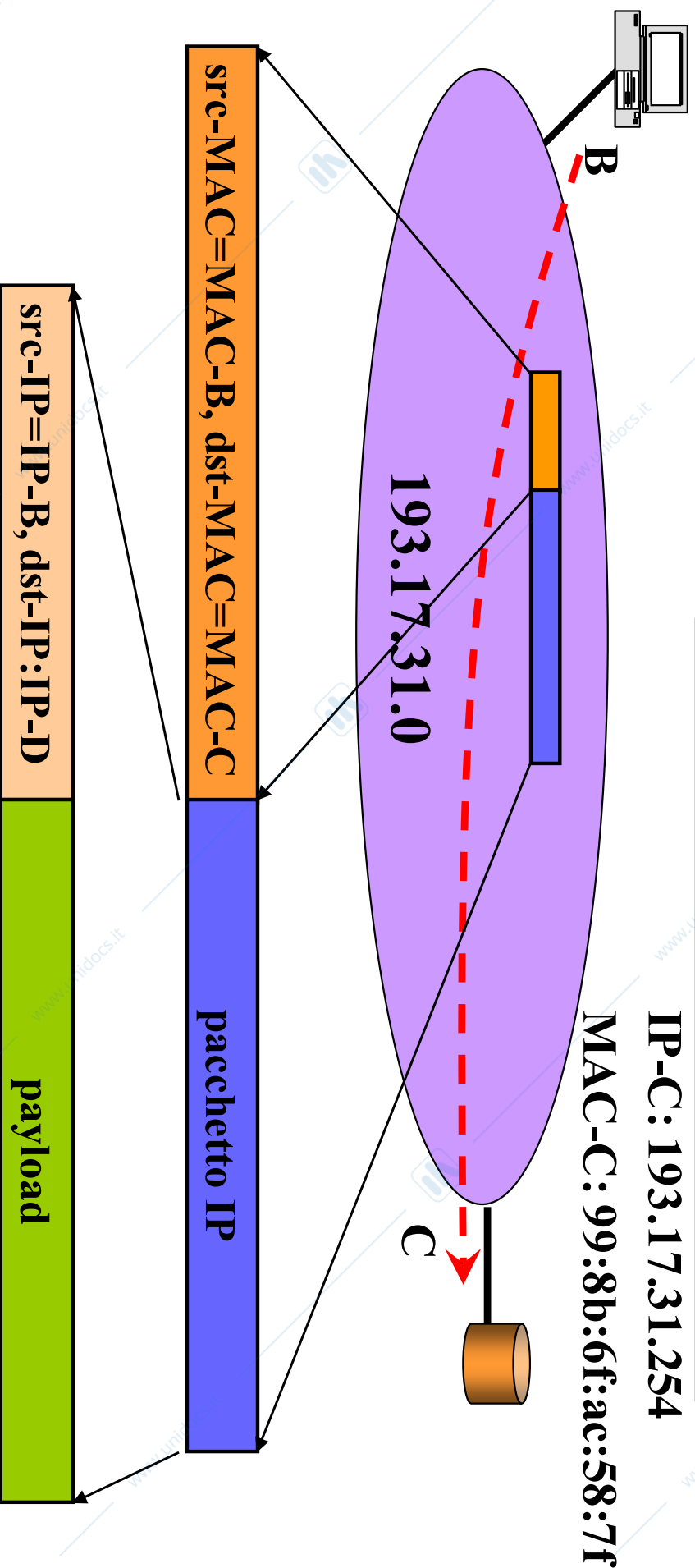


Inoltro *indiretto* negli *host* (3)

5. il pacchetto viene costruito e spedito sull'interfaccia

IP-B: 193.17.31.55
MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b

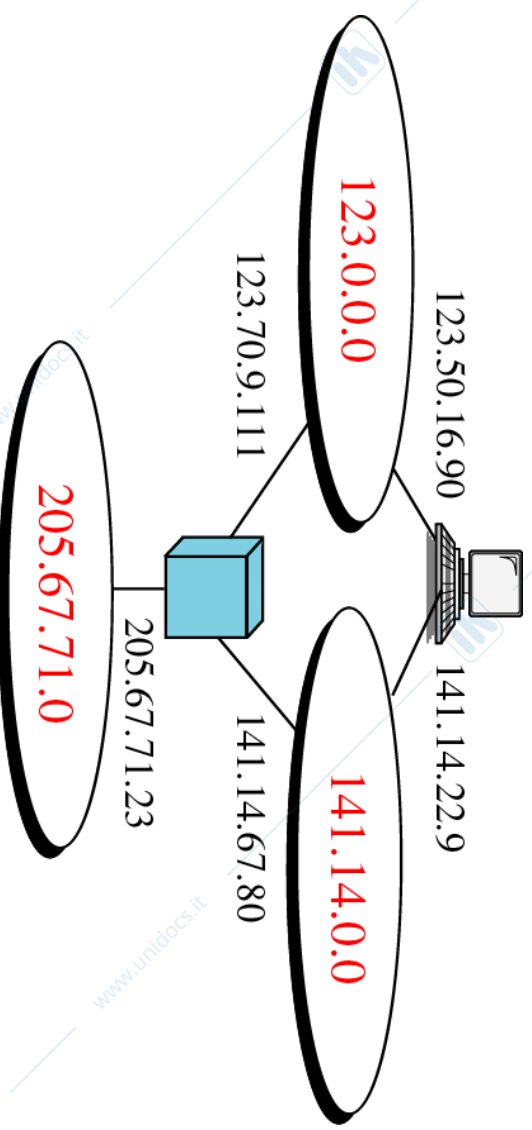
IP-C: 193.17.31.254
MAC-C: 99:8b:6f:ac:58:7f



Particolarità: *Dual homing*

- **Host con “dual homing”**
 - Anche un host può avere più interfacce di rete
 - Ogni interfaccia di un host (così come per i router) deve appartenere a IP **NET diverse**
 - Non è possibile assegnare due interfacce dello stesso apparato alla stessa rete IP

- In questi casi l'host deve effettuare il controllo sull'indirizzo IP del destinatario su tutte le reti (interfacce IP) a cui è connesso
- Se il destinatario non è in nessuna di queste reti, l'host procede con l'inoltro indiretto verso una interfaccia di default



Configurazione degli host

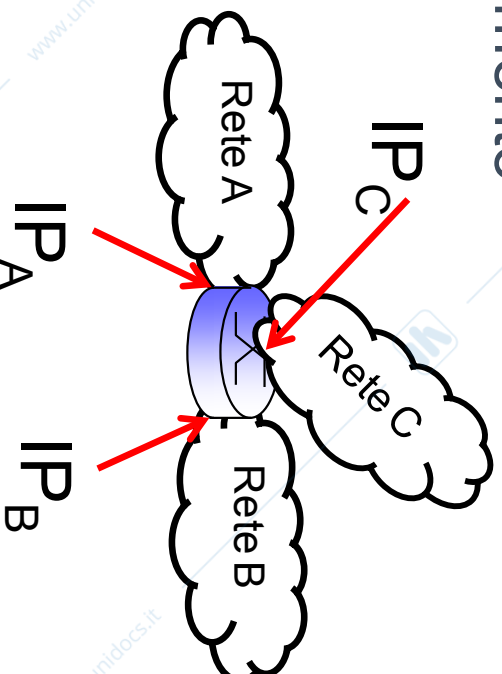
router di default

The image shows three overlapping Windows dialog boxes for network configuration:

- Top Dialog (Rete):** Shows installed network components: Protocollo compatibile IPX/SPX -> Dispositivo compatibile IPX/SPX -> PCMCIA TCP/IP -> Dispositivo di Accesso remoto TCP/IP -> PCMCIA Fast Ethernet Card and Condivisione file e stampanti per reti Microsof.
- Middle Dialog (Proprietà - TCP/IP):** Shows the 'Specifica l'indirizzo IP' option selected. The IP address is 131.175.21.175 and the Subnet Mask is 255.255.255.0.
- Bottom Dialog (Proprietà - TCP/IP):** Shows the 'Gateway' tab with a list of installed gateways. The gateway '131.175.21.254' is circled in red, and a red dashed arrow points from it to the text 'router di default'.

Inoltro nei router

- **Router:** dispositivi di internetworking con interfacce di uscita multiple
- Anche i **router seguono le tecniche di inoltro diretto e indiretto, ma:**
 - **Inoltro diretto:** i router però hanno di solito più di una interfaccia dove poter effettuare l'inoltro diretto
 - **Inoltro indiretto:** si basa su *tabelle di routing* dove è definita la “rotta” di instradamento





Caratteristiche dell'inoltro nei router (1)

- L'inoltro nei router ha due «caratteristiche»:

1. DESTINATION BASED

- L'inoltro IP è basato sul solo indirizzo di destinazione

2. NEXT HOP ROUTING

- nelle tabelle di routing per ogni rete di destinazione è indicato solo il prossimo router (next-hop) nel percorso verso la destinazione

- **Nota: nelle tabelle di routing, le entry rappresentano le reti di destinazione, non gli host di destinazione!**

- Si vedano le due slide seguenti

Caratteristiche dell'inoltro nei router (2)

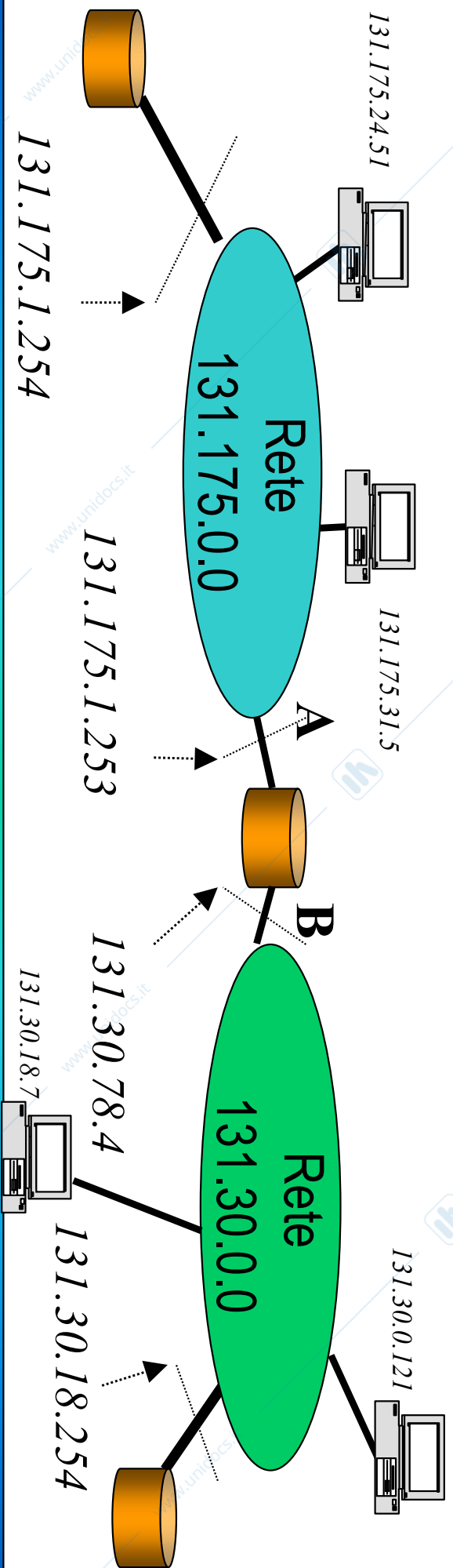
Address aggregation

- L'inoltro avviene fra router e router posti tra reti IP
- I router devono individuare la rete di destinazione

- I router inoltrano pacchetti solo sulla base della porzione net-ID dell'indirizzo IP

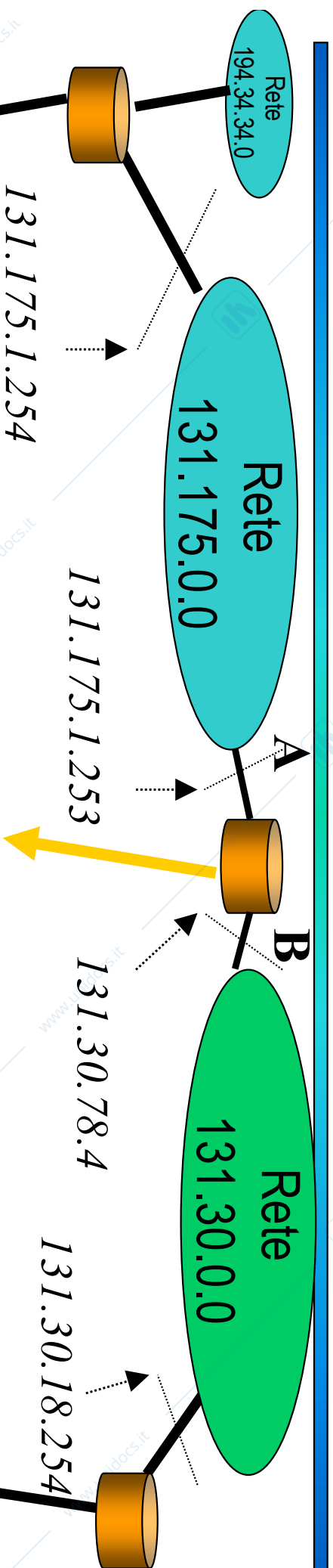
↓ address aggregation

- Tutti gli host connessi alla rete sono espressi nella tabella di inoltro del router come un'unica "entry" (che esprime l'intero net-ID)

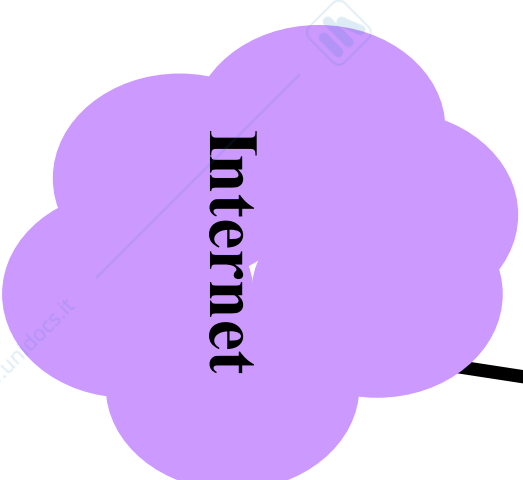




La tabella di routing (1)



destination network	next-hop (o first hop)	Output interface
194.34.23.0	131.175.1.254	131.175.1.253
194.34.34.0	131.175.1.254	131.175.1.253
140.56.0.0	131.30.18.254	131.30.78.4
141.56.0.0	131.30.18.254	131.30.78.4
131.175.0.0	interface A	interface A
131.30.0.0	interface B	interface B
...
default	131.30.18.254	131.30.78.4





La tabella di routing (2)

Esempio con anticipazione sul "subnetting"

Destination address prefix	Next-hop	Output interface
24.40.32/20	192.41.177.148	2
130.86/16	192.41.177.181	6
208.12.16/20	192.41.177.241	4
208.12.21/24	192.41.177.196	1
167.24.103/24	192.41.177.3	4

