

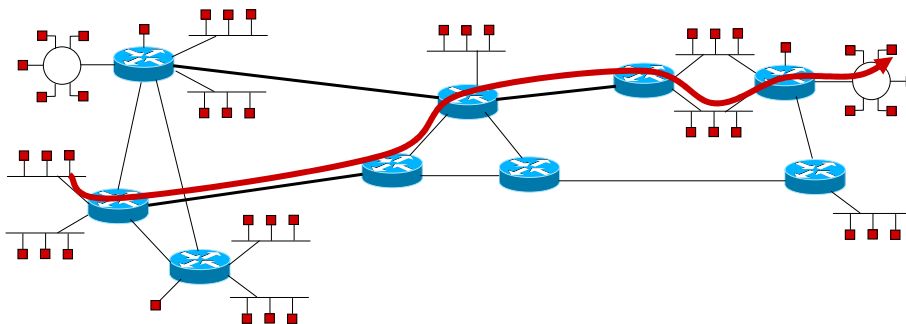


Instradamento IP

A.A. 2005/2006

Walter Cerroni

IP: instradamento dei datagrammi



- **Routing** : scelta del percorso su cui inviare i dati
 - i **router** formano una struttura interconnessa e cooperante: i datagrammi passano dall'uno all'altro finché raggiungono quello che può consegnarli direttamente al destinatario

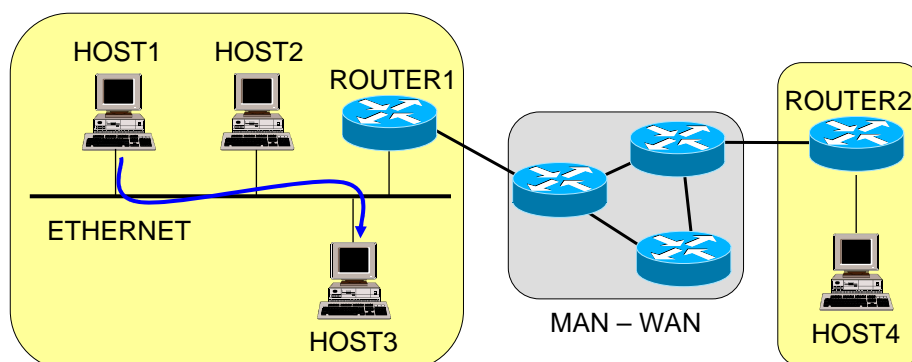
2

IP: instradamento dei datagrammi

- La consegna dei datagrammi IP all'host destinatario può avvenire in due modalità:
 - **direttamente (direct delivery)** : l'host destinatario del datagramma è sulla stessa rete fisica di chi trasmette, quindi si spedisce il datagramma direttamente al destinatario
 - **indirettamente (indirect delivery)** : l'host destinatario del datagramma non è sulla stessa rete di chi trasmette, quindi il datagramma è inviato ad un router intermedio

3

Direct delivery: da Host 1 a Host 3



ARP request HOST1 chiede l'indirizzo MAC di HOST3
ARP reply HOST3 risponde direttamente a HOST1

