



Il protocollo IP

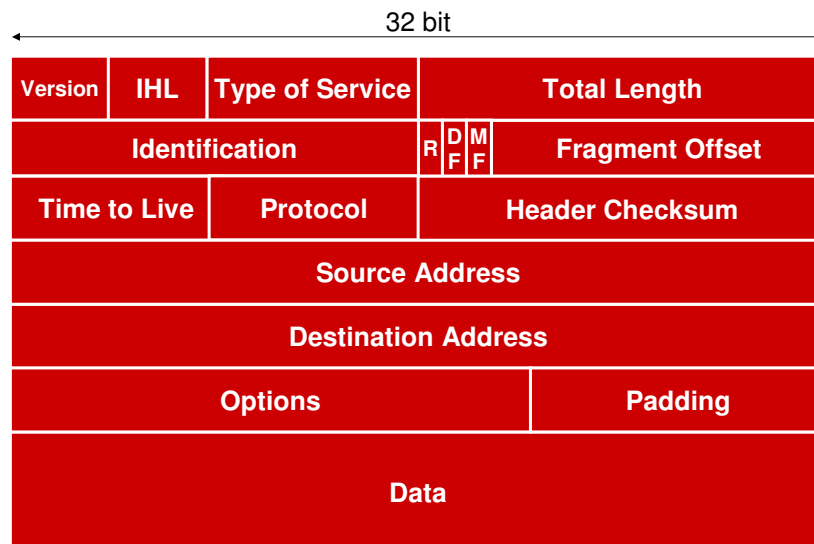
A.A. 2005/2006

Walter Cerroni

Internet Protocol (IP) - RFC 791

- Progettato per funzionare a **commutazione di pacchetto** in modalità **connectionless**
- Si prende carico della trasmissione di **datagrammi** da sorgente a destinazione, attraverso reti eterogenee
- Identifica **host** e **router** tramite indirizzi di **lunghezza fissa**, raggruppandoli in **reti IP**
- **Frammenta** e **riassembla** i datagrammi quando necessario
- Offre un servizio di tipo **best effort**, cioè non sono previsti meccanismi per
 - aumentare l'affidabilità del collegamento end-to-end,
 - eseguire il controllo di flusso e della sequenza.

Formato del pacchetto IP (1)



3

Formato del pacchetto IP (2)

- **Version** : indica il formato dell'intestazione, attualmente la versione in uso è la 4
- **IHL** : (Internet **H**ader **L**ength) lunghezza dell'intestazione, espressa in parole di 32 bit; lunghezza minima = 5
- **Type of service** : indicazione sul tipo di servizio richiesto, usato anche come indicatore di priorità
- **Total length** : lunghezza totale del datagramma, misurata in byte; lunghezza massima = 65535 byte, ma dipende dagli strati sottostanti

4

Formato del pacchetto IP (3)

- **Identification** : valore intero che identifica univocamente un datagramma; si usa per risalire al datagramma al quale appartengono i fragment
- **Flag** :
 - bit 0 reserved (**R**) sempre a 0
 - bit 1 don't fragment (**DF**)
 - DF = 0 si può frammentare
 - DF = 1 non si può frammentare
 - bit 2 more fragments (**MF**)
 - MF = 0 ultimo frammento
 - MF = 1 frammento intermedio
- **Fragment offset**: indica quale è la posizione di questo frammento nel datagramma, come distanza in unità di 64 bit dall'inizio

5

Formato del pacchetto IP (4)

- **Time to live** : tempo massimo di permanenza del datagramma nella rete, decrementato da ogni nodo che esso attraversa; il datagramma verrà distrutto dal nodo che decrementa questo valore a 0
- **Protocol** : indica a quale protocollo di livello superiore appartengono i dati contenuti nel datagramma
- **Header checksum** : controllo di errore della sola intestazione, viene ricalcolato da ogni nodo attraversato dal datagramma
- **Source and Destination Address** : indirizzi sorgente e destinazione

6

Formato del pacchetto IP (5)

- **Options** : contiene opzioni relative al trasferimento del datagramma (registrazione del percorso, meccanismi di sicurezza), è perciò di lunghezza variabile
- **Padding** : bit privi di significato aggiunti per far sì che l'intestazione sia multipla di 32 bit