The length of the prefix

All addresses in the range: 167.24.103.0 – 167.24.103.255



Inoltro diretto nei router

Uso della netmask

- Per inoltrare un pacchetto, anche nei router occorre prima capire se il destinatario appartiene alla (sotto)rete di una delle interfacce
 - ... cioè se si può fare inoltro diretto
- per effettuare la verifica si fa **AND** bit a bit tra:
 - 1) indirizzo dell'interfaccia e *netmask* → risultato 1
 - 2) indirizzo di destinazione e *netmask* → risultato 2
- se i due risultati coincidono allora la sottorete è la stessa e si procede all'inoltro diretto

Notare che non è default mask (Classe B)

destinazione: (131.175.21.77) AND (255.255.255.0) = 131.175.21.0

Nota: gli indirizzi a bordo dei PACCHETTI non hanno MAI NETMASK. La netmask è sempre associata SOLO alle entry delle tabelle di routing e alle interfacce NEI ROUTER / HOST

confronto
positivo

interfaccia: (131.175.21.96) AND (255.255.255.0) = 131.175.21.0



Inoltro *indiretto* nei router

Longest prefix matching

- Se i confronti con tutte le interfacce sono negativi occorre procedere ad un inoltro indiretto
- Se siamo in un *router* occorre analizzare la **tabella di routing**
 - Il confronto riga per riga si effettua allo stesso modo usando la netmask relativa a ciascuna riga
- Se il confronto dà esito positivo per più righe della tabella viene selezionata la tabella con la *netmask* che ha il maggior numero di 1 (si dice comunemente che vale il principio del prefisso più lungo: **longest prefix matching**)

destination network	next-hop
194.34.23.0	131.175.1.254
194.34.34.0	131.175.1.254
140.56.0.0	131.30.18.254
141.56.0.0	131.30.18.254
131.175.0.0	interface A
131.30.0.0	interface B
...	...
default	131.30.18.254



Tabelle di routing con le netmask

Default router

network	netmask	first hop
131.175.21.0	255.255.255.0	131.17.123.254
131.175.16.0	255.255.255.0	131.17.78.254
131.56.0.0	255.255.0.0	131.17.15.254
131.155.0.0	255.255.0.0	131.17.15.254
0.0.0.0	0.0.0.0	131.17.123.254

interface eth0

IP address	131.17.123.1
netmask	255.255.255.0

interface eth1

IP address	131.17.78.1
netmask	255.255.255.0

interface eth2

IP address	131.17.15.12
netmask	255.255.255.0

default router:

il confronto dà sempre esito
positivo ma la netmask è
lunga 0 bit

Quasi tutti i router hanno un router (gateway) di default nelle loro routing table, ad eccezione dei router di core. Ciò perché nel core si vogliono prevenire loop. Pertanto può verificarsi perdita di pacchetti dovuti al cosiddetto "destination network prefix unknown"



Tabelle di routing: esempio (1)

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

131.175.21.86

OK →

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0
interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0

X



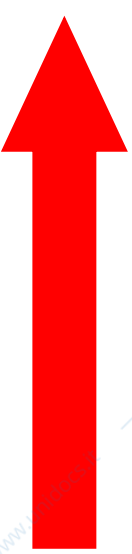
Tabelle di routing: esempio (2)

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

131.175.16.65

X

OK



X

X

X

X

X

OK

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0 X
interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0 X



Tabelle di routing: esempio (3)

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

131.180.21.78

X

X

X

X

X

OK

OK

OK

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0 X
interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0 X



Tabelle di routing: esempio (4)

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

200.45.21.84

X

X

X

X

X

X

X

OK



interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0 X
interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0 X



Formato delle routing tables (Linux)

Netmask	Destination	Next Hop (Gateway)	Flag	Metric	Use	Interface
255.0.0.0	124.0.0.0	145.6.7.23	UG	4	20	Eth1
.....
.....
.....
.....

■ **Flag:**

- U: router up and operational
- G: route uses an external gateway (indirect routing) / if G is absent → direct routing (the entry represents one of the router interfaces)
- H: route to a specific host (not to a network)
- D: route added because of ICMP redirect message
- M: route modified by a dynamic routing protocol
-

- **Metric: cost of the route to destination (used by dynamic routing protocols)**
- **Use: number of times the route was looked up**
- **Interface: (internal) name of the output interface**
-

Try cmd > route PRINT
on your Windows pc



Tabella di Routing: Format

```

N
=====
Elenco interfacce
26... 7c 7a 91 62 5c fe ..... Dispositivo Bluetooth (Personal Area Network)
10... 7e 7a 91 62 5c fa ..... Scheda virtuale rete ospitata Microsoft
9... 00 ff cf cd 9a f5 ..... TAP-Windows Adapter V9
5... 7c 7a 91 62 5c fb ..... Microsoft Wi-Fi Direct Virtual Adapter
4... 7c 7a 91 62 5c fa ..... Intel(R) Dual Band Wireless-N 7260
3... 18 67 b0 d3 ca 3a ..... Realtek PCIe GBE Family Controller
20... 00 50 56 c0 00 01 ..... VMware Virtual Ethernet Adapter for VMnet1
21... 00 50 56 c0 00 08 ..... VMware Virtual Ethernet Adapter for VMnet8
1... ..... Software Loopback Interface 1
8... 00 00 00 00 00 00 e0 Microsoft ISATAP Adapter #2
33... 00 00 00 00 00 00 e0 Microsoft ISATAP Adapter #5
23... 00 00 00 00 00 00 e0 Microsoft ISATAP Adapter #11
=====

```

IPv4 Tabella route

Route attive:

Indirizzo rete	Mask	Gateway	Interfaccia	Metriaca
0.0.0.0	0.0.0.0	10.189.200.1	10.189.202.146	25
10.189.200.0	255.255.248.0	On-link	10.189.202.146	281
10.189.202.146	255.255.255.255	On-link	10.189.202.146	281
10.189.207.255	255.255.255.255	On-link	10.189.202.146	281
127.0.0.0	255.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
127.0.0.1	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
127.255.255.255	255.255.255.255	On-link	127.0.0.1	306
192.168.65.0	255.255.255.0	On-link	192.168.65.1	276
192.168.65.1	255.255.255.255	On-link	192.168.65.1	276
192.168.65.255	255.255.255.255	On-link	192.168.65.1	276
192.168.83.0	255.255.255.0	On-link	192.168.83.1	276
192.168.83.1	255.255.255.255	On-link	192.168.83.1	276
192.168.83.255	255.255.255.255	On-link	192.168.83.1	276
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	192.168.83.1	276
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	192.168.65.1	276
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	10.189.202.146	281
224.0.0.0	240.0.0.0	On-link	127.0.0.1	306
255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	192.168.83.1	276
255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	192.168.83.1	276
255.255.255.255	255.255.255.255	On-link	192.168.65.1	276

Default route

On-link =
direct routing

Notare tutti
gli indirizzi
privati



Tabella di Routing: Format

Scheda LAN wireless Wi-Fi:

Da ipconfig /all

```
Suffisso DNS specifico per connessione: fastwebnet.it
Descrizione . . . . . : Intel(R) Dual Band Wireless-N 7260
Indirizzo T1S1CO. . . . . : /C-/A-91-62-5C-FA
DHCP abilitato. . . . . : S
Configurazione automatica abilitata . . . . . : S
Indirizzo IPv6 locale rispetto al collegamento . . . : fe80::f8cf:b8fe:65e4:49cd%4 (Preferenziale)
Indirizzo IPv4. . . . . : 10.189.202.146 (Preferenziale)
Subnet mask . . . . . : 255.255.248.0
Lease ottenuto. . . . . : domenica 14 dicembre 2014 23:06:38
Scadenza Lease . . . . . : Tuned 15 dicembre 2014 02:06:38
Gateway predefinito . . . . . : 10.189.200.1
Server DHCP . . . . . : 10.189.202.144
IAID DHCPv6 . . . . . : 75266705
DUID Client DHCPv6. . . . . : 00-01-00-01-1A-AF-58-82-18-67-B0-D3-CA-3A
Server DNS . . . . . : 62.101.93.101
                        83.103.25.250
NetBIOS su TCP/IP . . . . . : Attivato
```

Notare che non è una default mask (vedi dopo)

- Mi: route modified by a dynamic routing protocol

- Reference Count: numero connessioni lungo il percorso
- Use: numero pacchetti verso il destinatario
- Interface: nome interfaccia di uscita
-



Outline

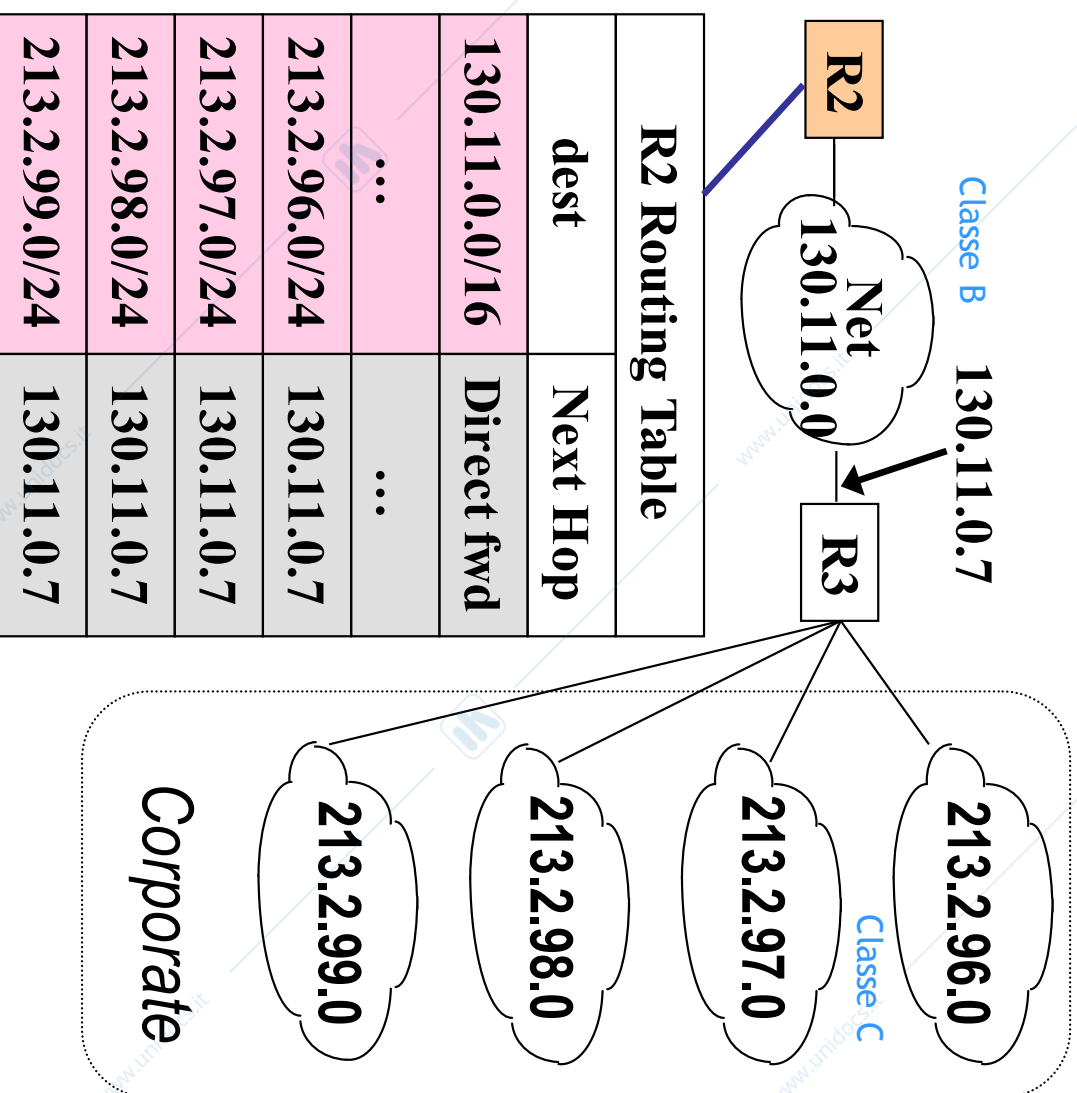
- Indirizzamento *Classfull*
- Meccanismo di inoltro pacchetti
- **Subnetting**
- Supernetting
- Indirizzamento *Classless*
- NAT



Organizzazioni di media dimensione: N di classe C oppure 1 di classe B?

IP addressing

- **Es.: voglio 1000 host!**
- **1 blocco di classe C:**
 - sottodim. (254 host)
- **1 blocco di classe B:**
 - molto più del necessario (65534 host)
- **N blocchi di classe C:**
 - imprudente: crescita esponenziale delle routing tables
- **Risultato: si preferisce usare indirizzi di classe B (anche se si ha uno spreco elevato)**



A posteriori ... sarebbe stato meglio avere indirizzi di classe C con host-ID a 10 bit ...



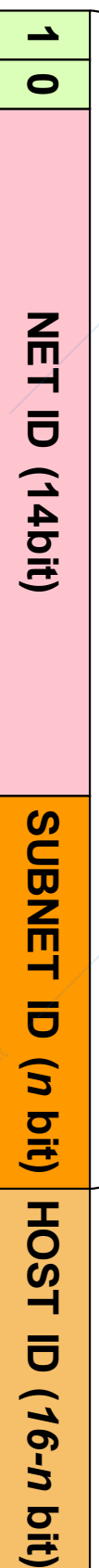
Subnetting

Esempio con indirizzi di classe B

network prefix
(network address)



Extended network prefix
(subnet address)





IP addressing

Subnet Address & Mask

→ Host IP address: 10011111.01100100.00001001.00010010
159.100.9.18

→ Class B - network mask: 11111111.11111111.00000000.00000000
255.255.0.0

→ Introduco una **Subnet Mask**

⇒ Più lunga della maschera di default; lunghezza scelta dall'amministratore

⇒ Indica dov'è **realmente** il confine rete-host

→ **Esempio: indirizzo di classe B con subnet-ID da 5 bit**

⇒ subnet mask = /21 11111111.11111111.11111000.00000000

⇒ Notazione "slash-n" (/lunghezza-prefisso)

⇒ subnet mask = 255.255.248.0 255 - 1 - 2 - 4

⇒ Notazione decimale puntata

⇒ 159.100.0.0 = net_id 10011111.01100100.00001000.00000000

⇒ 159.100.8.0 = extended network address (net_id+subnet_id)

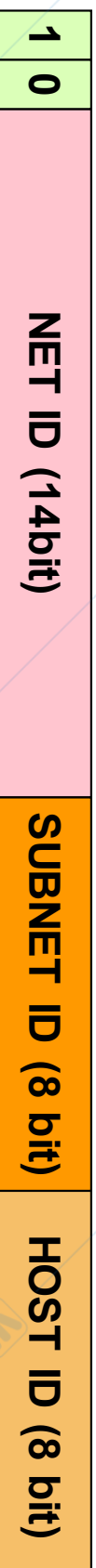
⇒ Per evitare ambiguità: 159.100.8.0/21



IP addressing

Subnetting tipico di classe B

- **Indirizzo di Classe B = /16 prefisso di rete**
 - Indirizzo di rete = 131.175.0.0
 - Maschera di default = 255.255.0.0
- **Subnetting con prefisso di rete /24**