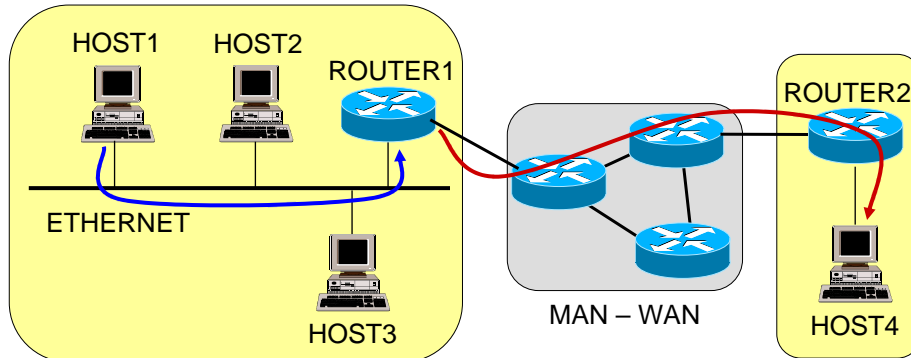
MAC ADDRESS: HOST3

IP ADDRESS: HOST3

DATI

4

Indirect delivery: da Host 1 a Host 4



ARP request HOST1 chiede l'indirizzo MAC di ROUTER1

ARP reply ROUTER1 risponde a HOST1

MAC ADDRESS: ROUTER1

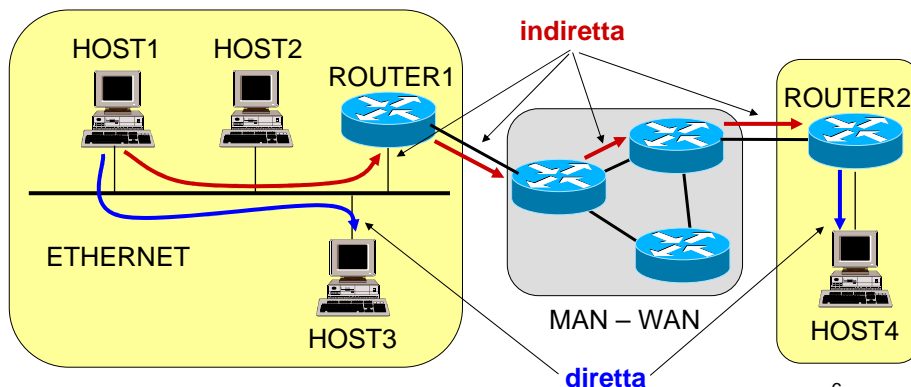
IP ADDRESS: HOST4

DATI

5

Da mittente a destinatario

- C'è sempre una consegna diretta
- Può non esserci alcuna consegna indiretta
- Possono esserci una o più consegne indirette



6

Tabella di instradamento degli host (I)

- Gli host devono sapere se eseguire una consegna diretta o indiretta e, eventualmente, quale router usare
- Ciascun host ha una sua tabella di instradamento
- La tabella associa all'indirizzo di un host o di una rete di destinazione un **gateway** attraverso il quale raggiungere tale destinazione
- Il gateway quindi indica il tipo di consegna da effettuare
- Le destinazioni contenute nella tabella sono solamente quelle di interesse per quell'host, non tutte le possibili
- Si designa un **default gateway** al quale inviare tutti i datagrammi indirizzati a destinazioni *non esplicitamente presenti in tabella*

7

Tabella di instradamento degli host (II)

- Informazioni contenute in ciascuna riga:
 - **indirizzo di destinazione**: può essere un host o una network
 - **netmask**: utilizzata per verificare la corrispondenza con la destinazione
 - **gateway**: indica il tipo di consegna da effettuare
 - **interfaccia di rete**: specifica quale interfaccia di rete utilizzare (loopback compreso)
 - **metrica**: specifica il "costo" di quella particolare route
- Lookup eseguito per ogni datagramma proveniente dagli strati superiori
 - i router lo fanno anche per i pacchetti in transito

8

Table lookup

- La ricerca nella tabella avviene utilizzando
 - l'indirizzo IP di destinazione del datagramma
 - l'indirizzo di destinazione e la netmask specificati in ciascuna riga della tabella
- Procedura:
 - si esegue un'operazione di **AND** bit per bit tra l'indirizzo di destinazione del datagramma e la netmask di ciascuna riga
 - il risultato viene confrontato con la destinazione specificata nella riga stessa: se coincidono, la riga è quella giusta
 - il controllo viene effettuato a partire dalla riga che presenta una netmask con un numero maggiore di bit a uno: priorità alle route più specifiche (prima host, poi reti piccole, poi reti grandi – **longest-prefix match**)
 - una volta trovata la riga corrispondente, il lookup si ferma e il datagramma viene instradato secondo la modalità specificata
 - se nessuna riga corrisponde, si usa il gateway di default

9

Esempio di lookup – 1

	Destinazione	Netmask	Etc.
1	0.0.0.0	0.0.0.0	...
2	192.168.2.0	255.255.255.0	...
3	192.168.2.18	255.255.255.255	...

- Datagramma con IP dest. = 192.168.2.18
- Confronto prima con riga 3, poi con riga 2 e poi riga 1

192.168.002.018
255.255.255.255
192.168.002.018 == 192.168.002.018

bitwise AND

- La riga 3 è quella giusta (host specific)

10

Esempio di lookup – 2

	Destinazione	Netmask	Etc.
1	0.0.0.0	0.0.0.0	...
2	192.168.2.0	255.255.255.0	...
3	192.168.2.18	255.255.255.255	...