7

Struttura degli indirizzi IP

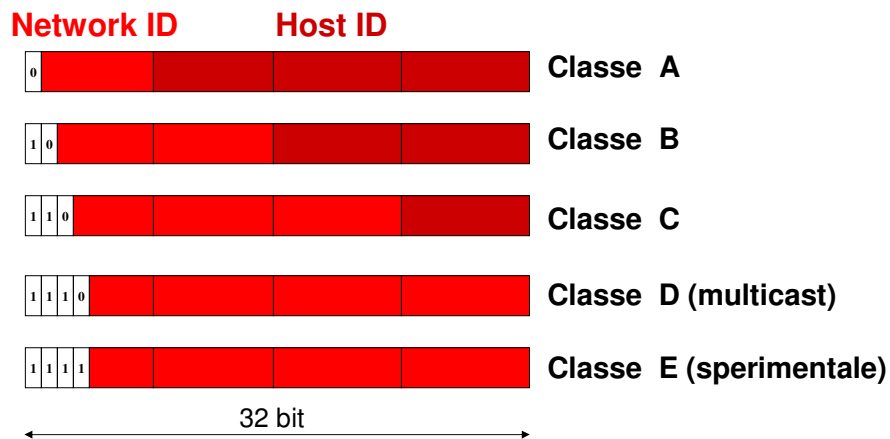
- Indirizzi di lunghezza fissa pari a **32 bit**
- Scritti convenzionalmente come sequenza di 4 numeri decimali, con valori da **0** a **255**, separati da punto (rappresentazione **dotted-decimal**)

137.204.212.1 -> 10001001.11001100.11010100.00000001

- Numero max teorico di indirizzi **$2^{32} = 4.294.967.296$** , in realtà è inferiore, come si vedrà nel seguito
- Assegnati da **ICANN** (Internet **C**orporation for **A**ssigned **N**ames and **N**umbers)
- Per mezzo di una opportuna codifica dei bit più significativi, gli indirizzi IP sono suddivisi in **classi**, che si differenziano in base alle dimensioni della rete

8

Classi di indirizzi



Network ID : identifica una rete IP
Host ID : identifica i singoli calcolatori della rete

9

Intervalli di indirizzi

- Classe A: da 0.0.0.0 a 127.255.255.255
 - Classe B: da 128.0.0.0 a 191.255.255.255
 - Classe C: da 192.0.0.0 a 223.255.255.255
 - Classe D: da 224.0.0.0 a 239.255.255.255
 - Classe E: da 240.0.0.0 a 255.255.255.255
-
- Indirizzi riservati (RFC 1700, 3927)
 - 0.0.0.0 indica l'host corrente senza specificarne l'indirizzo
 - 0.x.y.z indica un certo Host-ID sulla rete corrente senza specificare il Net-ID
 - 255.255.255.255 è l'indirizzo di **limited broadcast**
 - 127.x.y.z è il **loopback**, che redirige i datagrammi agli strati superiori dello stesso host
 - 169.254.x.y riservati per l'autoconfigurazione degli host

10

Reti IP private (RFC 1918)

- Alcuni gruppi di indirizzi sono riservati a **reti IP private**
 - Essi non sono raggiungibili dalla **rete IP pubblica**
 - I router di Internet non instradano datagrammi destinati a tali indirizzi
 - Possono essere riutilizzati in reti isolate
- da 10.0.0.0 a 10.255.255.255
 - da 172.16.0.0 a 172.31.255.255
 - da 192.168.0.0 a 192.168.255.255

11

Indirizzi e interfacce di rete

- L'indirizzo IP identifica sia la rete sia l'host
- In realtà si riferisce ad una delle interfacce di rete dell'host
- Non identifica un host individuale, ma una interfaccia di rete
- **Multi-homed host**: host con due o più interfacce di rete → usa più indirizzi IP
- Un router che collega N reti ha almeno N distinti indirizzi IP, uno per ogni interfaccia di rete
- Le interfacce hanno anche indirizzi fisici, in base al protocollo di strato 2 adottato

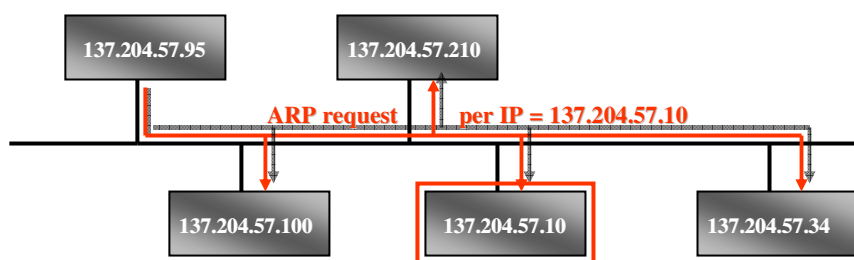
12

Relazione Indirizzi Fisici – Indirizzi IP

- Software di basso livello nasconde gli indirizzi fisici e consente ai livelli superiori di lavorare solo con indirizzi IP
- Gli host comunicano attraverso una **rete fisica** (ad es. LAN) quindi devono conoscere reciprocamente gli indirizzi fisici
- L'host A vuole mandare datagrammi a B, che si trova sulla stessa rete fisica e di cui conosce solo l'indirizzo IP
- Come si ottiene l'indirizzo fisico di B dato il suo indirizzo IP?