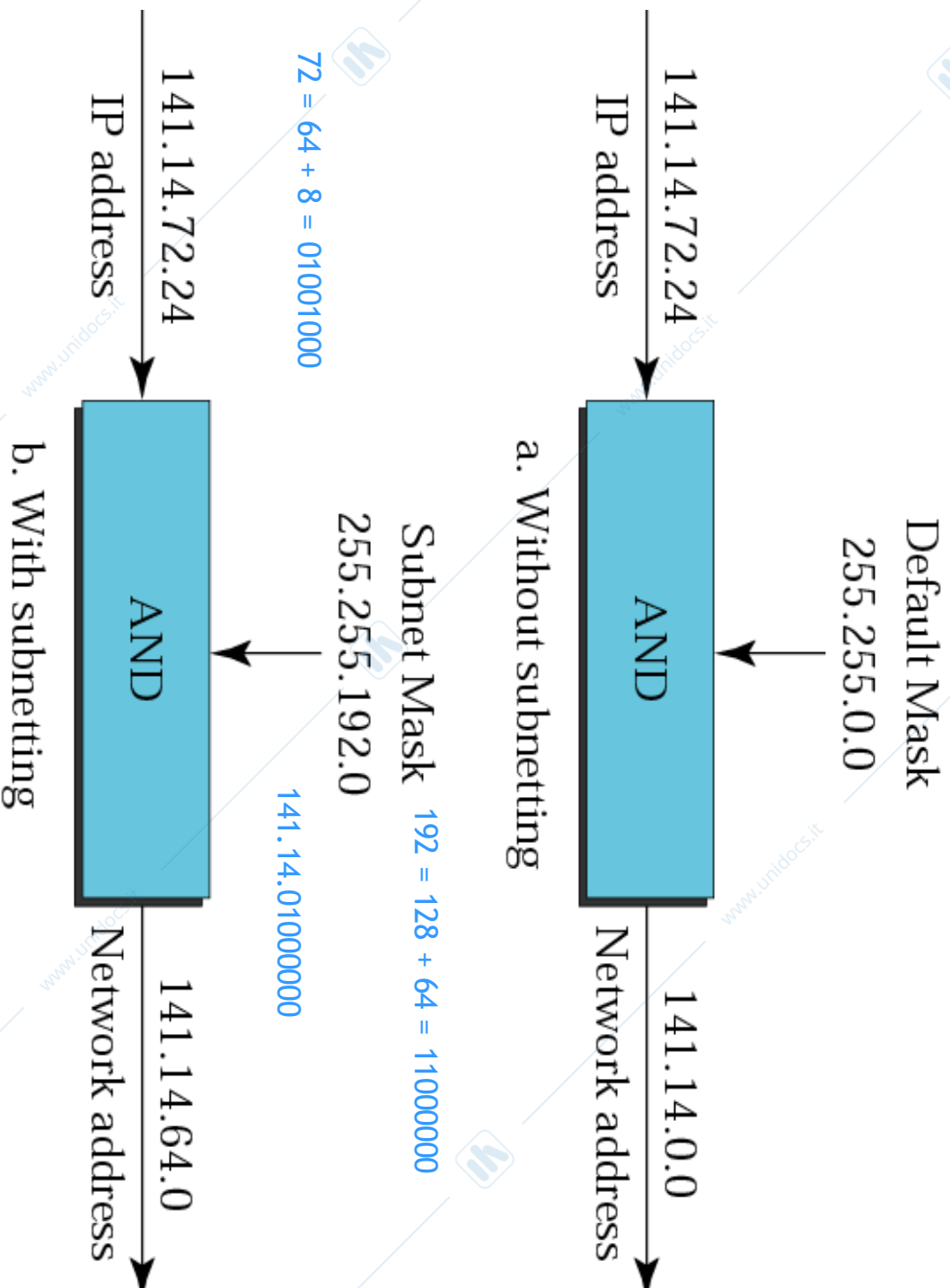
- 255.255.255.0 subnet mask
- subnet ID = terzo numero in notazione decimale puntata
 - 131.175.**21**.0

Non ci sono ragioni specifiche per usare subnet /24, ma può essere conveniente e più comprensibile (i confini del subnet id sono espliciti quando si fa riferimento alla notazione decimale)



IP addressing Subnetting

NB: Il valore della subnet mask cambia completamente l'interpretazione di un indirizzo IP



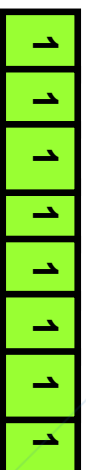


IP addressing

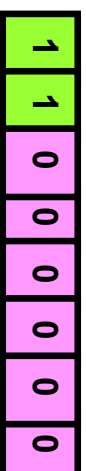
Subnetting – Esempio 1 (cont.)

- Rimangono 6 bit per il campo host, quindi ogni sottorete supporta $(2^6 - 2)$ host

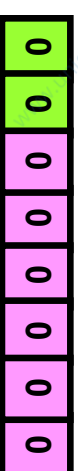
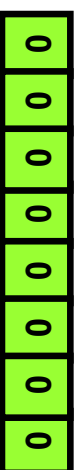
255



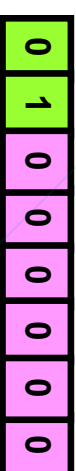
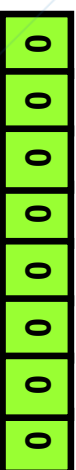
192



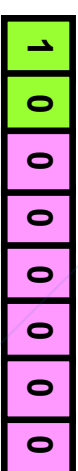
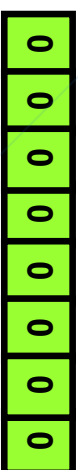
subnet mask



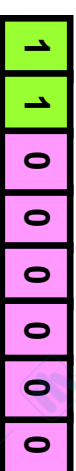
128.234.0.0/26



128.234.0.64/26

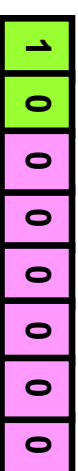
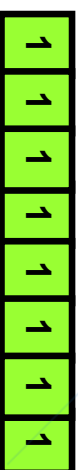


128.234.0.128/26

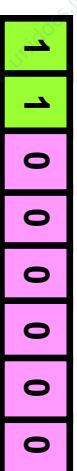
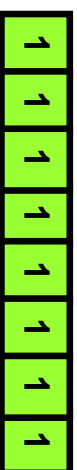


128.234.0.192/26

...



128.234.255.128/26



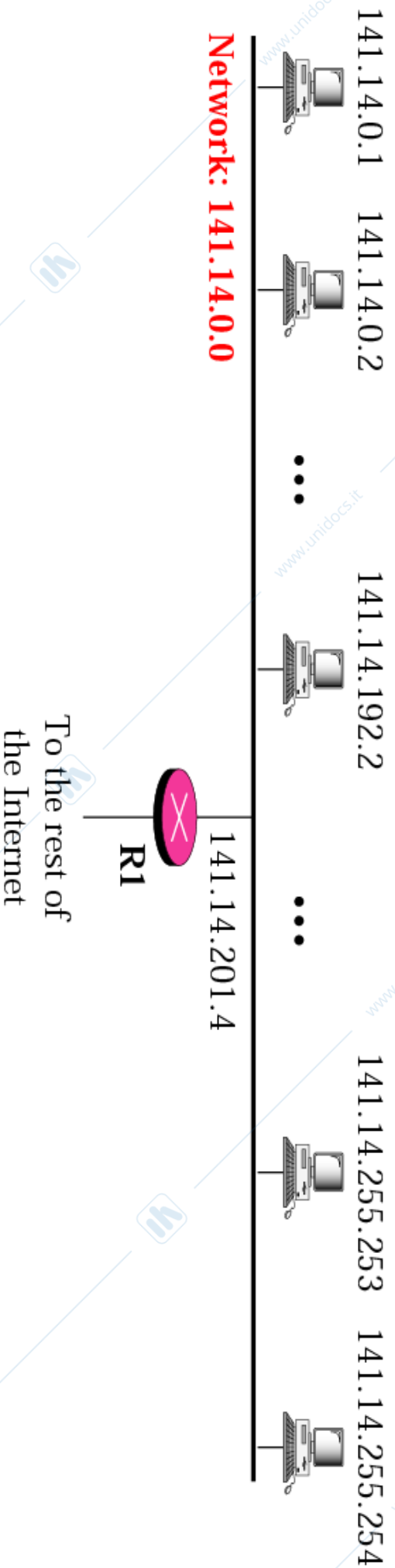
128.234.255.192/26



IP addressing

Subnetting – Esempio 2

- Rete di Classe B senza subnetting (/16)



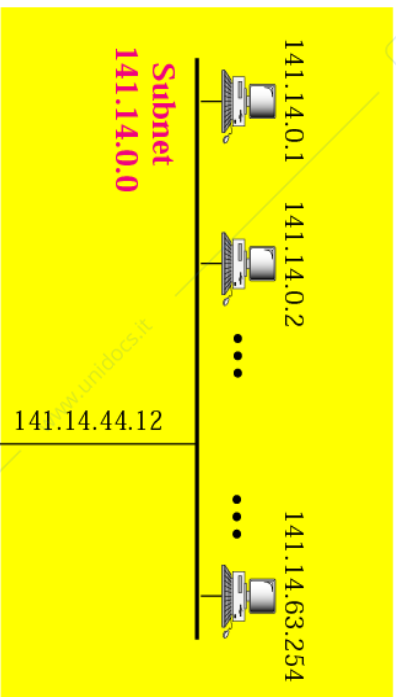
- Voglio passare a 4 sottoreti



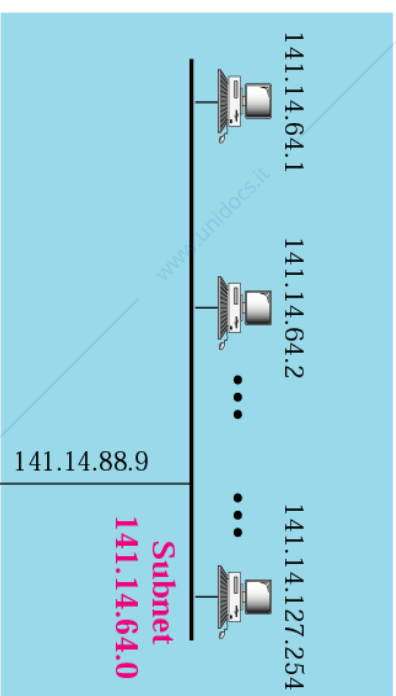
IP addressing Subnetting – Esempio 2 (cont.)

■ Rete di Classe B con subnetting (/18)

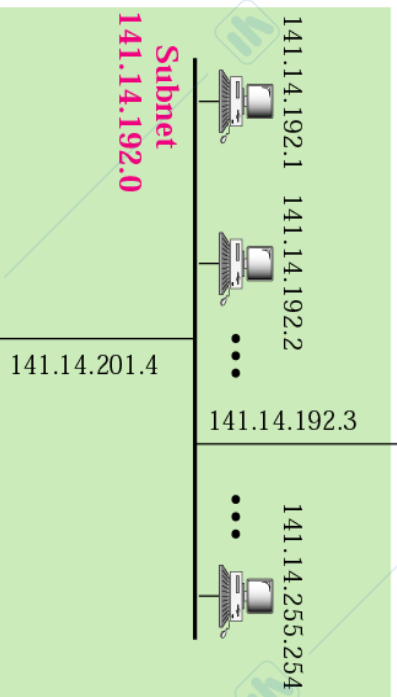
141.14.0000000.0
141.14.0.0
Subnet ID = 0



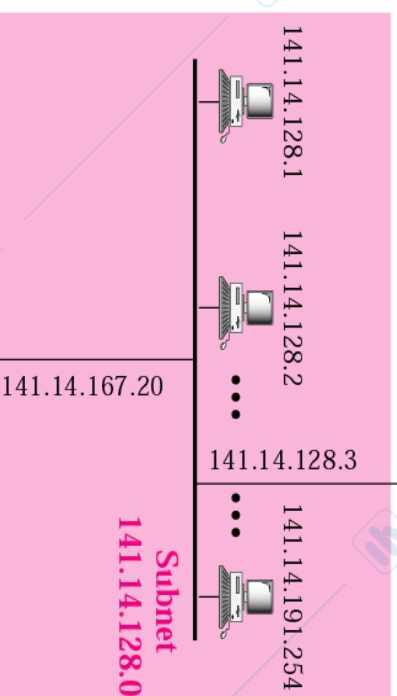
141.14.01000000.0
141.14.64.0
Subnet ID = 1



141.14.11000000.0
141.14.192.0
Subnet ID = 3

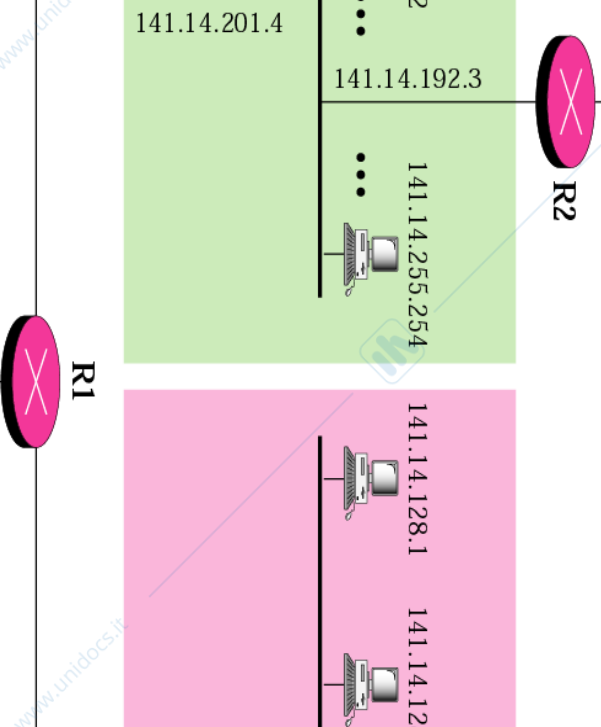


141.14.10000000.0
141.14.128.0
Subnet ID = 2



Subnet mask /18 (2 bit in più rispetto alla maschera di default di classe B):
255.255.1100000.0
= 255.255.192.0