- Datagramma con IP dest. = 192.168.2.22

```
192.168.002.022
255.255.255.255
192.168.002.022 != 192.168.002.018
```

```
192.168.002.022
255.255.255.000
192.168.002.000 == 192.168.002.000
```

- La riga 2 è quella giusta (network specific)

11

Esempio di lookup – 3

	Destinazione	Netmask	Etc.
1	0.0.0.0	0.0.0.0	...
2	192.168.2.0	255.255.255.0	...
3	192.168.2.18	255.255.255.255	...

- Datagramma con IP dest. = 80.48.15.170

```
080.048.015.170
255.255.255.255
080.048.015.170 != 192.168.002.018
```

```
080.048.015.170
255.255.255.000
080.048.015.000 != 192.168.002.000
```

```
080.048.015.170
000.000.000.000
000.000.000.000 == 000.000.000.000
```

- La riga 1 è quella giusta (default gateway)

12

Comando ROUTE

`route print` (Windows)

`route -n` (Linux/Unix)

visualizza la tabella di routing dell'host

`route -p add DEST mask NETMASK GATEWAY`

aggiunge alla tabella di routing Windows una entry permanente relativa alla destinazione **DEST** indicandone la **NETMASK** e il **GATEWAY** attraverso il quale raggiungerla

13

Esempio 1: host semplice (Windows)

```
=====
Elenco interfacce
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x1000003 ...00 d0 59 ce 68 16 ..... Intel 825x-based Integrated Fast Ethernet
=====
Route attive:
Indirizzo rete      Mask                Gateway             Interfac.  Metric
0.0.0.0             0.0.0.0            192.168.10.76       192.168.10.90  1
127.0.0.0           255.0.0.0          127.0.0.1           127.0.0.1     1
192.168.10.0        255.255.255.0      192.168.10.90       192.168.10.90  1
192.168.10.90       255.255.255.255    127.0.0.1           127.0.0.1     1
192.168.10.255     255.255.255.255    192.168.10.90       192.168.10.90  1
224.0.0.0           224.0.0.0          192.168.10.90       192.168.10.90  1
255.255.255.255     255.255.255.255    192.168.10.90       192.168.10.90  1
Gateway predefinito: 192.168.10.76
=====
Route persistenti:
Nessuno
```

Gateway = IP locale → consegna diretta

Gateway = loopback → consegna agli strati superiori

Altrimenti → consegna indiretta tramite il gateway indicato

14

Esempio 1: host semplice (Linux)

```
[walter@deis73 walter]$ /sbin/route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway          Genmask         Flags Metric Ref    Use Iface
192.168.10.0     0.0.0.0         255.255.255.0   U      0      0      0 eth0
127.0.0.0        0.0.0.0         255.0.0.0       U      0      0      0 lo
0.0.0.0          192.168.10.76  0.0.0.0         UG     0      0      0 eth0
[walter@deis73 walter]$
```

Gateway = 0.0.0.0 & Iface ≠ lo → consegna diretta

Gateway = 0.0.0.0 & Iface = lo → agli strati superiori

Altrimenti → consegna indiretta tramite il gateway indicato

15

Esempio 2: multi-homed host (Windows)

```
=====  
Interface List  
0x1 ..... MS TCP Loopback interface  
0x1000003 ...00 60 08 6c dc ae ..... 3Com 3C90x Ethernet Adapter  
0x1000004 ...00 50 da 13 28 0b ..... 3Com EtherLink PCI  
=====  
Active Routes:  
Network Destination      Netmask          Gateway          Interface        Metric  
0.0.0.0                   0.0.0.0          137.204.57.254  137.204.57.85    1  
127.0.0.0                 255.0.0.0        127.0.0.1      127.0.0.1        1  
137.204.57.0              255.255.255.0   137.204.57.85  137.204.57.85    1  
137.204.57.85            255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1        1  
137.204.255.255          255.255.255.255 137.204.57.85  137.204.57.85    1  
192.168.10.0              255.255.255.0   192.168.10.85  192.168.10.85    1  
192.168.10.85            255.255.255.255 127.0.0.1      127.0.0.1        1  
192.168.10.255          255.255.255.255 192.168.10.85  192.168.10.85    1  
224.0.0.0                 224.0.0.0        137.204.57.85  137.204.57.85    1  
224.0.0.0                 224.0.0.0        192.168.10.85  192.168.10.85    1  
255.255.255.255          255.255.255.255 192.168.10.85  192.168.10.85    1  
Default Gateway:         137.204.57.254  
=====  
Persistent Routes:  
None
```

