

## Livello Network e protocollo IP

Davide Quaglia

1

## Motivazioni

- Necessità di far comunicare diversi tipi di reti di livello 2
  - Diversi mezzi trasmissivi
  - Diversi formati di Datalink PDU
  - Diverse dimensioni max di PDU (Max Transfer Unit – MTU)
  - Diversi formati di indirizzi (o assenti)
  - Presenza di percorsi multipli per aumentare l'affidabilità

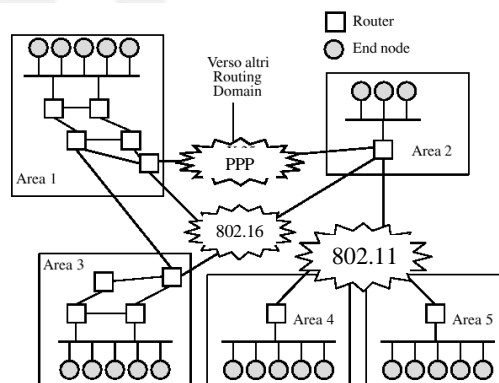
2

## Funzionalità del livello network

- Aggregazione di reti di livello 2 per creare reti molto grosse (fino a Internet mondiale)
- Indirizzamento delle stazioni indipendente dallo standard di livello 2
- Routing: trovare la strada (migliore) tra due nodi qualsiasi della rete globale
- Gestione delle diverse MTU mediante frammentazione e riassemblaggio

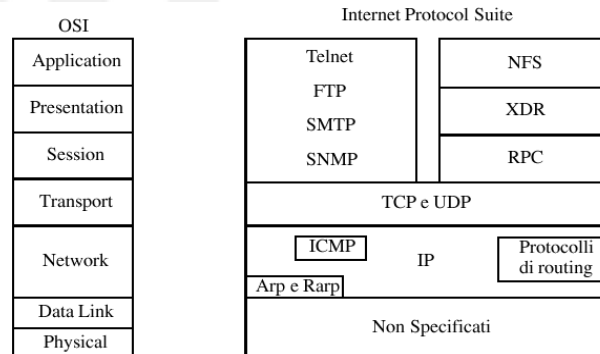
3

## Aggregazione di reti di liv. 2



4

## Architettura TCP/IP



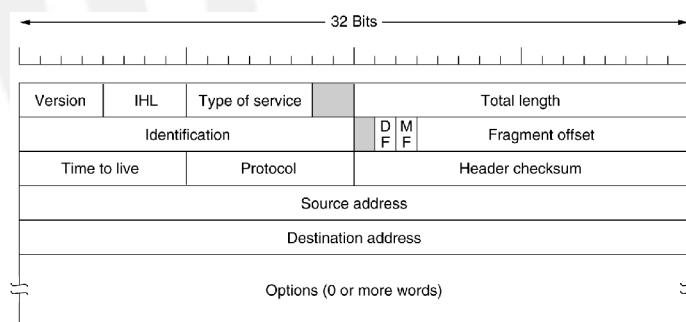
## Internet Protocol (IP)

- Negli anni 70' DARPA progetta ARPANET
- Internet Engineering Task Force (IETF)
- Request for Comment (RFC)
  - RFC 791 descrive IP
- Internet = Inter Networking = come far parlare due nodi che non si vedono a livello 2

## Internet Protocol (2)

- Indirizzamento dei nodi
- Servizio connectionless: ogni PDU è indipendente dalle altre
- Routing
- Altre funzionalità:
  - Frammentazione
  - Rilevazione debole degli errori (solo checksum dell'header della Network PDU)
  - Forwarding (host+router+reti di livello 2)

## Formato dell'header del pacchetto IP



## Indirizzi

- Assegnati alle interfacce (e non alle macchine !)
- 32 bit divisi tra Network e Interface
- Determinazione della parte Network
  - Automatica mediante suddivisione in 5 classi di indirizzi
  - Manuale mediante utilizzo di network bitmask (netmask)