Site: 141.14.0.0

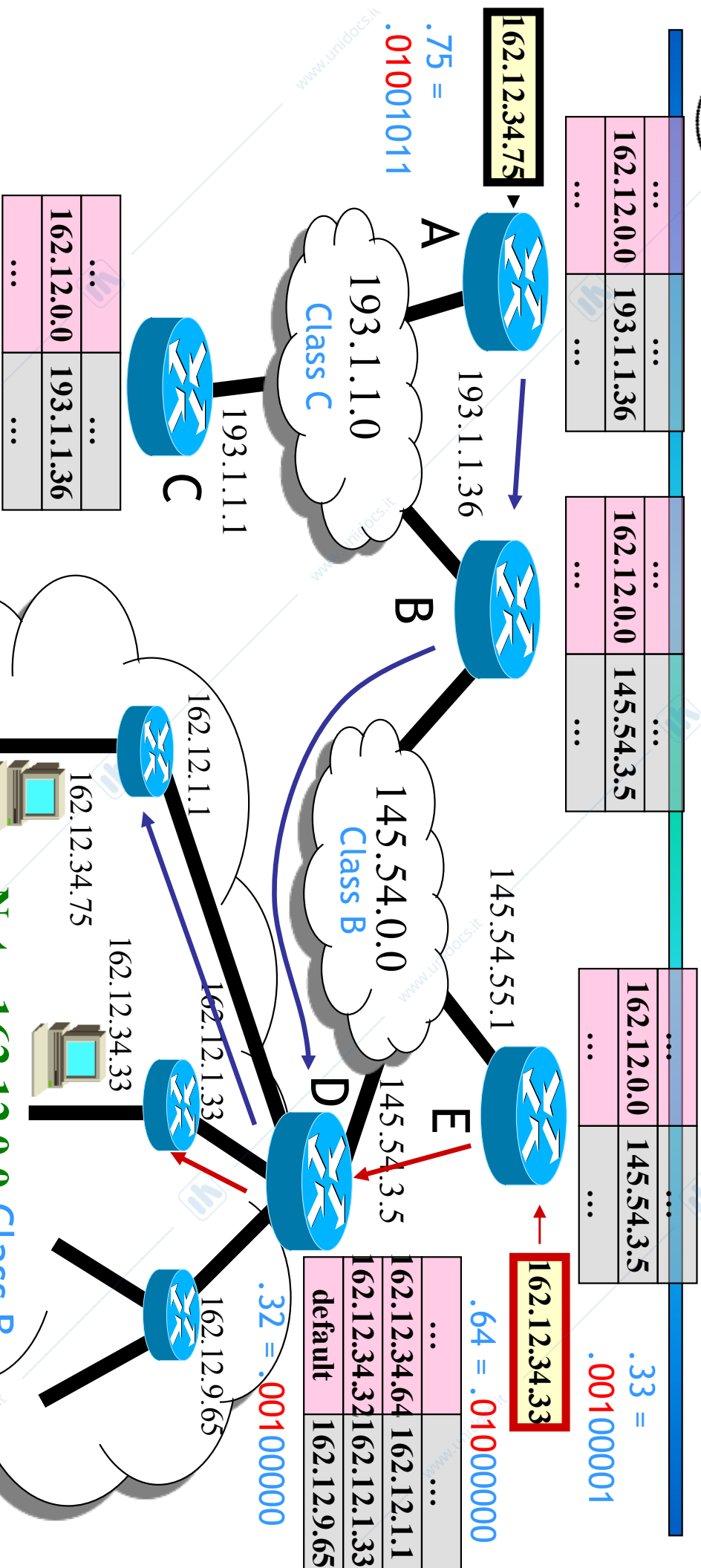


To the rest of the Internet



Routing

I core router ignorano il subnetting



→ routing tables in the Internet:

- ⇒ route according to net_id
- ⇒ Use natural class mask

→ Corporate routers & hosts:

- ⇒ Route according to subnet_id = /27
- ⇒ Need to KNOW subnet mask



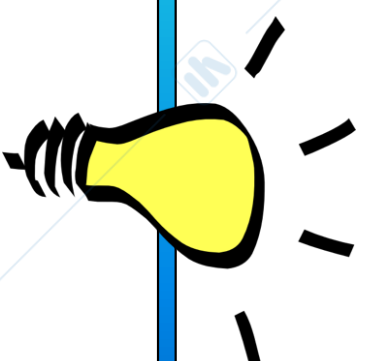
Quando il *Subnetting* non basta..

- **Esempio: un'organizzazione possiede un indirizzo in classe C ed ha la necessità di creare 3 sottoreti con 60 host e altre 2 sottoreti con 30 host (totale $180+60=240$ host)**
- **Il Subnetting classico fallisce:**
 - Subnet con 2 bit: 4 reti con 64 host ciascuna
 - Subnet con 3 bit: 8 reti con 32 host ciascuna
- **Però con un'unica rete di classe C (fino a 254 host) ce l'avrei fatta...**
- **Come fare ??**



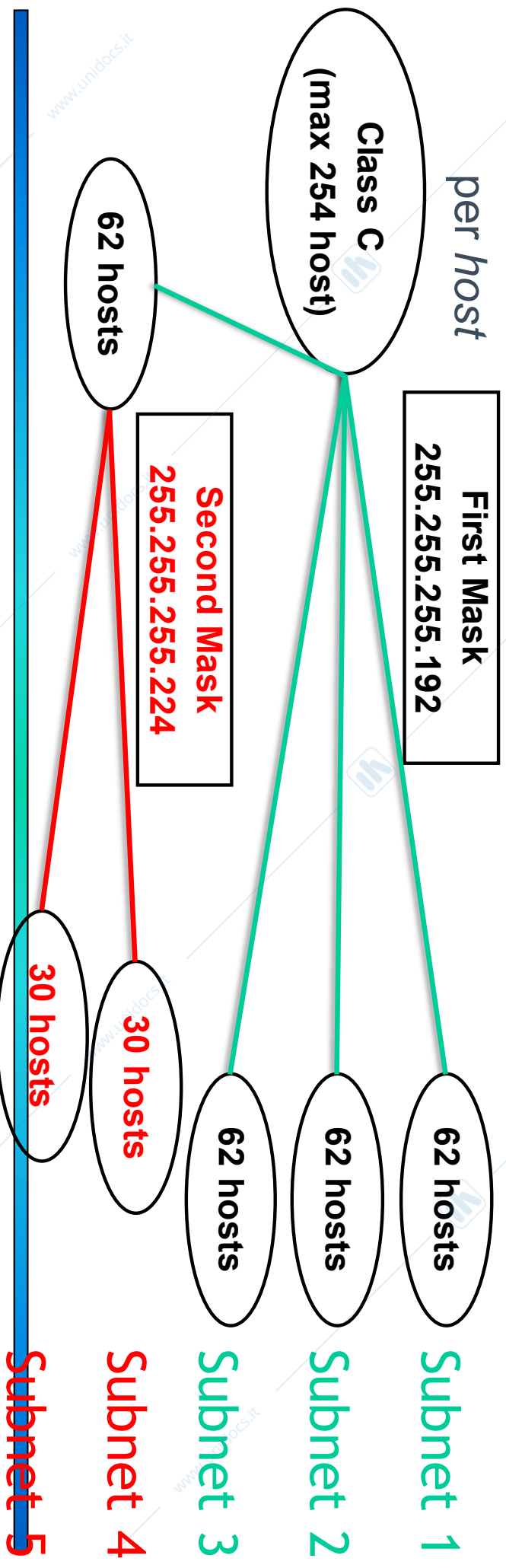


Netmask Variabile



- **Variable Length Subnet Mask (VLSM)**
- **Applicare due netmask in cascata**

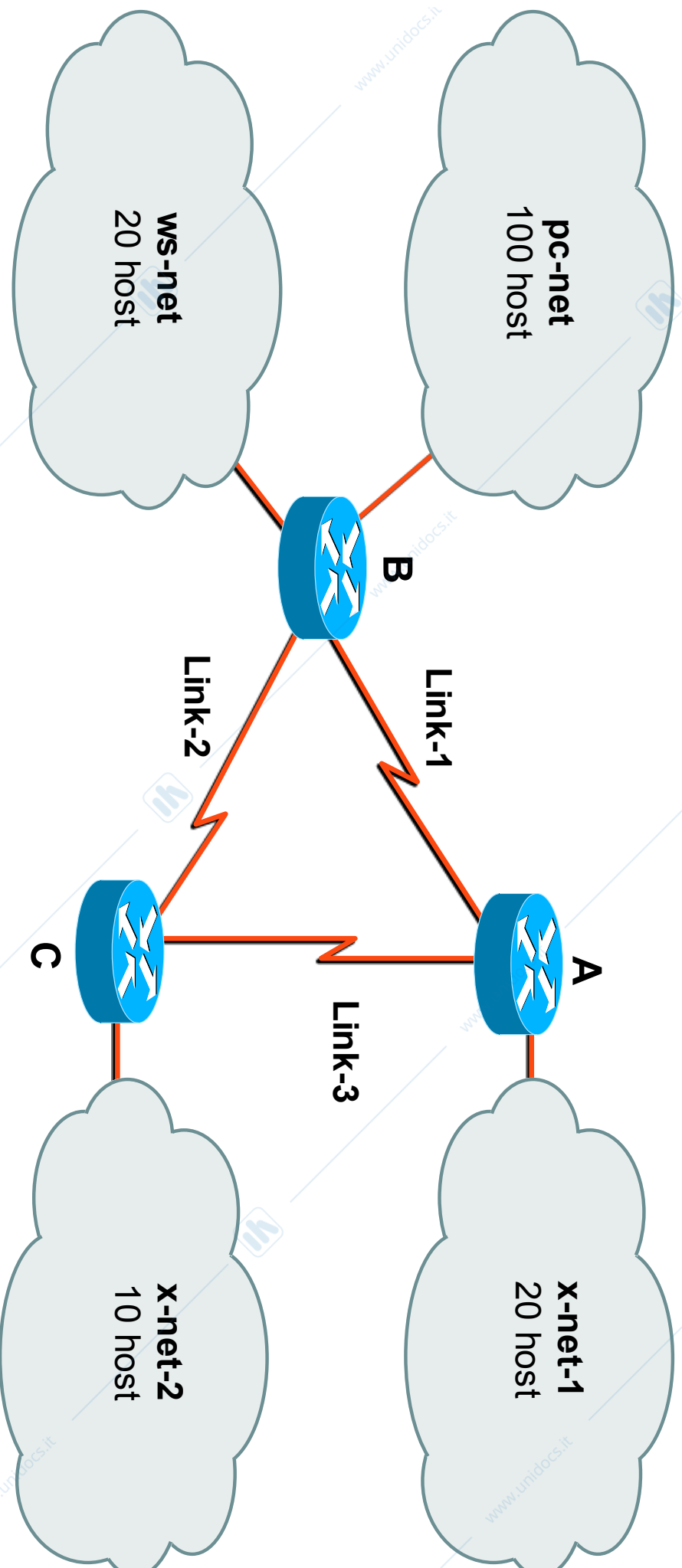
- La prima *netmask* 255.255.255.192 (/26) definisce **4 subnet** con 62 indirizzi per gli *host*.
- Ad una delle 4 subnet si applica poi la *netmask* 255.255.255.224 (/27) che divide la sottorete in **due ulteriori subnet** con 30 indirizzi per *host*





VLSM

Altro esempio (caso tipico)

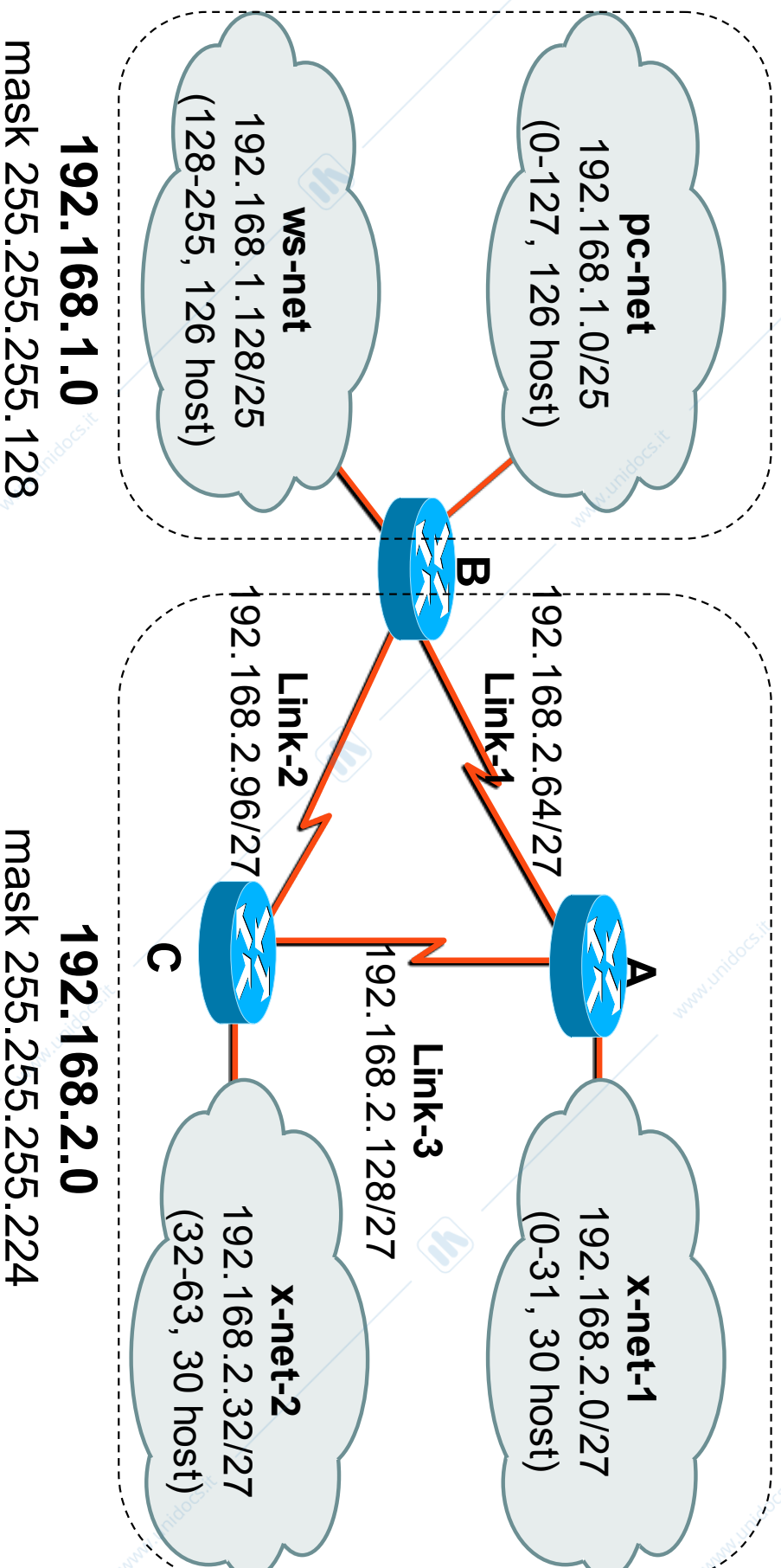


100+20+20+10 = 150 host totali: 1 ind. di classe C sarebbe sufficiente (anche in previsioni di crescita).
7 subnet (4 LAN + 3 link punto-punto): 3 bit per subnet ID (= fino a 8 subnet), MA max 30 host indirizzabili
in ciascuna subnet (rimangono 5 bit per host-ID): impossibile soddisfare pc-net!!