16

Esempio 2: multi-homed host (Linux)

```
[walter@deis76 walter]$ /sbin/route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway         Genmask        Flags Metric Ref    Use Iface
137.204.57.0    0.0.0.0        255.255.255.0  U      0      0      0 eth0
192.168.10.0    0.0.0.0        255.255.255.0  U      0      0      0 eth1
127.0.0.0       0.0.0.0        255.0.0.0     U      0      0      0 lo
0.0.0.0         137.204.57.254 0.0.0.0       UG     0      0      0 eth0
[walter@deis76 walter]$
```

17

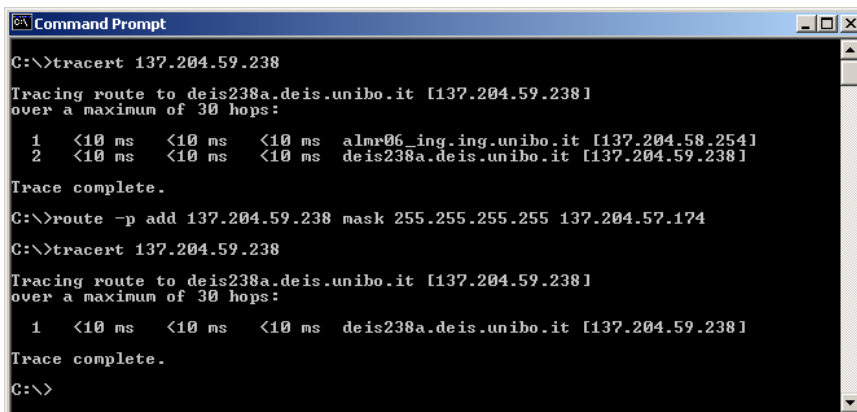
Esempio 3

```
Command Prompt
C:\>route print
=====
Interface List
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x1000003 ...00 01 02 36 3b f9 ..... 3Com EtherLink PCI
=====
Active Routes:
Network Destination        Netmask          Gateway          Interface        Metric
0.0.0.0                    0.0.0.0          137.204.57.254  137.204.57.174  1
127.0.0.0                  255.0.0.0        127.0.0.1       127.0.0.1       1
137.204.57.0               255.255.255.0    137.204.57.174  137.204.57.174  1
137.204.57.174            255.255.255.255  127.0.0.1       127.0.0.1       1
137.204.59.232            255.255.255.255  137.204.57.174  137.204.57.174  1
137.204.59.236            255.255.255.255  137.204.57.174  137.204.57.174  1
137.204.59.237            255.255.255.255  137.204.57.174  137.204.57.174  1
137.204.59.238            255.255.255.255  137.204.57.174  137.204.57.174  1
137.204.255.255          255.255.255.255  137.204.57.174  137.204.57.174  1
224.0.0.0                 224.0.0.0        137.204.57.174  137.204.57.174  1
255.255.255.255          255.255.255.255  137.204.57.174  137.204.57.174  1
Default Gateway:          137.204.57.254
=====
Persistent Routes:
Network Address        Netmask          Gateway Address  Metric
137.204.59.232        255.255.255.255  137.204.57.174  1
137.204.59.238        255.255.255.255  137.204.57.174  1
137.204.59.237        255.255.255.255  137.204.57.174  1
137.204.59.236        255.255.255.255  137.204.57.174  1
C:\>_
```