## Classi degli indirizzi IP

32 Bits				Range of host addresses
Class				
A	0	Network	Host	1.0.0.0 to 127.255.255.255
B	10	Network	Host	128.0.0.0 to 191.255.255.255
C	110	Network	Host	192.0.0.0 to 223.255.255.255
D	1110	Multicast address		224.0.0.0 to 239.255.255.255
E	1111	Reserved for future use		240.0.0.0 to 255.255.255.255

## Indirizzi IP speciali

0 0	This host
0 0 . . . 0 0 Host	A host on this network
1 1	Broadcast on the local network
Network 1 1 1 1 . . . 1 1 1 1	Broadcast on a distant network
01111111 (Anything)	Loopback interface = default interface of my machine
Network 0000 ..... 0000	A given network globally considered without specifying a particular host

## Notazione decimale "dotted"

- Elencare 32 bit può essere scomodo
- I 32 bit vengono raggruppati in 4 numeri da 8 bit (intervallo 0-255) che vengono scritti
  - In base 10
  - Separati da punti
- Esempio:
 

01111111 00000000 00000000 00000001 -->  
 127.0.0.1 (interfaccia di loopback = l'interfaccia di default della propria macchina)

## Netmask

130.192.16.15 --> indirizzo di classe B  
 Net: 130.192.0.0 Host: 0.0.16.15

130.192.16.15 + "11111111 11111111 11110000 00000000"  
 --> Net: 130.192.240.0 Host: 0.0.15.15

Si può anche scrivere 130.192.16.15/20

- Se non si specifica la netmask vale la lunghezza del prefisso determinata dalla classe dell'indirizzo
- La netmask viene usata per suddividere grossi lotti di indirizzi in lotti più piccoli (subnetting)

## Primo livello di routing

- Ogni host conosce:
  - Il proprio IP
  - La lunghezza della parte network (ufficiale o netmask)
  - IP di un router (default GW)
- Si confronta la parte dell'IP destinatario corrispondente alla parte network del proprio IP. Si verificano due casi:
  - Uguali: raggiungibilità diretta sulla rete di livello 2
  - Diversi: occorre spedire il pacchetto al default gateway

## Primo livello di routing (2)

- Subnet IP = insieme di tutte le interfacce con lo stesso prefisso IP (per lunghezza e per valore)
- Subnet IP  $\subseteq$  rete di livello 2
- L'indirizzo del default GW impostato sul mio host deve essere nella stessa subnet e quindi avere lo stesso prefisso del mio IP
  - /sbin/ifconfig -a ---> IP e eventuale netmask
  - /sbin/route ---> IP del default GW

15

## Address Resolution Protocol (ARP)

Formato di un frame MAC per l'invio di un pacchetto IP tra 2 host (da A a B) della stessa sottorete IP:

Ignoto	Noto		Noto	Noto		
MAC B	MAC A	0x0800	IP A	IP B	...	CRC
DMAC	SMAC					

Per conoscere l'indirizzo MAC di B la stazione A usa l'Address Resolution Protocol (ARP)

16



## ARP (2)

- A invia la richiesta Address Resolution Protocol in un frame MAC broadcast:

FFFFFFFFFFFF	MAC A	PT = ARP	Chi ha IP B?	CRC
--------------	-------	----------	--------------	-----

ARP

- Solo B risponde con:

MAC A	MAC B	PT = ARP	Sono io!	CRC
-------	-------	----------	----------	-----

- A può spedire il pacchetto IP
- A mette la terna (MAC B, IP B, timestamp) in una cache per usarla le volte successive
  - le righe più vecchie di 15 minuti vengono eliminate

17

## ARP (3)

Se A e B non appartengono alla stessa sottorete allora A deve mandare il pacchetto al default gateway.