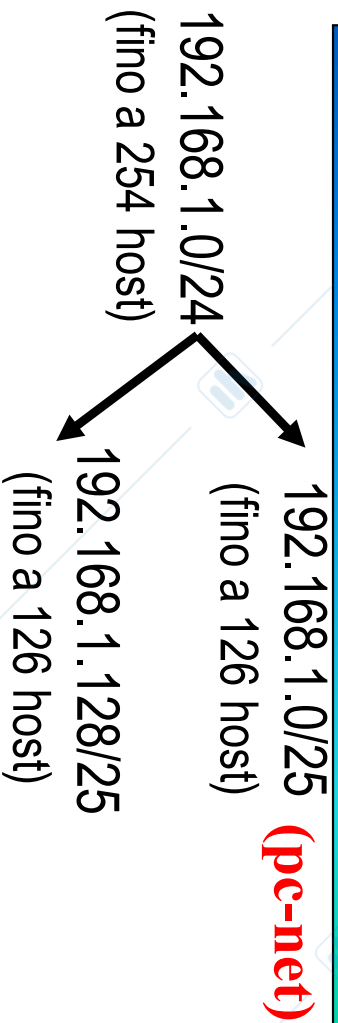
Caso tipico Senza VLSM

- **Stessa situazione: soluzione SENZA VLSM necessita di 2 indirizzi di classe C**



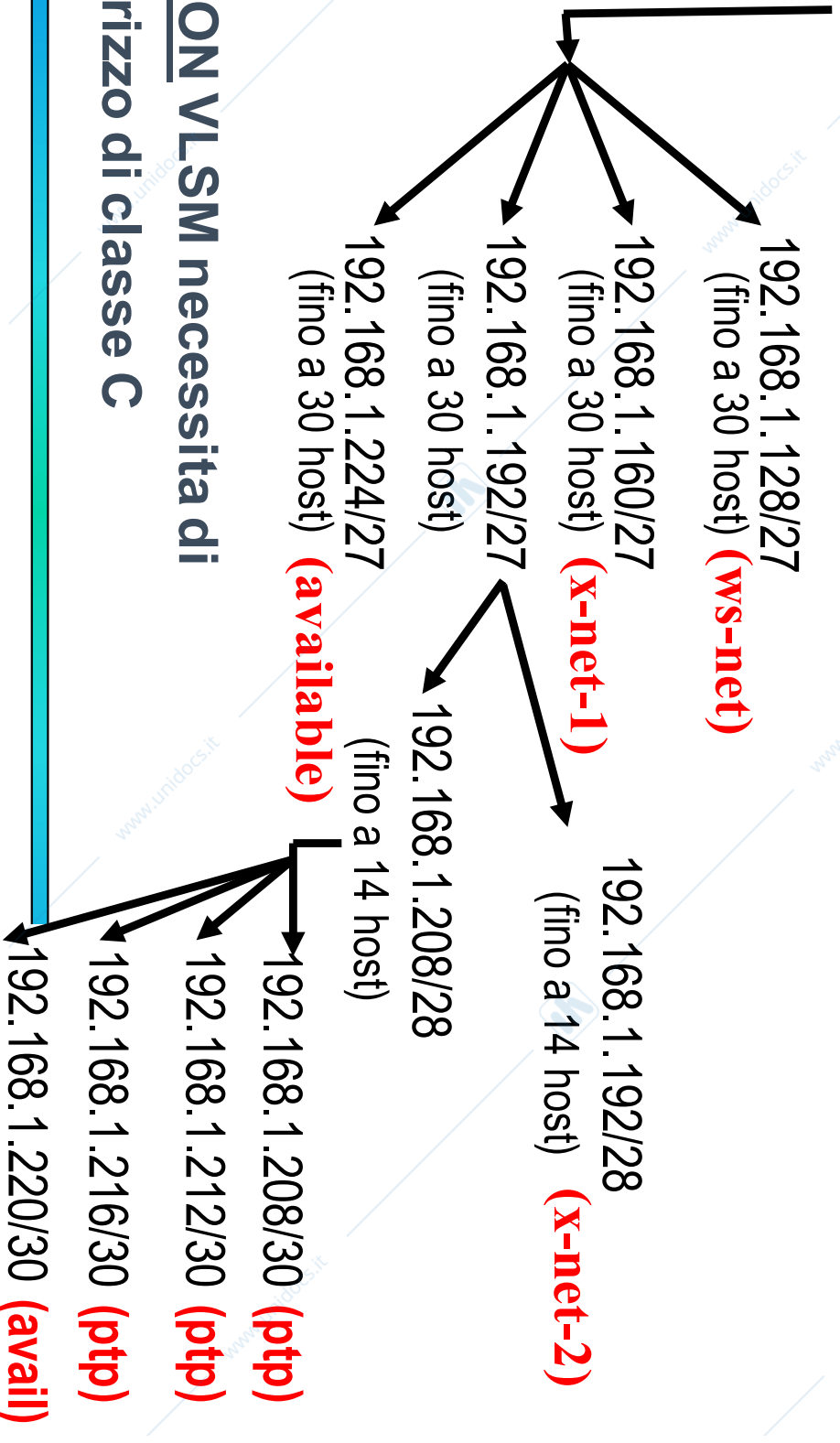


Caso tipico Con VLSM



⇒ **Aggregazione ricorsiva dello spazio degli indirizzi**

- ⇒ Dividi la rete in sottoreti
- ⇒ Dividi ulteriormente ALCUNE sottoreti in "sotto-sottoreti"
- ⇒ ... etc

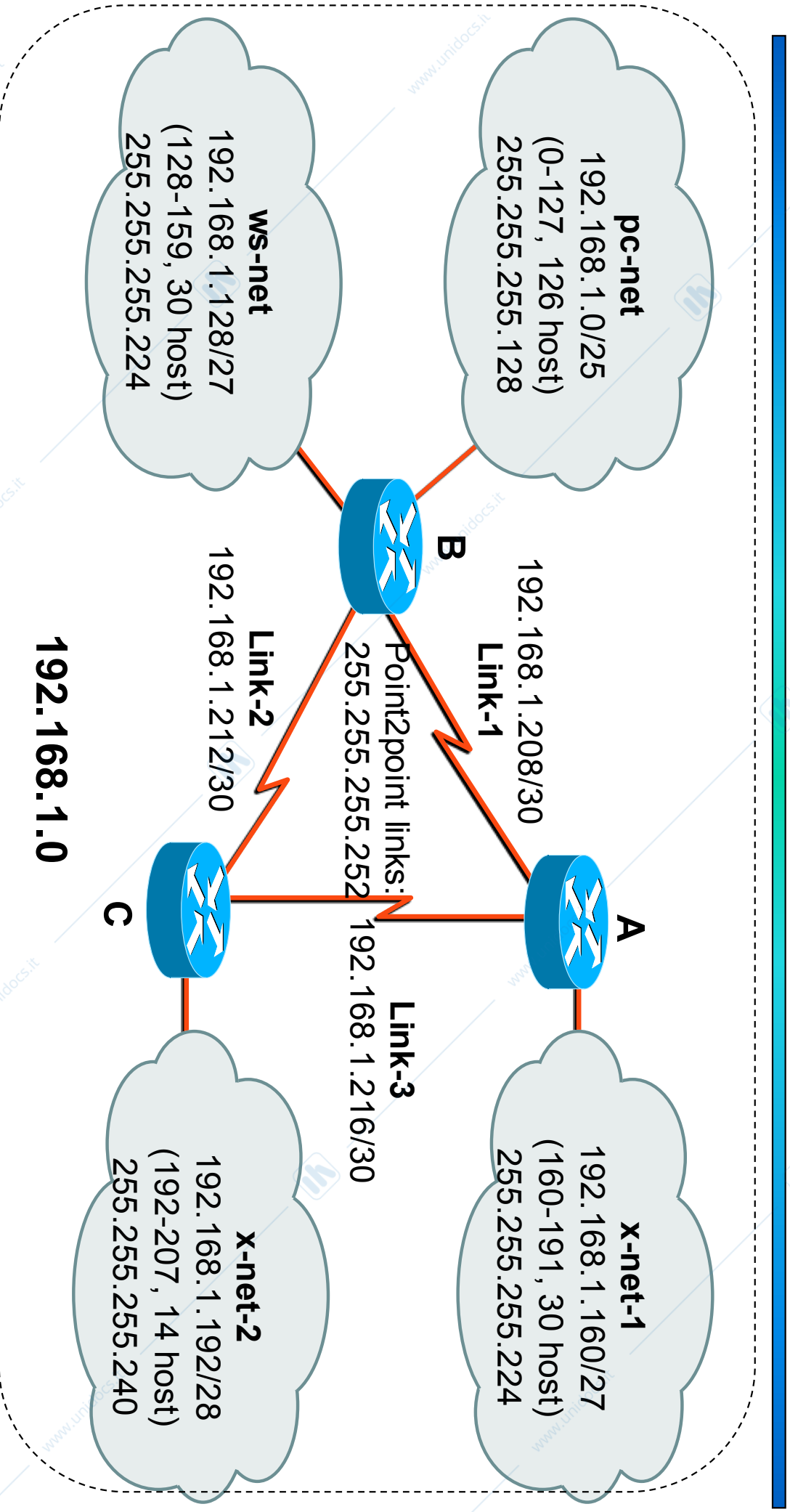


■ **Soluzione CON VLSM necessita di un solo indirizzo di classe C**



Caso tipico

Con VLSM: soluzione finale





Caso tipico Con VL_{SM}

- **Address pie per il caso appena visto**

1 solo blocco di Classe C

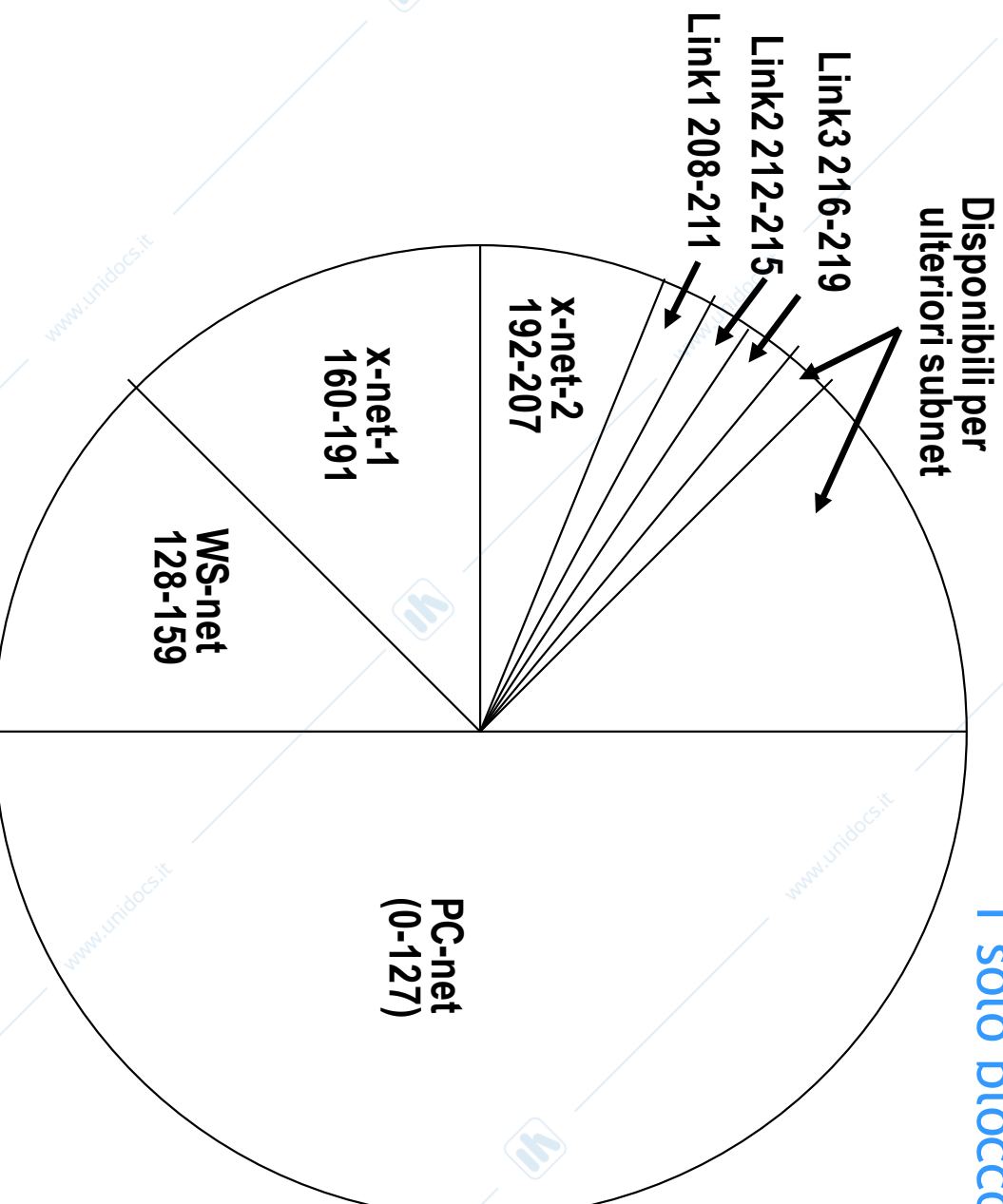
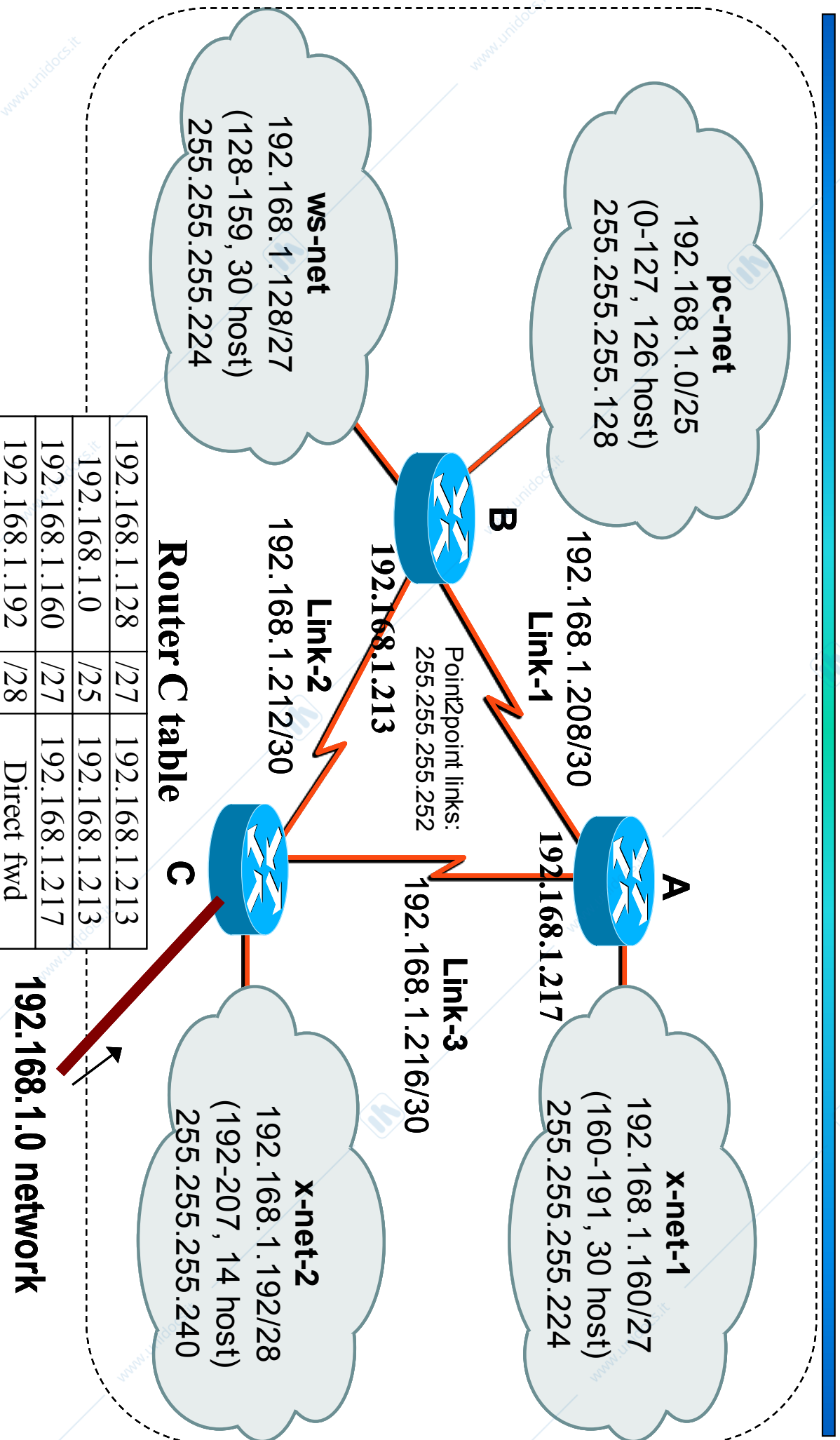