18

Esempio 4

Eseguito da 137.204.57.174/24

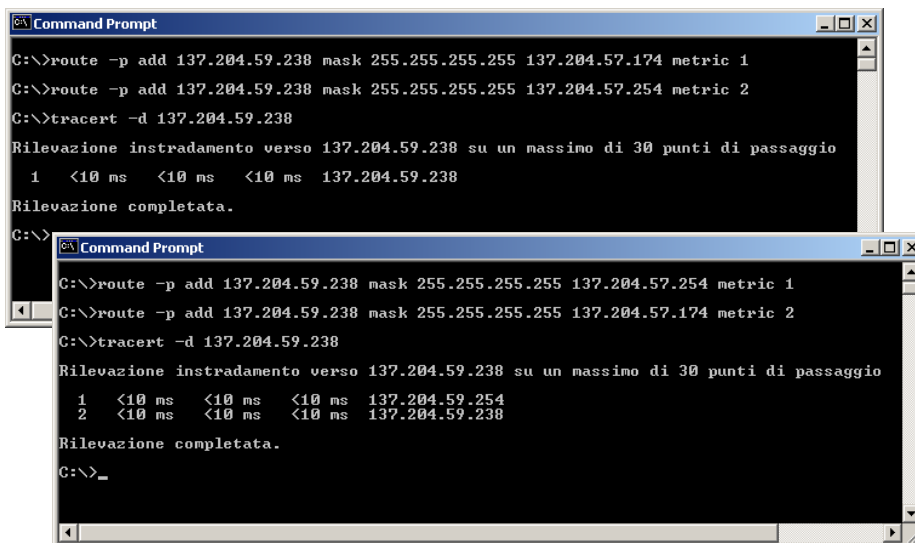


```
Command Prompt
C:\>tracert 137.204.59.238
Tracing route to deis238a.deis.unibo.it [137.204.59.238]
over a maximum of 30 hops:
  0  <10 ms  <10 ms  <10 ms  almp06_ing.ing.unibo.it [137.204.58.254]
  1  <10 ms  <10 ms  <10 ms  deis238a.deis.unibo.it [137.204.59.238]
Trace complete.
C:\>route -p add 137.204.59.238 mask 255.255.255.255 137.204.57.174
C:\>tracert 137.204.59.238
Tracing route to deis238a.deis.unibo.it [137.204.59.238]
over a maximum of 30 hops:
  0  <10 ms  <10 ms  <10 ms  deis238a.deis.unibo.it [137.204.59.238]
Trace complete.
C:\>
```

Modifica analoga da apportare a 137.204.59.238/24

19

Esempio 5



```
Command Prompt
C:\>route -p add 137.204.59.238 mask 255.255.255.255 137.204.57.174 metric 1
C:\>route -p add 137.204.59.238 mask 255.255.255.255 137.204.57.254 metric 2
C:\>tracert -d 137.204.59.238
Rilevazione instradamento verso 137.204.59.238 su un massimo di 30 punti di passaggio
  0  <10 ms  <10 ms  <10 ms  137.204.59.238
Rilevazione completata.
C:\>

Command Prompt
C:\>route -p add 137.204.59.238 mask 255.255.255.255 137.204.57.254 metric 1
C:\>route -p add 137.204.59.238 mask 255.255.255.255 137.204.57.174 metric 2
C:\>tracert -d 137.204.59.238
Rilevazione instradamento verso 137.204.59.238 su un massimo di 30 punti di passaggio
  0  <10 ms  <10 ms  <10 ms  137.204.59.254
  1  <10 ms  <10 ms  <10 ms  137.204.59.238
Rilevazione completata.
C:\>_
```

20

Esempio 6 (I)

```
Command Prompt
C:\>arp -a
Interface: 137.204.57.174 on Interface 0x1000003
Internet Address      Physical Address      Type
137.204.57.1          08-00-20-9c-9c-93    dynamic
137.204.57.88         00-60-b0-78-e8-fd    dynamic
137.204.57.177        00-b0-d0-ec-46-62    dynamic
C:\>ping -n 1 137.204.59.238
Pinging 137.204.59.238 with 32 bytes of data:
Reply from 137.204.59.238: bytes=32 time=10ms TTL=128
Ping statistics for 137.204.59.238:
    Packets: Sent = 1, Received = 1, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 10ms, Maximum = 10ms, Average = 10ms
C:\>arp -a
Interface: 137.204.57.174 on Interface 0x1000003
Internet Address      Physical Address      Type
137.204.57.1          08-00-20-9c-9c-93    dynamic
137.204.57.88         00-60-b0-78-e8-fd    dynamic
137.204.57.177        00-b0-d0-ec-46-62    dynamic
137.204.57.254        00-50-54-d9-ba-00    dynamic
```