Formato di un frame MAC per l'invio di un pacchetto IP al default gateway:

<b>Ignoto</b>	<b>Noto</b>		<b>Noto</b>	<b>Noto</b>		
MAC GW	MAC A	0x0800	IP A	IP B	...	CRC

DMAC      SMAC

Per conoscere l'indirizzo MAC del default gateway la stazione A usa l'Address Resolution Protocol (ARP)

18

## ARP (4)

- Richiesta ARP broadcast per l'indirizzo MAC corrispondente all'IP del default GW

FFFFFFFF	MAC A	PT = ARP	Chi ha IP GW?	CRC
----------	-------	----------	---------------	-----

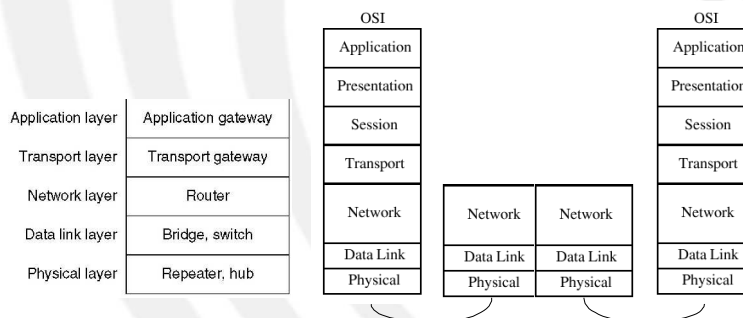
- Il default GW risponde:

MAC A	MAC GW	PT = ARP	Sono io!	CRC
-------	--------	----------	----------	-----

- La stazione memorizza la terna ( MAC GW, IP GW, timestamp) nella cache ARP

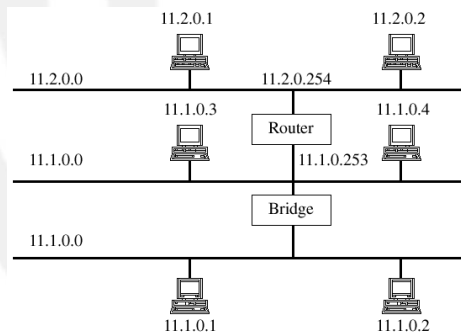
**Il traffico broadcast è notevole in una rete 802.X/Ethernet su cui c'è il protocollo IP !**

## Router



Un router lavora a livello Network

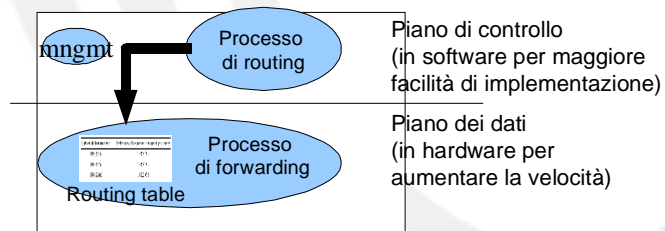
## Router e switch/bridge



21

## Architettura di un router

- Il routing è diverso dal forwarding
- Marche: Cisco, Juniper, HP, ...



22

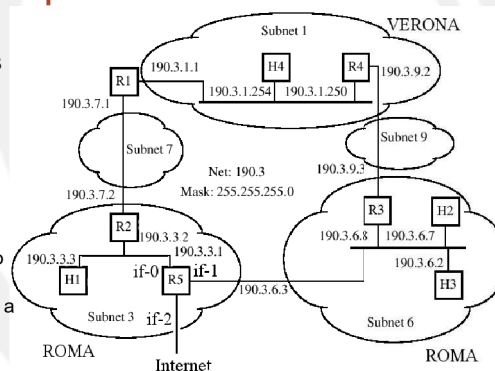
## Tabella di instradamento

- Due colonne:
  - rete di destinazione
  - interfaccia di uscita
- Una riga per ogni sotto-rete a cui il router non è collegato direttamente
  - possibilità di accorpare più destinazioni che escono dalla stessa interfaccia
- Possibilità di impostare una default route (= “tutte le altre direzioni”)
- Non si specificano le sotto-reti di destinazione in cui il router ha delle interfacce (conoscenza diretta)