Tabella di routing per l'esempio precedente





Outline

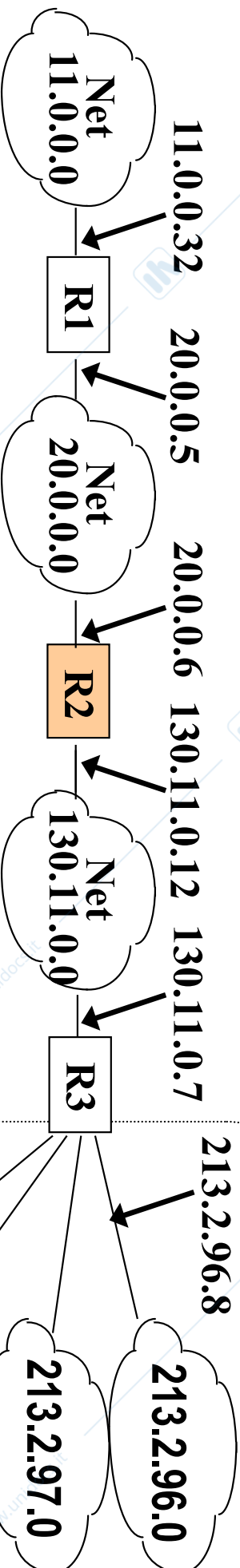
- Indirizzamento *Classfull*
- Meccanismo di inoltro pacchetti
- Subnetting
- **Supernetting**
- Indirizzamento *Classless*
- NAT



Crescita delle tabelle di routing

Assegnamento di indirizzi di classe C multipli ad una organizzazione

Corporate Network



R2 Routing Table		Next Hop
Destination Network	20.0.0.0	Direct forward
	130.11.0.0	Direct forward
	11.0.0.0	20.0.0.5
	213.2.96.0	130.11.0.7
	213.2.97.0	130.11.0.7
	213.2.98.0	130.11.0.7
	213.2.99.0	130.11.0.7

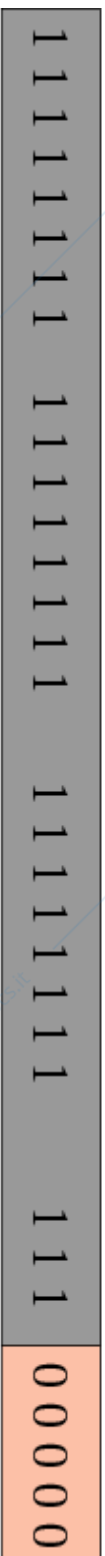
- Limiti HW/SW sul tempo di osservazione delle tabelle
- Aggiornamenti delle tabelle sono critici (grandi quantità di info che viaggiano in rete)



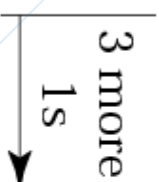
IP addressing Supernet mask

Subnet Mask

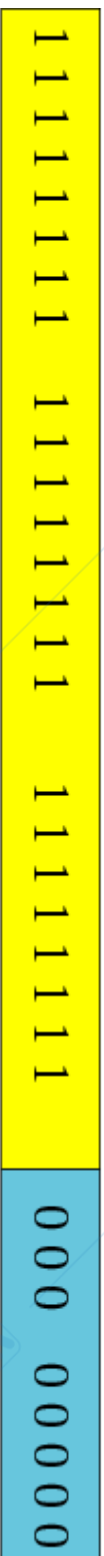
Divide 1 network into 8 subnets



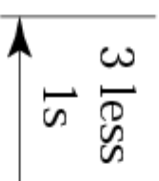
Subnetting



Default Mask



Supernetting



Supernet Mask



Combine 8 networks into 1 supernet



IP addressing con Supernetting

Supernet mask

■ 4 reti di classe C (netmask /24) con indirizzi contigui

- 213.2.96.0
11010101.00000010.01100000.00000000
- 213.2.97.0
11010101.00000010.01100001.00000000
- 213.2.98.0
11010101.00000010.01100010.00000000
- 213.2.99.0
11010101.00000010.01100011.00000000

■ Supernet mask

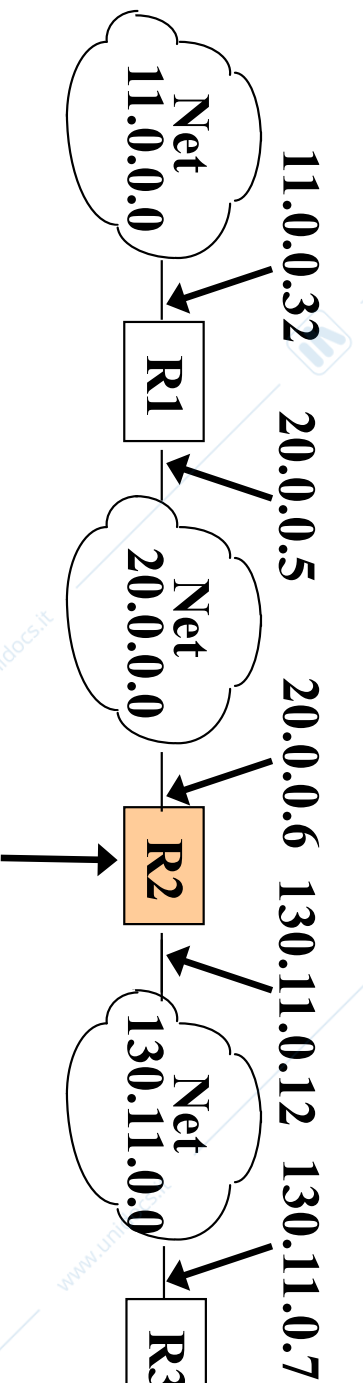
- 255.255.252.0

■ Supernet address: 213.2.96.0/22

- 11010101 . 00000010 . 011000 **00** . **00000000**



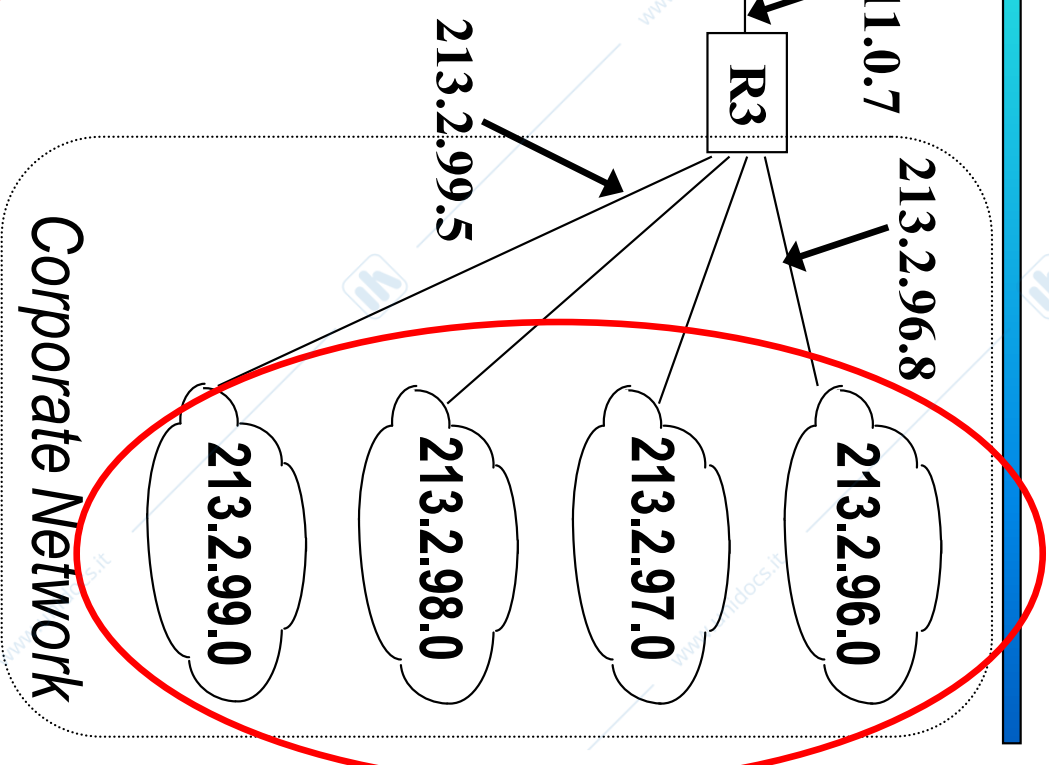
IP addressing con Supernetting Routing



Dest.Net	Dest.Netmask	Next Hop
20.0.0.0	255.0.0.0	Direct forward
130.11.0.0	255.255.0.0	Direct forward
11.0.0.0	255.0.0.0	20.0.0.5
213.2.96.0	255.255.252.0	130.11.0.7

Corporate Supernet address: 213.2.96.0/22

11010101.00000010.01100000.00000000



Route aggregation



Outline

- Indirizzamento *Classfull*
- Meccanismo di inoltro pacchetti
- Subnetting
- Supernetting
- Indirizzamento *Classless*
- NAT



Classless Inter-Domain Routing

CIDR

- CIDR sviluppato nel Settembre 1993
 - RFC 1517, 1518, 1519, 1520
- Soluzione fondamentale per il problema delle tabelle di routing
- Soluzione temporanea per tamponare l'esaurimento di indirizzi IP

- 32 bit: scelta infelice
 - Nessuno si sarebbe aspettato una tale crescita di Internet
 - Forte impatto sulle applicazioni Internet
- Scelta iniziale infelice anche sull'assegnamento delle classi:
 - Indirizzi di classe B con meno di 1000 host sono molto comuni (spreco enorme di indirizzi)
- Soluzione “definitiva” **IPv6**
 - indirizzi a 128 bit → $2^{128} \approx 3.4 \cdot 10^{38}$ indirizzi!!!!
 - IPv4 ne ha $2^{32} \approx 4.3 \cdot 10^9$



CIDR

Regole

■ Flessibilità nell'allocare indirizzi IP non assegnati

- Granularità non ristretta a quella delle classi A, B o C
- **X.Y.Z.W/n** indica che un insieme di indirizzi **contigui** è allocato con
 - Primo indirizzo: **X.Y.Z.W**
 - **/n** indica che ci sono 2^{32-n} indirizzi in totale (la maschera di rete è lunga n bit)
- Es: 134.76.96.0/19 indica 8192 indirizzi di rete adiacenti a partire da 134.76.96.0 fino a 134.76.127.255

$$8192 = 2^{32-19} = 2^{13}$$

■ Valgono ancora:

- Routing effettuato ancora attraverso il **longest prefix match**
- Subnetting può essere usato anche con indirizzamento CIDR
- CIDR è una forma di supernetting a livello globale (tutta Internet)

■ Es: Indirizzi privati espressi in notazione CIDR

- I: 10.0.0.0/8
- II: 172.16.0.0/12
- III: 192.168.0.0/16



CIDR

Indirizzi

10.23.64.0/20 00001010.00010111.01000000.00000000

130.5.0.0/20 10000010.00000101.00000000.00000000

200.7.128.0/20 11001000.00000111.10000000.00000000

*Indipendentemente dalla classe cui appartengono, questi indirizzi sono simili!
Identificano tutti una rete fatta di 4094 ($=2^{32-20}-2$) host*

Interpretazione di 200.7.128.0/20: RETE SINGOLA, blocco di 16 classi C contigue

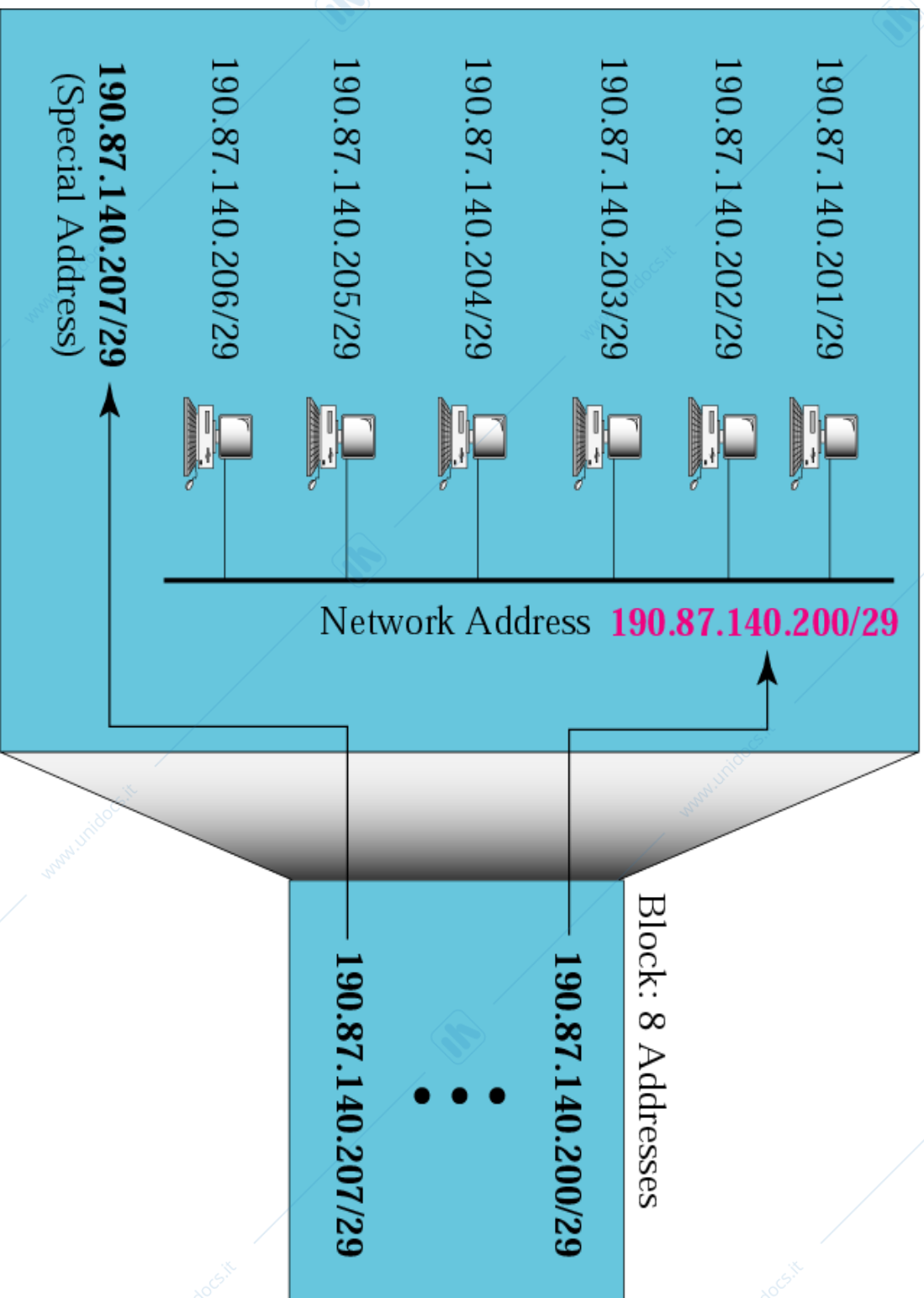
200.7.128.0	200.7.132.0	200.7.136.0	200.7.140.0
200.7.129.0	200.7.133.0	200.7.137.0	200.7.141.0
200.7.130.0	200.7.134.0	200.7.138.0	200.7.142.0
200.7.131.0	200.7.135.0	200.7.139.0	200.7.143.0