13

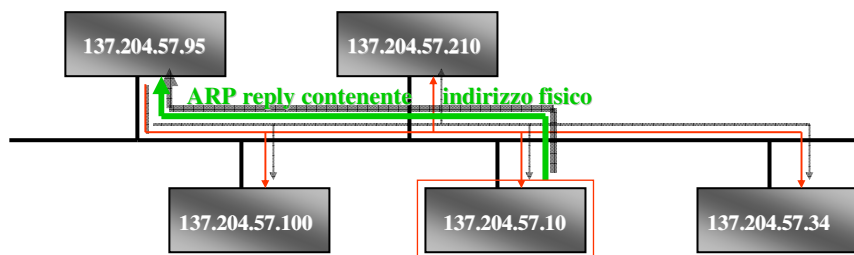
Address Resolution Protocol – ARP (RFC 826)



- Il nodo sorgente invia una trama broadcast (**ARP request**) contenente l'indirizzo IP del nodo destinazione
- Tutte le stazioni della rete locale leggono la trama broadcast

14

Address Resolution Protocol – ARP



- Il destinatario risponde al mittente, inviando un messaggio (**ARP reply**) che contiene il proprio indirizzo fisico
- Con questo messaggio l'host sorgente è in grado di associare l'appropriato indirizzo fisico all'IP destinazione
- Ogni host mantiene una tabella (**cache ARP**) con le corrispondenze fra indirizzi logici e fisici

15

Comando ARP

arp -a

visualizza il contenuto della cache ARP con le diverse corrispondenze tra indirizzi IP e MAC

16

Comando ARP – Esempio

```
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
137.204.57.180        00-10-4b-db-0a-3a    dynamic
137.204.57.181        00-30-c1-d5-ee-9b    dynamic
137.204.57.254        00-50-54-d9-ba-00    dynamic

C:\>ping -n 1 137.204.57.177
Pinging 137.204.57.177 with 32 bytes of data:
Reply from 137.204.57.177: bytes=32 time<10ms TTL=128

Ping statistics for 137.204.57.177:
    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
137.204.57.177        00-b0-d0-ec-46-62    dynamic
137.204.57.180        00-10-4b-db-0a-3a    dynamic
137.204.57.181        00-30-c1-d5-ee-9b    dynamic
137.204.57.254        00-50-54-d9-ba-00    dynamic

C:\>_
```

17

Comando IPCONFIG

ipconfig /all

visualizza la configurazione IP corrente di ciascuna interfaccia di rete presente nella macchina:

- indirizzo MAC
- indirizzo IP
- subnet mask
- default gateway
- server DNS
- ...

Su Windows 9x: **winipcfg**

Su UNIX/LINUX: **ifconfig**

18

Comando IPCONFIG – Esempio

```
Command Prompt
C:\>ipconfig /all

Windows 2000 IP Configuration

    Host Name . . . . . : deis174
    Primary DNS Suffix . . . . . : Deis-reti.local
    Node Type . . . . . : Hybrid
    IP Routing Enabled. . . . . : No
    WINS Proxy Enabled. . . . . : No
    DNS Suffix Search List. . . . . : Deis-reti.local

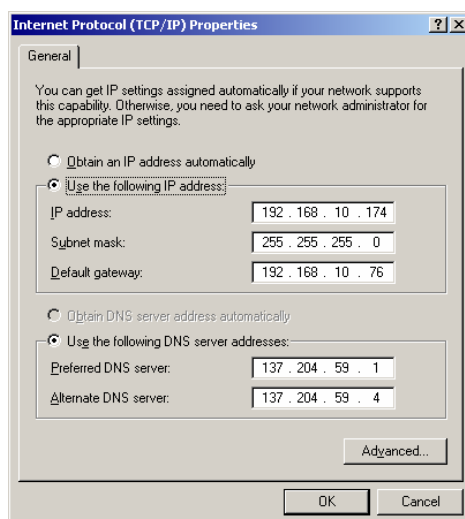
Ethernet adapter Local Area Connection:

    Connection-specific DNS Suffix . . : 
    Description . . . . . : 3Com EtherLink XL 10/100 PCI For Com
    plete PC Management NIC (3C905C-1X)
    Physical Address. . . . . : 00-01-02-36-3B-F9
    DHCP Enabled. . . . . : No
    IP Address. . . . . : 137.204.57.174
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 137.204.57.254
    DNS Servers . . . . . : 137.204.57.177
                           137.204.59.1
                           137.204.59.2
    Primary WINS Server . . . . . : 137.204.59.1

C:\>_
```