23

## Esempio di rete IP

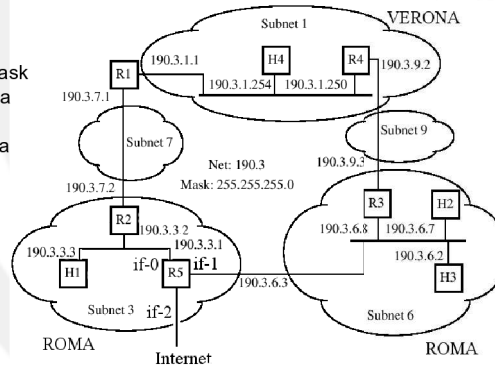
- Azienda con 2 sedi lontane
- Acquisizione di lotto classe B 190.3.0.0
- Ulteriore subnetting con netmask 255.255.255.0 per creare delle sottoreti:
  - Verona sede
  - Roma produzione
  - Roma commerciale
- Affitto di 2 canali punto-punto
  - 1 canale 5 Mb/s flat
  - 1 canale 5 Mb/s tariffato a tempo da usare solo in caso di backup
- L'uscita su Internet avviene a Roma



24

## Esempio di rete IP

- Tutte le interfacce devono avere IP con la stessa netmask
- I router non appartengono a nessuna sotto-rete
- Tra 2 router c'è sempre una sotto-rete con almeno due indirizzi
- Ogni interfaccia di ciascun router ha associato
  - Un IP
  - Una netmask
  - Un default GW

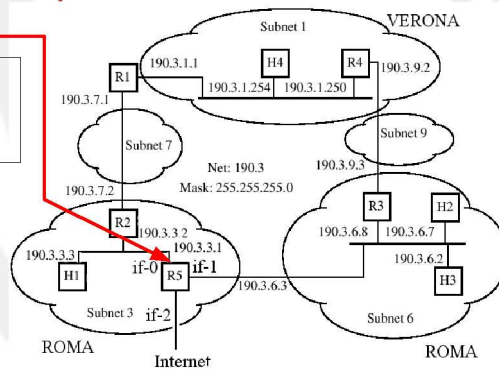


25

## Esempio di rete IP

Tabella di instradamento

190.3.1.0		if-0
190.3.7.0		if-0
190.3.9.0		if-1
default		if-2



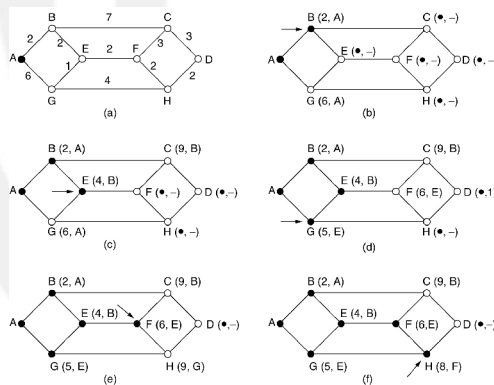
26

## Routing dinamico e distribuito

- Non esiste un punto della rete privilegiato che gestisce il calcolo dei percorsi
- Tutti i router si scambiano periodicamente dei pacchetti con le informazioni sulla loro raggiungibilità e il relativo costo (ad es. numero di router da attraversare)
- Ciascun router, in base alle info ricevute, si calcola la propria tabella di routing
- La periodicità garantisce l'adattamento a cambiamenti della topologia
  - Quando i router sono numerosi la probabilità di disservizio non è trascurabile

27

## Albero dei cammini minimi



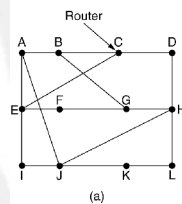
28

## Tecnica del Distance Vector

- Ciascun router deve:
  1. Compilare una tabella dove indica le distanze verso tutti gli altri router
  2. Trasmettere tale tabella ai router adiacenti
  3. Utilizzare le tabelle ricevute dai router adiacenti per aggiornare la propria tabella
  4. Ripetere i passi 2 e 3 finché la tabella non è stabile