21

Esempio 6 (II)

```
Command Prompt
C:\>route -p add 137.204.59.238 mask 255.255.255.255 137.204.57.174
C:\>ping -n 1 137.204.59.238
Pinging 137.204.59.238 with 32 bytes of data:
Reply from 137.204.59.238: bytes=32 time<10ms TTL=128
Ping statistics for 137.204.59.238:
    Packets: Sent = 1, Received = 1, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
C:\>arp -a
Interface: 137.204.57.174 on Interface 0x1000003
Internet Address      Physical Address      Type
137.204.57.1          08-00-20-9c-9c-93    dynamic
137.204.57.88         00-60-b0-78-e8-fd    dynamic
137.204.57.177        00-b0-d0-ec-46-62    dynamic
137.204.57.181        00-30-c1-d5-ee-9b    dynamic
137.204.57.254        00-50-54-d9-ba-00    dynamic
137.204.59.238        00-50-da-13-28-0b    dynamic
C:\>_
```

22

Analisi di direct e indirect delivery (I)

IP Sorgente: 137.204.57.174/24

```
Command Prompt
C:\>ping -n 1 137.204.57.180
Pinging 137.204.57.180 with 32 bytes of data:
Reply from 137.204.57.180: bytes=32 time<10ms TTL=128
Ping statistics for 137.204.57.180:
    Packets: Sent = 1, Received = 1, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
C:\>ping -n 1 137.204.59.234
Pinging 137.204.59.234 with 32 bytes of data:
Reply from 137.204.59.234: bytes=32 time=10ms TTL=127
Ping statistics for 137.204.59.234:
    Packets: Sent = 1, Received = 1, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 10ms, Maximum = 10ms, Average = 10ms
C:\>
```

23

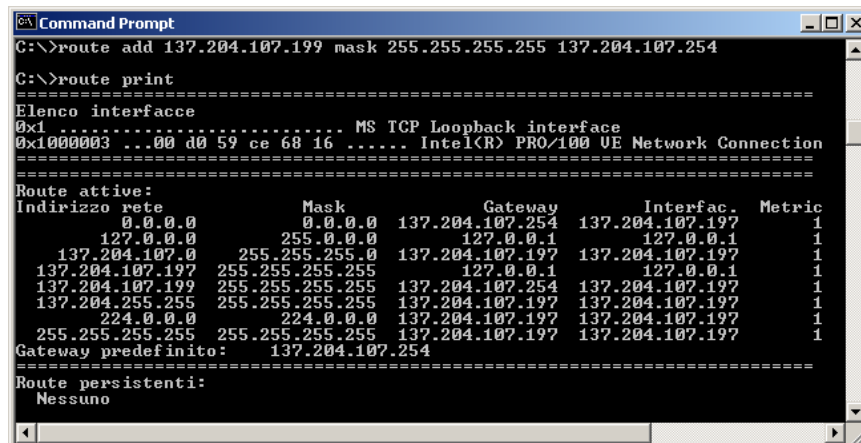
Analisi di direct e indirect delivery (II)

No. -	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	00:01:02:36:3b:f9	ff:ff:ff:ff:ff:ff	ARP	who has 137.204.57.180? Tell 137.204.57.
2	0.000346	00:10:4b:db:0a:3a	00:01:02:36:3b:f9	ARP	137.204.57.180 is at 00:10:4b:db:0a:3a
3	0.000375	137.204.57.174	137.204.57.180	ICMP	Echo (ping) request
4	0.000728	137.204.57.180	137.204.57.174	ICMP	Echo (ping) reply
5	13.660226	00:01:02:36:3b:f9	ff:ff:ff:ff:ff:ff	ARP	who has 137.204.57.254? Tell 137.204.57.
6	13.660734	00:50:54:d9:ba:00	00:01:02:36:3b:f9	ARP	137.204.57.254 is at 00:50:54:d9:ba:00
7	13.660764	137.204.57.174	137.204.59.234	ICMP	Echo (ping) request
8	13.661932	137.204.59.234	137.204.57.174	ICMP	Echo (ping) reply

24

Priorità nel lookup (I)