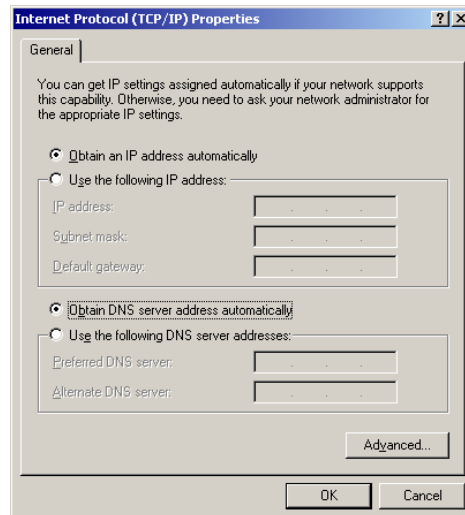
19

Configurazione manuale dei parametri IP



20

Configurazione automatica dei parametri IP



21

DHCP – RFC 2131,2132

Dynamic Host Configuration Protocol

Configurazione **automatica** e **dinamica** di

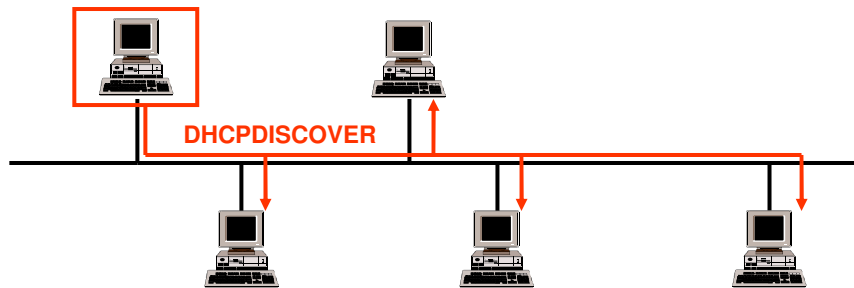
- Indirizzo IP
- Netmask
- Broadcast
- Host name
- Default gateway
- Server DNS

Server su porta **67** UDP

22

DHCP (1)

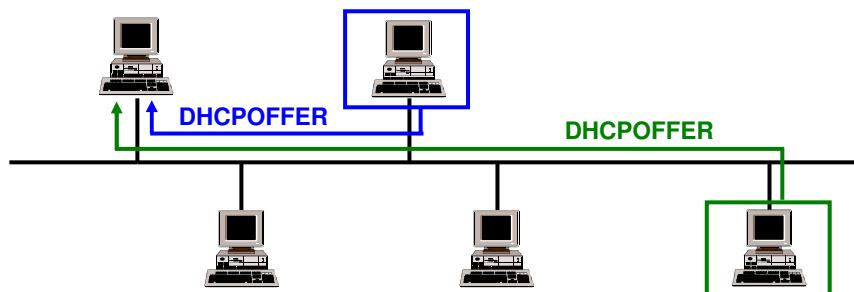
- Quando un host attiva l'interfaccia di rete, invia in modalità broadcast un messaggio **DHCPDISCOVER** in cerca di un server DHCP



23

DHCP (2)

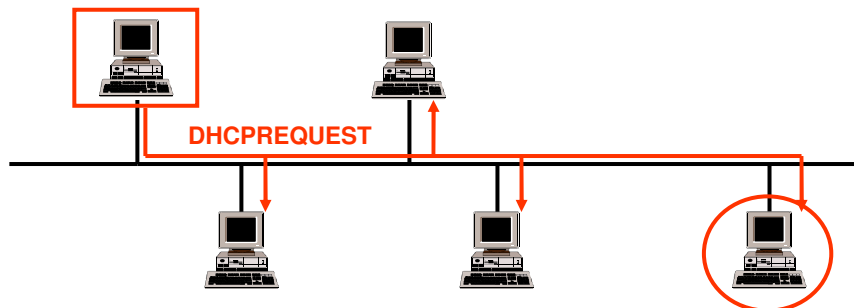
- Ciascun server DHCP presente risponde all'host con un messaggio **DHCPOFFER** con cui propone un indirizzo IP