29

## Esempio di Distance Vector



(a)

To	A	I	H	K	New estimated delay from J
A	0	24	20	21	8 A
B	12	36	31	28	20 A
C	25	18	19	36	28 I
D	40	27	8	24	20 H
E	14	7	30	22	17 I
F	23	20	19	40	30 I
G	18	31	6	31	18 H
H	17	20	0	19	12 H
I	21	0	14	22	10 I
J	9	11	7	10	0 -
K	24	22	22	0	6 K
L	29	33	9	9	15 K

JA delay is 8	JI delay is 10	JH delay is 12	JK delay is 6
---------------	----------------	----------------	---------------

Vectors received from J's four neighbors

Line	8 A
Line	20 A
Line	28 I
Line	20 H
Line	17 I
Line	30 I
Line	18 H
Line	12 H
Line	10 I
Line	0 -
Line	6 K
Line	15 K

New routing table for J

(b)

(a) Una rete (b) Input da A, I, H, K e la nuova tabella di routing per J.

30

## Limite del Distance Vector

A	B	C	D	E	
•	•	•	•	•	Initially
1	•	•	•	•	After 1 exchange
1	2	•	•	•	After 2 exchanges
1	2	3	•	•	After 3 exchanges
1	2	3	4	•	After 4 exchanges

(a)

A	B	C	D	E	
•	1	2	3	4	Initially
•	3	2	3	4	After 1 exchange
•	3	4	3	4	After 2 exchanges
•	5	4	5	4	After 3 exchanges
•	5	6	5	6	After 4 exchanges
•	7	6	7	6	After 5 exchanges
•	7	8	7	8	After 6 exchanges
•	•	•	•	•	•

(b)

Occorre impostare un limite arbitrario per terminare il conteggio (per il RIP tale limite è 16)

## Pro e contro del Distance Vector

- Facile implementazione (algoritmo di Bellman-Ford)
- Complessità elevata
- Lenta convergenza
- Difficile diagnostica perché nessun router ha la mappa della rete

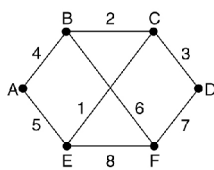


## Tecnica Link State

- Ciascun router deve:
  1. Conoscere quali sono le reti direttamente raggiungibili dalle sue interfacce
  2. Misurare il costo dei link alle reti adiacenti
  3. Costruire un pacchetto con tali informazioni
  4. Spedirlo a tutti gli altri router della rete
  5. Ricevere analoghi pacchetti dagli altri router
  6. Costruire l'albero dei cammini minimi a partire da tali informazioni

33

## Esempio di Link State



(a)

(a) Una rete

Link		State		Packets	
A	B	C	D	E	F
Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.
Age	Age	Age	Age	Age	Age
B 4	A 4	B 2	C 3	A 5	B 6
E 5	C 2	D 3	F 7	C 1	D 7
	F 6	E 1		F 8	E 8

(b)

(b) Pacchetti link state

34

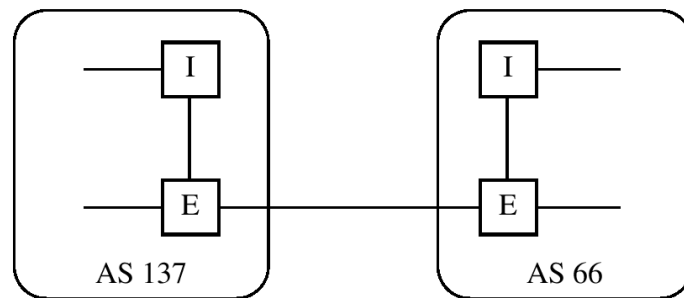
## Pro e contro del Link State

- Maggiore complessità (algoritmo di Dijkstra)
- Veloce convergenza
- Migliore diagnostica (ogni router ha un grafo dell'intera rete con annesso albero dei cammini minimi)