IP Sorgente: 137.204.107.197/24

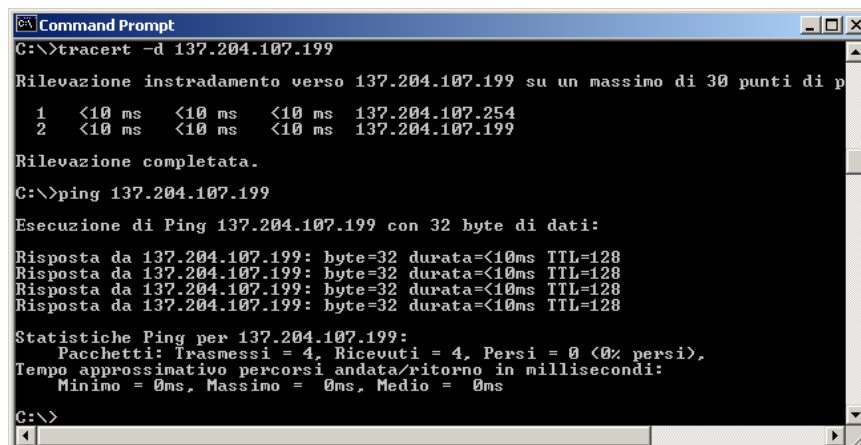


```
C:\>route add 137.204.107.199 mask 255.255.255.255 137.204.107.254
C:\>route print
=====
Elenco interfacce
0x1 ..... MS TCP Loopback interface
0x1000003 ...00 d0 59 ce 68 16 ..... Intel(R) PRO/100 UE Network Connection
=====
Route attive:
Indirizzo rete      Mask              Gateway           Interfac.  Metric
0.0.0.0             0.0.0.0           137.204.107.254  137.204.107.197  1
127.0.0.0           255.0.0.0         127.0.0.1        127.0.0.1        1
137.204.107.0       255.255.255.0     137.204.107.197  137.204.107.197  1
137.204.107.197    255.255.255.255   127.0.0.1        127.0.0.1        1
137.204.107.199    255.255.255.255   137.204.107.254  137.204.107.197  1
137.204.255.255    255.255.255.255   137.204.107.197  137.204.107.197  1
224.0.0.0           224.0.0.0         137.204.107.197  137.204.107.197  1
255.255.255.255    255.255.255.255   137.204.107.197  137.204.107.197  1
Gateway predefinito: 137.204.107.254
=====
Route persistenti:
Nessuno
```

25

Priorità nel lookup (II)

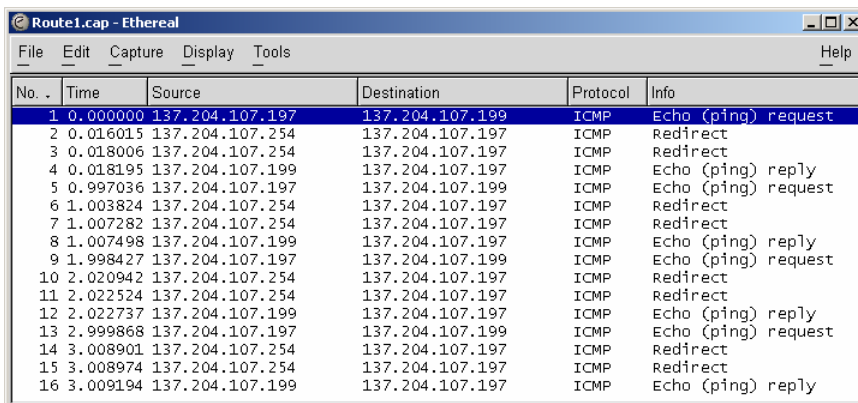
IP Sorgente: 137.204.107.197/24



```
C:\>tracert -d 137.204.107.199
Rilevazione instradamento verso 137.204.107.199 su un massimo di 30 punti di p
  1  <10 ms  <10 ms  <10 ms  137.204.107.254
  2  <10 ms  <10 ms  <10 ms  137.204.107.199
Rilevazione completata.
C:\>ping 137.204.107.199
Esecuzione di Ping 137.204.107.199 con 32 byte di dati:
Risposta da 137.204.107.199: byte=32 durata=<10ms TTL=128
Risposta da 137.204.107.199: byte=32 durata=<10ms TTL=128
Risposta da 137.204.107.199: byte=32 durata=<10ms TTL=128
Risposta da 137.204.107.199: byte=32 durata=<10ms TTL=128
Statistiche Ping per 137.204.107.199:
  Pacchetti: Trasmessi = 4, Ricevuti = 4, Persi = 0 (<0% persi).
  Tempo approssimativo percorsi andata/ritorno in millisecondi:
    Minimo = 0ms, Massimo = 0ms, Medio = 0ms
C:\>
```