24

DHCP (3)

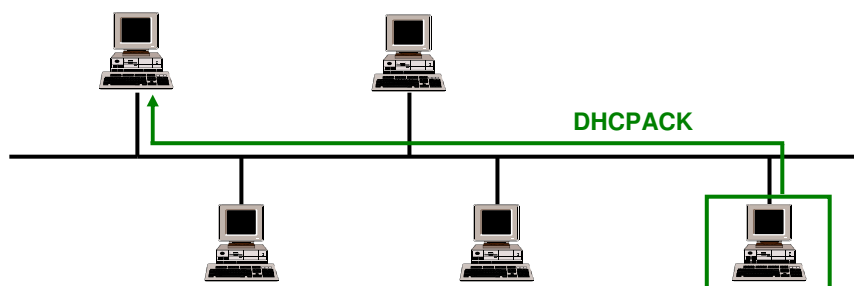
- L'host accetta una delle offerte proposte dai server e manda un messaggio broadcast **DHCPREQUEST** in cui richiede la configurazione, specificando il server



25

DHCP (4)

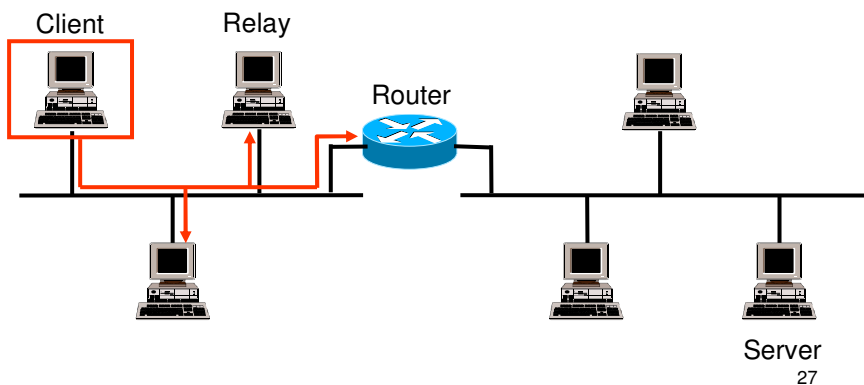
- Il server DHCP risponde all'host con un messaggio **DHCPACK** specificando i parametri di configurazione



26

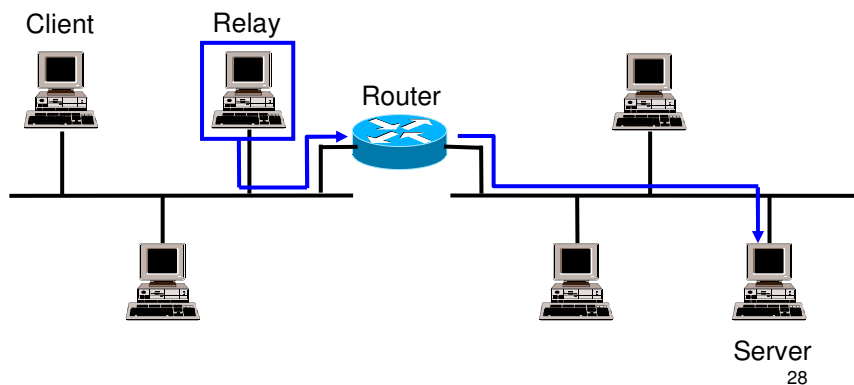
DHCP relay (1)

- DHCP funziona anche tra reti diverse, tramite un agente di inoltro (**relay agent**)
- Il router non inoltra i broadcast
- Il relay agent intercetta le richieste...



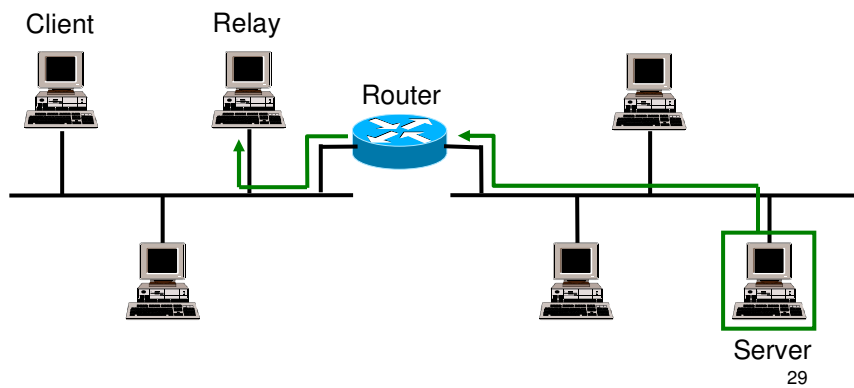
DHCP relay (2)

- ...e le inoltra direttamente al server...