## Autonomous System

- Insieme di reti IP sotto un'unica autorità
- Numerazione intera e univoca a livello mondiale
- Interior Gateway Protocol (IGP): usato all'interno di un AS
  - All'interno di un AS tutti i router usano lo stesso tipo di protocollo IGP
- Exterior Gateway Protocol (EGP): usato tra reti di diversi AS

## Autonomous System



E: Exterior router  
I: Interior router

37

## Protocolli di routing in Internet

- Interior Gateway Protocols (IGP):
  - Distance vector: RIP, RIP2, IGRP
  - Link state: Open Shortest Path First (OSPF)
- Exterior Gateway Protocol (EGP):
  - Border Gateway Protocol (BGP)
- Criterio di ottimalità di cammino:
  - Numero di hop (numero di router attraversati)

38

## Internet Control Message Protocol (ICMP)

- Imbustato dentro il pacchetto IP
- Messaggi di supporto al funzionamento IP:
  - Anomalie
  - Raggiungibilità
  - Miglioramento routing (redirect)
- Funzionamento di PING
- Funzionamento di TRACE ROUTE

## Trace Route

- 3 messaggi ICMP
  - Echo Request
  - Echo Reply
  - Host Unreacheable
- Time to Live (TTL)

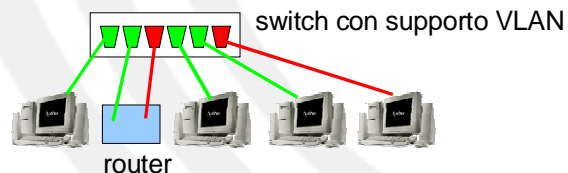
## Virtual LAN

- Gli switch separano domini di collisione ma non di multicast/broadcast:
  - Protocollo ARP e malfunzionamenti generano traffico broadcast che occupa inutilmente banda
- Problemi di sicurezza:
  - Selective flooding nel transitorio
  - Possibilità di poisoning
- Soluzione: partizionamento di una LAN in tante LAN da collegare tramite router IP (creando corrispondenti sottoreti IP)

41

## Virtual LAN (2)

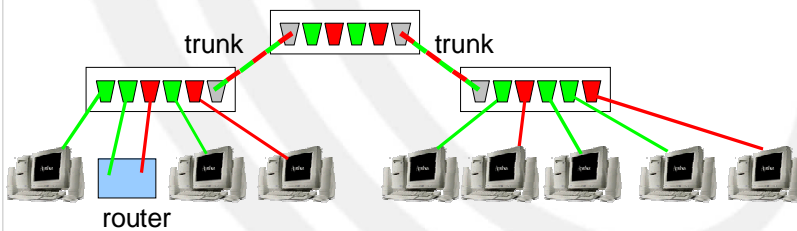
- Separazione di stazioni tra LAN diverse anche se collegati allo stesso switch
  - L'amministratore decide l'assegnazione delle porte tramite SW di net-management
  - Assegnazione facile da cambiare senza spostare cavi



42

## Virtual LAN (3)

- Come distribuire VLAN su più switch?
  - Occorre scrivere un ID della VLAN nella trama ethernet (standard VLAN 802.1Q)
    - Può essere aggiunto o rimosso dagli switch LAN
    - Non crea problemi di compatibilità con le stazioni
    - Utile per dare priorità



43

## VLAN 802.1Q

Ethernet v2.0

New Field

ETHERNET II

PREAM.	SFD	DA	SA	TAG	PT	DATA	FCS
Octets 7	1	6	6	4	2	from 46 to 1500	4

PREAM.	SFD	DA	SA	TAG	LEN.	LLC PDU	PAD	FCS
--------	-----	----	----	-----	------	---------	-----	-----

IEEE 802.3

IEEE 802.3

44

## VLAN 802.1Q