26

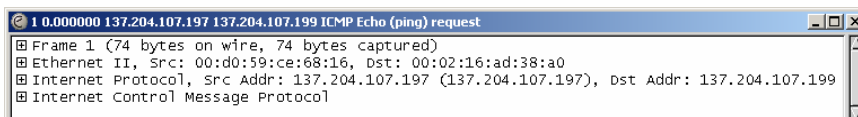
Priorità nel lookup (III)



No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	137.204.107.197	137.204.107.199	ICMP	Echo (ping) request
2	0.016015	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
3	0.018006	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
4	0.018195	137.204.107.199	137.204.107.197	ICMP	Echo (ping) reply
5	0.997036	137.204.107.197	137.204.107.199	ICMP	Echo (ping) request
6	1.003824	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
7	1.007282	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
8	1.007498	137.204.107.199	137.204.107.197	ICMP	Echo (ping) reply
9	1.998427	137.204.107.197	137.204.107.199	ICMP	Echo (ping) request
10	2.020942	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
11	2.022524	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
12	2.022737	137.204.107.199	137.204.107.197	ICMP	Echo (ping) reply
13	2.999868	137.204.107.197	137.204.107.199	ICMP	Echo (ping) request
14	3.008901	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
15	3.008974	137.204.107.254	137.204.107.197	ICMP	Redirect
16	3.009194	137.204.107.199	137.204.107.197	ICMP	Echo (ping) reply

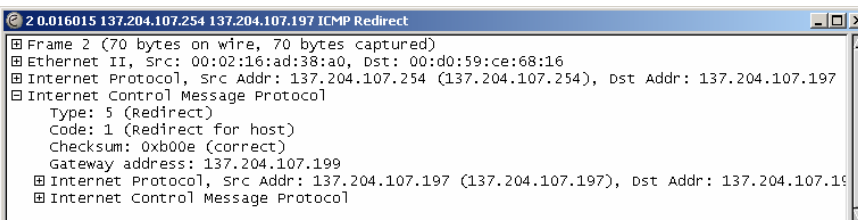
27

Priorità nel lookup (IV)



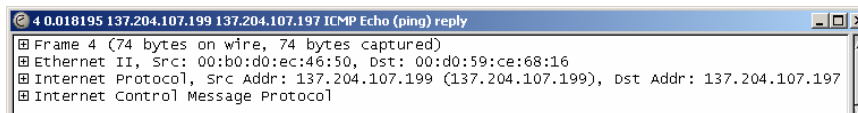
1 0.000000 137.204.107.197 137.204.107.199 ICMP Echo (ping) request

- Frame 1 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
- Ethernet II, Src: 00:d0:59:ce:68:16, Dst: 00:02:16:ad:38:a0
- Internet Protocol, Src Addr: 137.204.107.197 (137.204.107.197), Dst Addr: 137.204.107.199
- Internet Control Message Protocol



2 0.016015 137.204.107.254 137.204.107.197 ICMP Redirect

- Frame 2 (70 bytes on wire, 70 bytes captured)
- Ethernet II, Src: 00:02:16:ad:38:a0, Dst: 00:d0:59:ce:68:16
- Internet Protocol, Src Addr: 137.204.107.254 (137.204.107.254), Dst Addr: 137.204.107.197
- Internet Control Message Protocol
 - Type: 5 (Redirect)
 - Code: 1 (Redirect for host)
 - Checksum: 0xb00e (correct)
 - Gateway address: 137.204.107.199
- Internet Protocol, Src Addr: 137.204.107.197 (137.204.107.197), Dst Addr: 137.204.107.199
- Internet Control Message Protocol



4 0.018195 137.204.107.199 137.204.107.197 ICMP Echo (ping) reply

- Frame 4 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
- Ethernet II, Src: 00:b0:d0:ec:46:50, Dst: 00:d0:59:ce:68:16
- Internet Protocol, Src Addr: 137.204.107.199 (137.204.107.199), Dst Addr: 137.204.107.197
- Internet Control Message Protocol

28