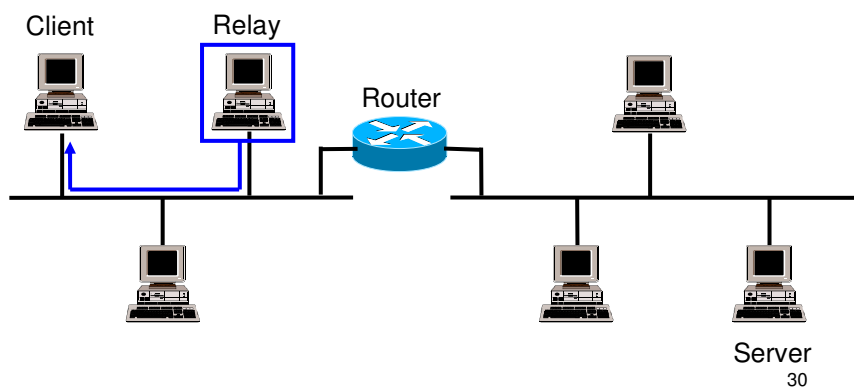
DHCP relay (3)

- ...che risponde al relay agent...



DHCP relay (4)

- ...che le reindirizza al client.

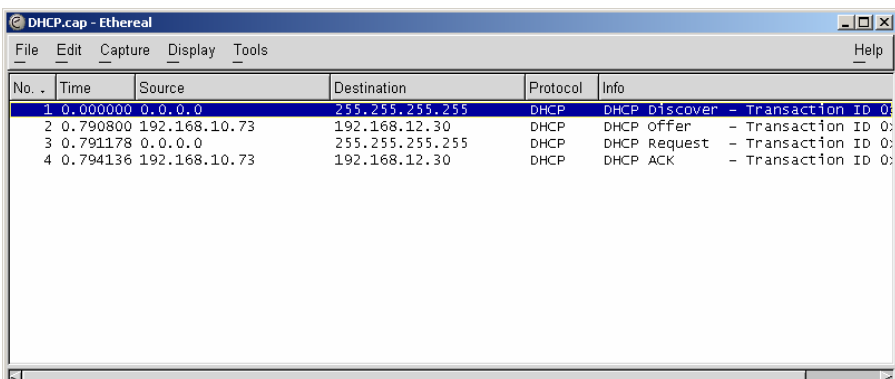


DHCP leasing

- DHCP permette l'allocazione dinamica degli indirizzi IP
- Host diversi possono utilizzare lo stesso indirizzo in tempi diversi
- L'allocazione deve essere limitata ad un intervallo temporale stabilito dal server, eventualmente rinnovabile
- Quando un host viene spento o disconnesso deve rilasciare l'indirizzo e renderlo disponibile per una nuova allocazione
- Il rilascio può essere esplicito (**DHCPRELEASE**) o avvenire allo scadere del periodo di lease
- Il tempo di lease è uno dei parametri forniti dal server nel DHCP OFFER

31

Analisi di una transazione DHCP



The screenshot shows a Wireshark capture window titled "DHCP.cap - Ethereal". The interface includes a menu bar (File, Edit, Capture, Display, Tools, Help) and a packet list table. The table contains four entries representing a DHCP transaction:

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	DHCP Discover - Transaction ID 0:
2	0.790800	192.168.10.73	192.168.12.30	DHCP	DHCP Offer - Transaction ID 0:
3	0.791178	0.0.0.0	255.255.255.255	DHCP	DHCP Request - Transaction ID 0:
4	0.794136	192.168.10.73	192.168.12.30	DHCP	DHCP ACK - Transaction ID 0:

32

DHCPDISCOVER

```
1 0.000000 0.0.0.0 255.255.255.255 DHCP DHCP Discover - Transaction ID 0xf7624b04
  Frame 1 (342 bytes on wire, 342 bytes captured)
  Ethernet II, Src: 00:d0:59:ce:68:16, Dst: ff:ff:ff:ff:ff:ff
  Internet Protocol, Src Addr: 0.0.0.0 (0.0.0.0), Dst Addr: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
  User Datagram Protocol, Src Port: bootpc (68), Dst Port: bootps (67)
  Bootstrap Protocol
    Message type: Boot Request (1)
    Hardware type: Ethernet
    Hardware address length: 6
    Hops: 0
    Transaction ID: 0xf7624b04
    Seconds elapsed: 0
  Bootp flags: 0x0000 (unicast)
    Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Client hardware address: 00:d0:59:ce:68:16
    Server host name not given
    Boot file name not given
    Magic cookie: (OK)
    Option 53: DHCP Message Type = DHCP Discover
    Unknown Option Code: 251 (1 bytes)
  Option 61: client identifier
    Hardware type: Ethernet
    Client hardware address: 00:d0:59:ce:68:16
  Option 50: Requested IP Address = 192.168.10.90
  Option 12: Host Name = "LAP-WALTER"
  Option 60: Vendor class Identifier = "MSFT 5.0"
  Option 55: Parameter Request List
    1 = Subnet Mask
    15 = Domain Name
    3 = Router
    6 = Domain Name Server
    44 = NetBIOS over TCP/IP Name Server
    46 = NetBIOS over TCP/IP Node Type
    47 = NetBIOS over TCP/IP Scope
    31 = Perform Router Discover
    33 = Static Route
    43 = Vendor-specific Information
  End option
  Padding
```

33

DHCPOFFER

```
2 0.790800 192.168.10.73 192.168.12.30 DHCP DHCP Offer - Transaction ID 0xf7624b04
  Frame 2 (342 bytes on wire, 342 bytes captured)
  Ethernet II, Src: 00:08:74:1a:3b:d0, Dst: 00:d0:59:ce:68:16
  Internet Protocol, Src Addr: 192.168.10.73 (192.168.10.73), Dst Addr: 192.168.12.30 (192.168.12.30)
  User Datagram Protocol, Src Port: bootps (67), Dst Port: bootpc (68)
  Bootstrap Protocol
    Message type: Boot Reply (2)
    Hardware type: Ethernet
    Hardware address length: 6
    Hops: 0
    Transaction ID: 0xf7624b04
    Seconds elapsed: 0
  Bootp flags: 0x0000 (unicast)
    Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Your (client) IP address: 192.168.12.30 (192.168.12.30)
    Next server IP address: 192.168.10.73 (192.168.10.73)
    Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Client hardware address: 00:d0:59:ce:68:16
    Server host name not given
    Boot file name not given
    Magic cookie: (OK)
    Option 53: DHCP Message Type = DHCP Offer
    Option 54: Server Identifier = 192.168.10.73
    Option 51: IP Address Lease Time = 1 hour
    Option 1: Subnet Mask = 255.255.255.0
    Option 3: Router = 192.168.12.254
  Option 6: Domain Name Server
    IP Address: 192.168.12.1
    IP Address: 192.168.12.2
  End option
  Padding
```

34

DHCPREQUEST

```
3 0.791178 0.0.0.0 255.255.255.255 DHCP DHCP Request - Transaction ID 0xf7624b04
  Frame 3 (357 bytes on wire, 357 bytes captured)
  Ethernet II, Src: 00:d0:59:ce:68:16, Dst: ff:ff:ff:ff:ff:ff
  Internet Protocol, Src Addr: 0.0.0.0 (0.0.0.0), Dst Addr: 255.255.255.255 (255.255.255.255)
  User Datagram Protocol, Src Port: bootpc (68), Dst Port: bootps (67)
  Bootstrap Protocol
    Message type: Boot Request (1)
    Hardware type: Ethernet
    Hardware address length: 6
    Hops: 0
    Transaction ID: 0xf7624b04
    Seconds elapsed: 0
    Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
    Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Your (client) IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Next server IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Client hardware address: 00:d0:59:ce:68:16
    Server host name not given
    Boot file name not given
    Magic cookie: (OK)
    Option 53: DHCP Message Type = DHCP Request
    Option 61: Client Identifier
      Hardware type: Ethernet
      Client hardware address: 00:d0:59:ce:68:16
    Option 50: Requested IP Address = 192.168.12.30
    Option 54: Server Identifier = 192.168.10.73
    Option 12: Host Name = "LAP-WALTER"
    Option 81: Client Fully qualified Domain Name (14 bytes)
    Option 60: Vendor class identifier = "MSFT 5.0"
    Option 55: Parameter Request List
      1 = Subnet Mask
      15 = Domain Name
      3 = Router
      6 = Domain Name Server
      44 = NetBIOS over TCP/IP Name Server
      46 = NetBIOS over TCP/IP Node Type
      47 = NetBIOS over TCP/IP Scope
      32 = Perform Router Discover
      33 = Static Route
      43 = Vendor-specific Information
    End option
```