CIDR

Esempio 1

Network Organization

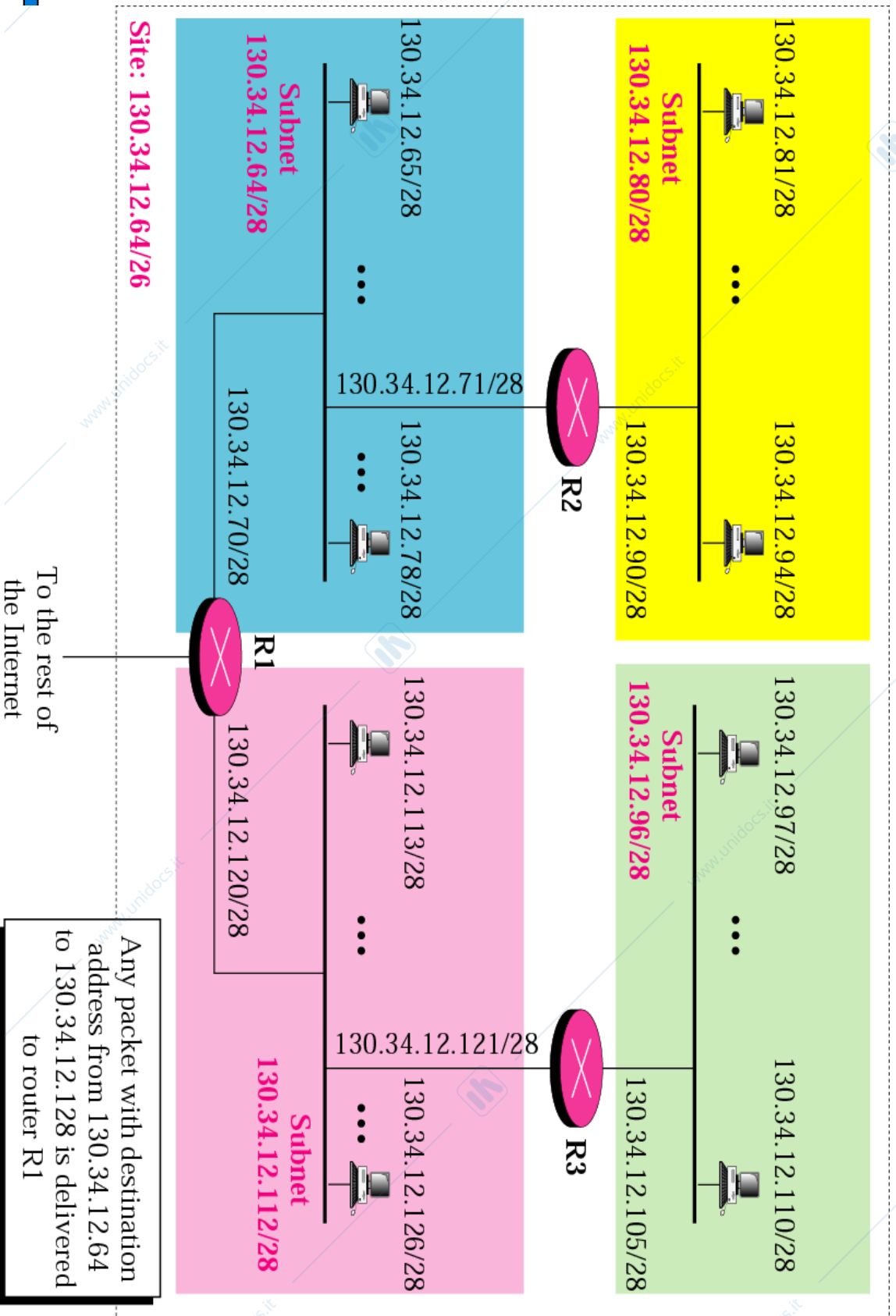




CIDR

Esempio 2

- Un'azienda ha il blocco 130.34.12.64/26 e necessita di 4 subnet

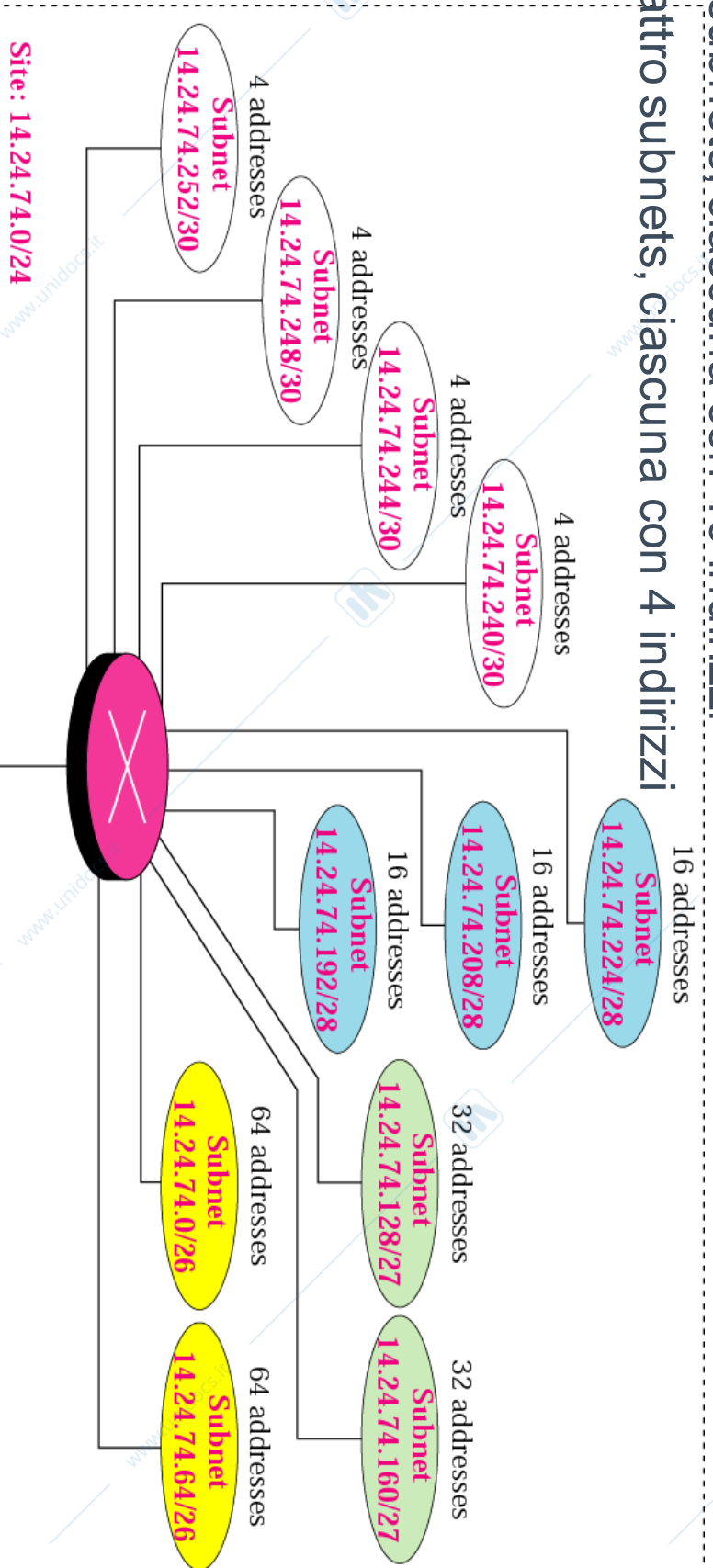




CIDR

Example 3

- Un'azienda ha il blocco 14.24.74.0/24 (ci sono $2^{32-24}-2 = 254$ indirizzi nel blocco). 11 subnets necessarie:
 - a. due subnets, ciascuna con 64 indirizzi
 - b. due subnets, ciascuna con 32 indirizzi
 - c. tre subnets, ciascuna con 16 indirizzi
 - d. quattro subnets, ciascuna con 4 indirizzi





CIDR Routing

- **Requisiti dei router: simili al caso VLSM (ma su scala globale)**
 - Il **protocollo di routing** implementato deve **trasportare il prefisso di rete** insieme all'info sulle rotte annunciate
 - Tutti i router implementano un algoritmo di instradamento sulla base del **longest prefix match**
 - Per consentire **route aggregation**, gli indirizzi devono essere assegnati in maniera "topologicamente significativa" (subnet vicine, indirizzi vicini)



Route aggregation

La crescita delle tabelle di routing in Internet è mantenuta sotto controllo

1 singolo annuncio per la rete 200.25.16.0/20!!

200.25.0.0/20

The Internet

Large ISP

200.25.16.0/20

200.25.16.0/21

200.25.24.0/22

200.25.28.0/23 200.25.30.0/23

200.25.16.0/24
200.25.17.0/24
200.25.18.0/24
200.25.19.0/24
200.25.20.0/24
200.25.21.0/24
200.25.22.0/24
200.25.23.0/24

200.25.24.0/24
200.25.25.0/24
200.25.26.0/24
200.25.27.0/24

200.25.28.0/24
200.25.29.0/24

200.25.30.0/24
200.25.31.0/24

Company A

Company B

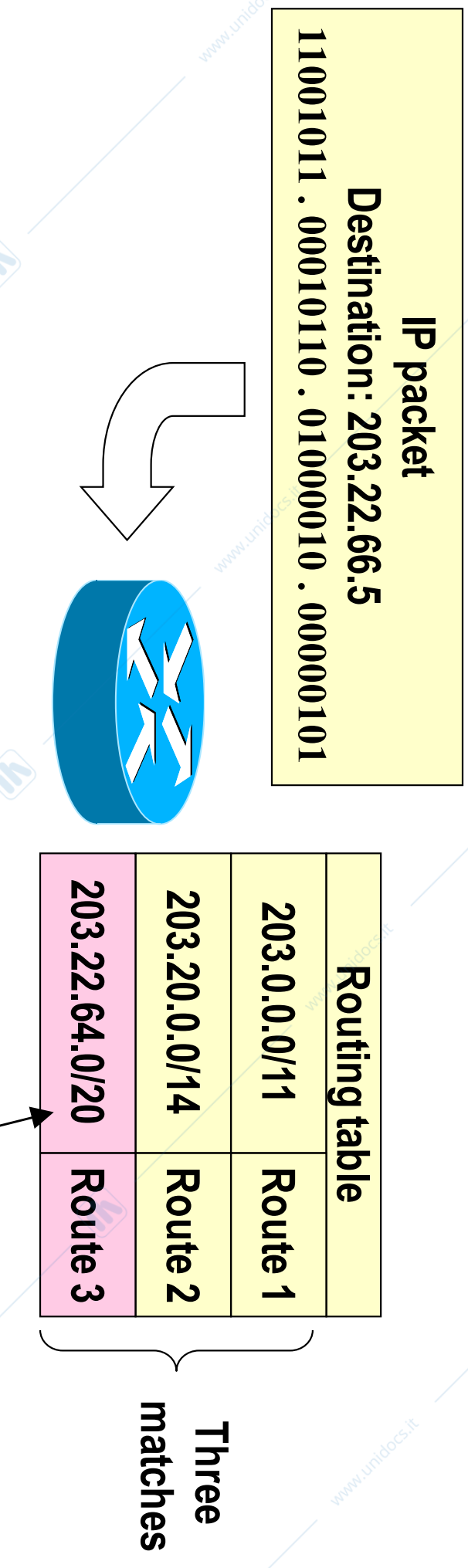
Company C

Company D



Route aggregation e uso di **Longest prefix match**

- Può essere necessario talvolta avere comunque più righe nelle tabelle di routing: si ottengono tanti **match** diversi



R1: 11001011 . 00010110 . 01000010 . 00000101
R2: 11001011 . 00010110 . 01000010 . 00000101
R3: 11001011 . 00010110 . 01000010 . 00000101

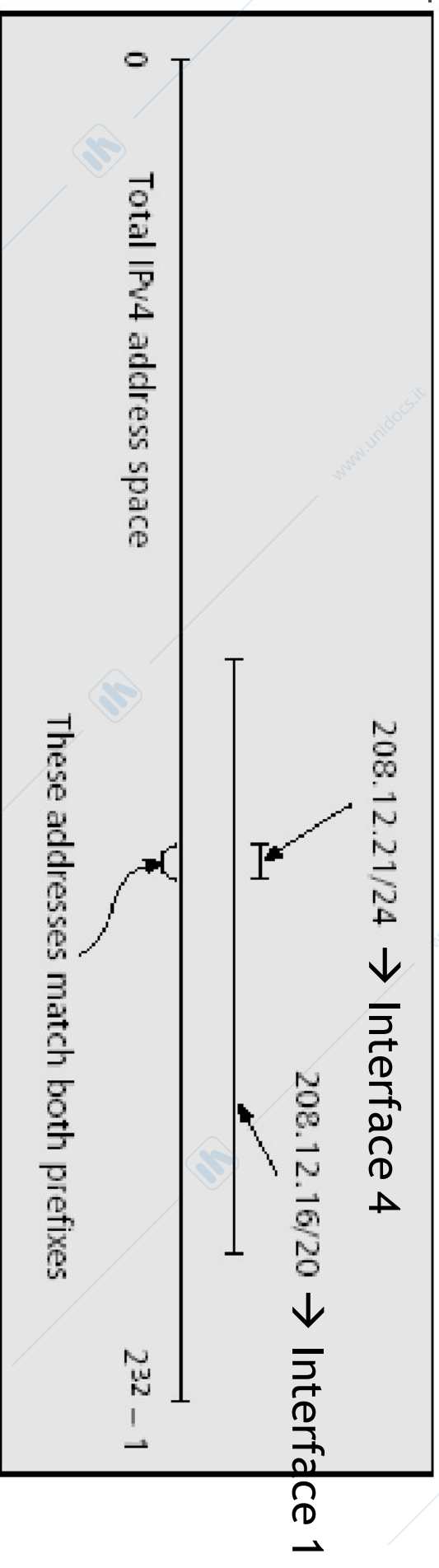
Longest match(R3) = smallest network, most precise routing information

Perchè longest match è così indispensabile???