35

DHCPACK

```
4 0.794136 192.168.10.73 192.168.12.30 DHCP DHCP ACK - Transaction ID 0xf7624b04
  Frame 4 (342 bytes on wire, 342 bytes captured)
  Ethernet II, Src: 00:08:74:1a:3b:d0, Dst: 00:d0:59:ce:68:16
  Internet Protocol, Src Addr: 192.168.10.73 (192.168.10.73), Dst Addr: 192.168.12.30 (192.168.12.30)
  User Datagram Protocol, Src Port: bootps (67), Dst Port: bootpc (68)
  Bootstrap Protocol
    Message type: Boot Reply (2)
    Hardware type: Ethernet
    Hardware address length: 6
    Hops: 0
    Transaction ID: 0xf7624b04
    Seconds elapsed: 0
    Bootp flags: 0x0000 (Unicast)
    Client IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Your (client) IP address: 192.168.12.30 (192.168.12.30)
    Next server IP address: 192.168.10.73 (192.168.10.73)
    Relay agent IP address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
    Client hardware address: 00:d0:59:ce:68:16
    Server host name not given
    Boot file name not given
    Magic cookie: (OK)
    Option 53: DHCP Message Type = DHCP ACK
    Option 54: Server Identifier = 192.168.10.73
    Option 51: IP Address Lease Time = 1 hour
    Option 1: Subnet Mask = 255.255.255.0
    Option 3: Router = 192.168.12.254
    Option 6: Domain Name Server
      IP Address: 192.168.12.1
      IP Address: 192.168.12.2
    End option
    Padding
```

36

Configurazione ottenuta

```
D:\Download\PSTOOLS>ipconfig /all
Configurazione IP di Windows 2000

Nome host . . . . . : LAP-WALTER
Suffisso DNS primario . . . . . :
Tipo nodo . . . . . : Ibrido
IP Routing abilitato . . . . . : No
WINS Proxy abilitato . . . . . : No

- Scheda Ethernet Connessione alla rete locale (LAN):

Suffisso DNS specifico connessione:
Descrizione . . . . . : Intel(R) PRO/100 UE Network Connection
Indirizzo fisico . . . . . : 00-D0-59-CE-68-16
DHCP abilitato . . . . . : Sì
Configurazione automat. abilitata : Sì
Indirizzo IP . . . . . : 192.168.12.30
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
Gateway predefinito . . . . . : 192.168.12.254
Server DHCP . . . . . : 192.168.10.73
Server DNS . . . . . : 192.168.12.1
                          192.168.12.2
Server WINS primario . . . . . : 192.168.10.76
Lease ottenuto . . . . . : Thursday, January 22, 2004 4:34:40 PM
Scadenza lease . . . . . : Thursday, January 22, 2004 5:34:40 PM

D:\Download\PSTOOLS>_
```

37

Autoconfigurazione locale

- Ci sono alcune situazioni in cui:
 - non si conoscono i parametri di configurazione IP da usare
 - non è presente un server DHCP
- Ad esempio quando si vogliono connettere due PC
 - back to back
 - tramite un hub
 - tramite un collegamento wireless
- Gli indirizzi del tipo **169.254.x.y** sono destinati all'autoconfigurazione locale (**zeroconf**) (RFC 3927)
 - si configura l'interfaccia come se dovesse usare il DHCP
 - in assenza di un server il **DHCPDISCOVER** va in time-out
 - si genera un indirizzo IP a caso del tipo **169.254.x.y**
 - si verifica che l'indirizzo generato non sia già usato (ARP request), altrimenti se ne genera un altro e si ripete la verifica

38

Problematiche dell'indirizzamento IP

- Indirizzi riferiti alla rete di appartenenza
 - se un host viene spostato in un'altra rete, il suo indirizzo IP deve cambiare
- Limitata mobilità degli host
 - utile un meccanismo di configurazione automatica come DHCP
- Dimensioni delle reti prefissate
 - utili le tecniche di subnetting e CIDR
- Data l'enorme diffusione di Internet, il numero di indirizzi possibili è troppo basso
 - utile l'adozione di reti IP private e di tecniche di NAT