Exception prefix

- **Non sempre si fa aggregazione di indirizzi per ridurre le righe di una tabella di routing**

– Esempio



- Tutti i pacchetti destinati a 208.12.16/20 prendono una certa strada **ECCETTO** quelli per 208.12.21/24, che ne prenderanno un'altra



Outline

- **Indirizzamento *Classfull***
- **Meccanismo di inoltro pacchetti**
- **Subnetting**
- **Supernetting**
- **Indirizzamento *Classless***
- **NAT**



Internet addressing

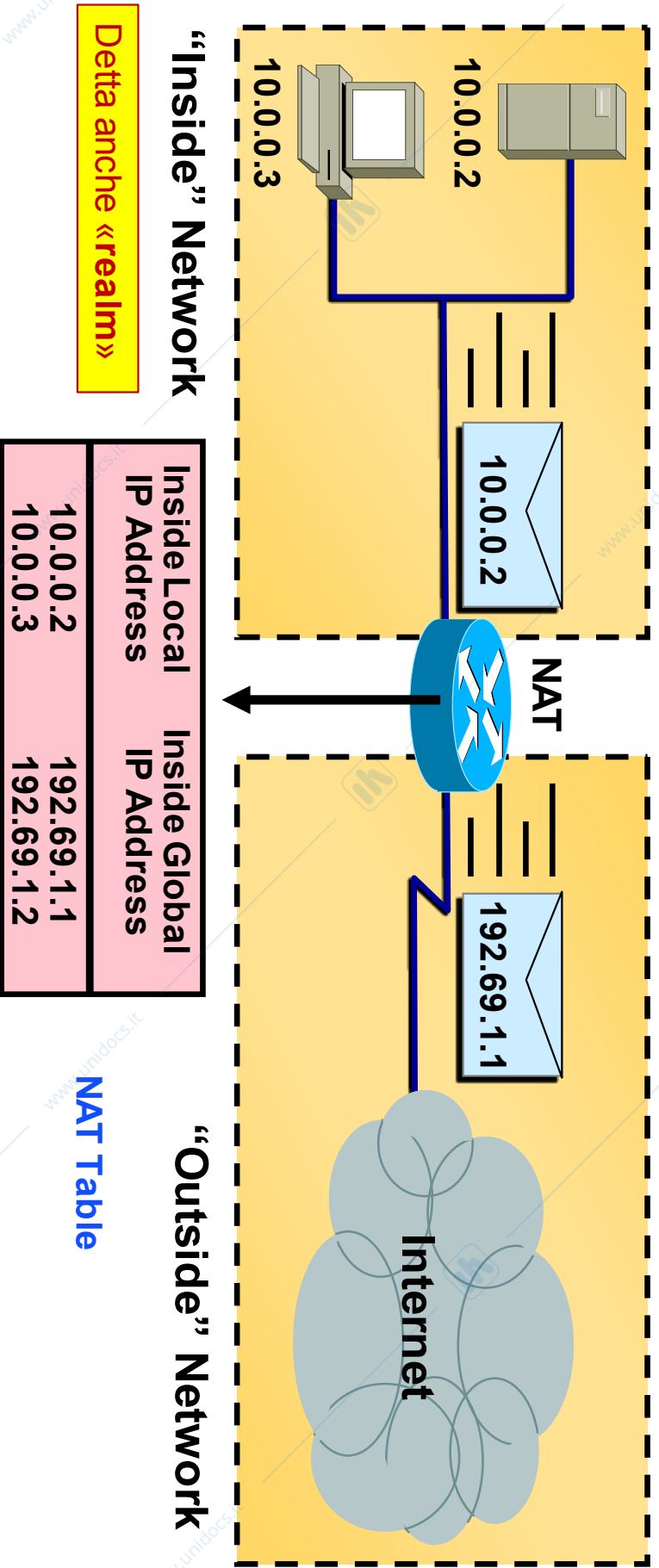
NAT

- **In linea di principio, una organizzazione a cui sono assegnati N indirizzi IP, non necessita N indirizzi per accedere contemporaneamente alla rete**
 - Maggior parte del traffico generato viene scambiato internamente
 - **Sono quindi necessari**
 k (indirizzi pubblici) \ll N (indirizzi interni)
- ⇒ Network Address Translation (NAT)

NAT

Network Address Translation table (RFC2663, RFC 3022)

- Mapping 1 a 1 tra indirizzi pubblici e privati
- Ancora nessun vantaggio significativo in termini di scalabilità
 - servono tanti IP pubblici quanti sono quelli privati utilizzati contemporaneamente dagli host

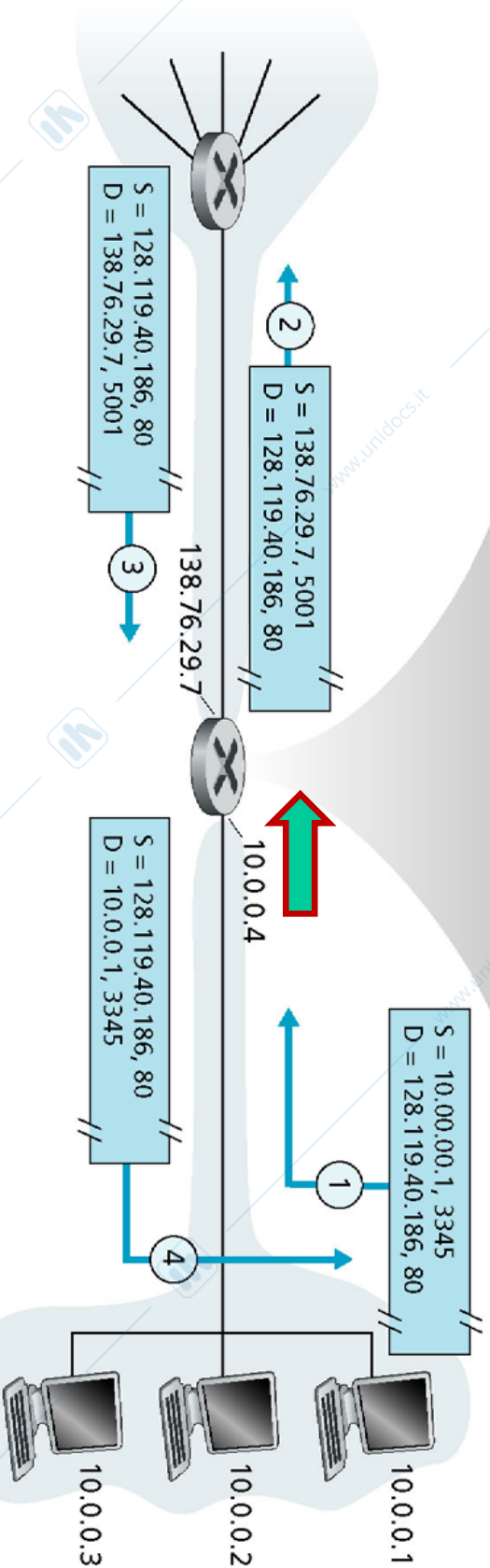


Detta anche «**realm**»

Internet addressing NAPT

Tabella di traduzione NAT	
Lato WAN	Lato LAN
138.76.29.7, 5001	10.00.00.1, 3345
...	...

Porti: campo a 16 bit
→ 2¹⁶ valori possibili
(circa 65000)



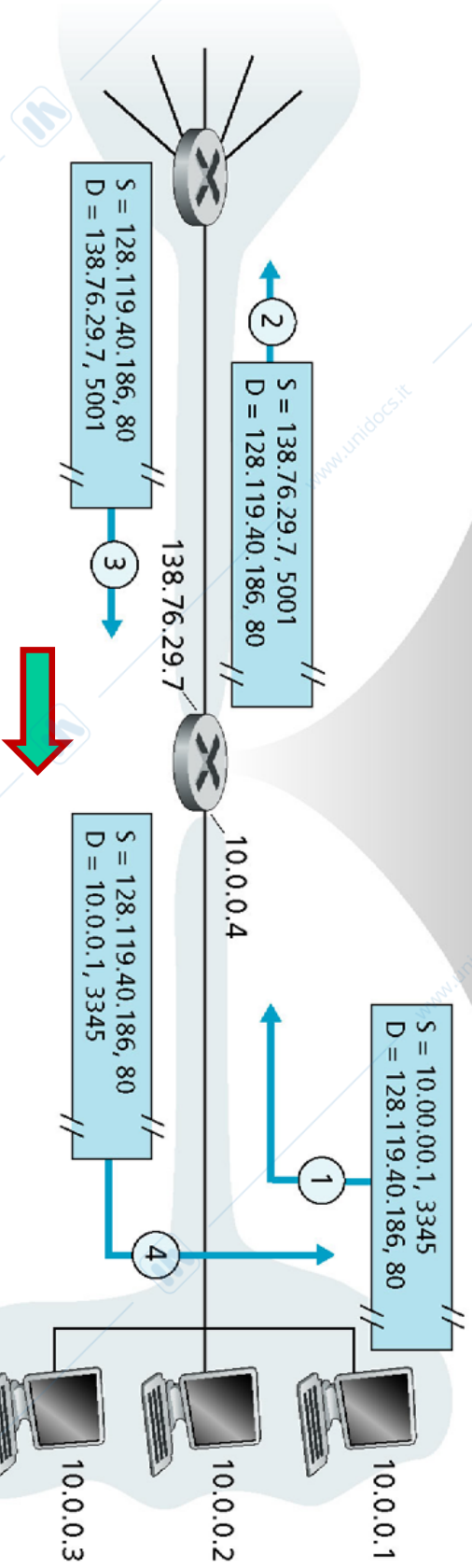
Network Address Port Translation (RFC2663, RFC 3022)

- Consente a più clienti privati di comunicare con l'esterno
- Sfrutta il numero di porta (ad es, TCP) per individuare la "connessione", associando ad un host interno una stessa coppia di indirizzi pubblici <IP address, port number> → **risparmio indirizzi IP pubblici**

Internet addressing NAPT

Tabella di traduzione NAT	
Lato WAN	Lato LAN
138.76.29.7 5001	10.00.00.1, 3345
...	...

Porti: campo a 16 bit
→ 2¹⁶ valori possibili
(circa 65000)



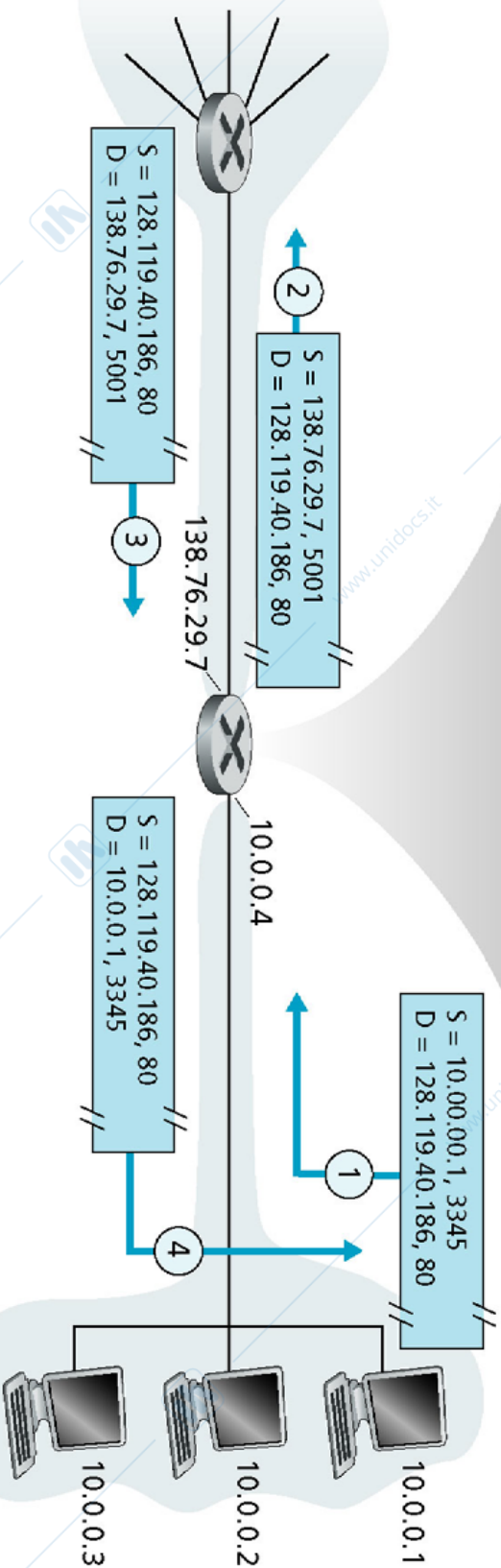
■ Network Address Port Translation (RFC2663, RFC 3022)

- Consente a più clienti privati di comunicare con l'esterno
- Sfrutta il numero di porta (ad es, TCP) per individuare la “connessione”, associando ad un host interno una stessa coppia di indirizzi pubblici <IP address, port number> → **risparmio indirizzi IP pubblici**

Internet addressing NAPT

Tabella di traduzione NAT		
External	Lato WAN	Lato LAN
128.119.40.186	138.76.29.7, 5001	10.00.00.1, 3345
...

Se si include nella tabella anche l'indirizzo IP esterno relativo all'associazione, lo stesso numero di porta WAN (5001) può essere riutilizzato per altre associazioni



- **Limitazione: non consente di avere server dentro la rete private perché un server usa un numero di porta non arbitrario, ma dipendente dal protocollo applicativo, per essere raggiunto**
 - Problema anche per applicazioni peer-to-peer
 - Esistono metodi per aggirarlo (es. Protocollo Universal Plug and Play, connection reversal)



Internet addressing

Domain name system (DNS)

- **Il DNS è un «meccanismo di identificazione alfabetica degli indirizzi IP»**
 - Effettua la conversione da stringa ad indirizzo IP
 - Semplicemente, provate a fare un «ping» al vostro indirizzo IP (alfabetico) preferito...
- **Struttura degli indirizzi è gerarchica: primo, secondo, terzo, quarto livello**
 - Per esempio: vivian.elet.poli.it
- **Il DNS è implementato attraverso una struttura distribuita di applicazioni denominati «name server»**





Internet Protocol IP addressing

