

Lezione 8:

Livello 3 – Routing statico

Claudio Ardagna, Patrizio Tufarolo – Università degli Studi di Milano

Insegnamento di Laboratorio di Reti di Calcolatori



Introduzione - 1

- ▶ Abbiamo visto come sia possibile realizzare topologie a stella a **livello fisico**, con gli **hub**
- ▶ Abbiamo visto come sia possibile realizzare topologie a stella a **livello data-link**, con gli **switch**
- ▶ Andremo ora a vedere come sia possibile **interconnettere reti eterogenee** con dispositivi di livello 3: i **router**

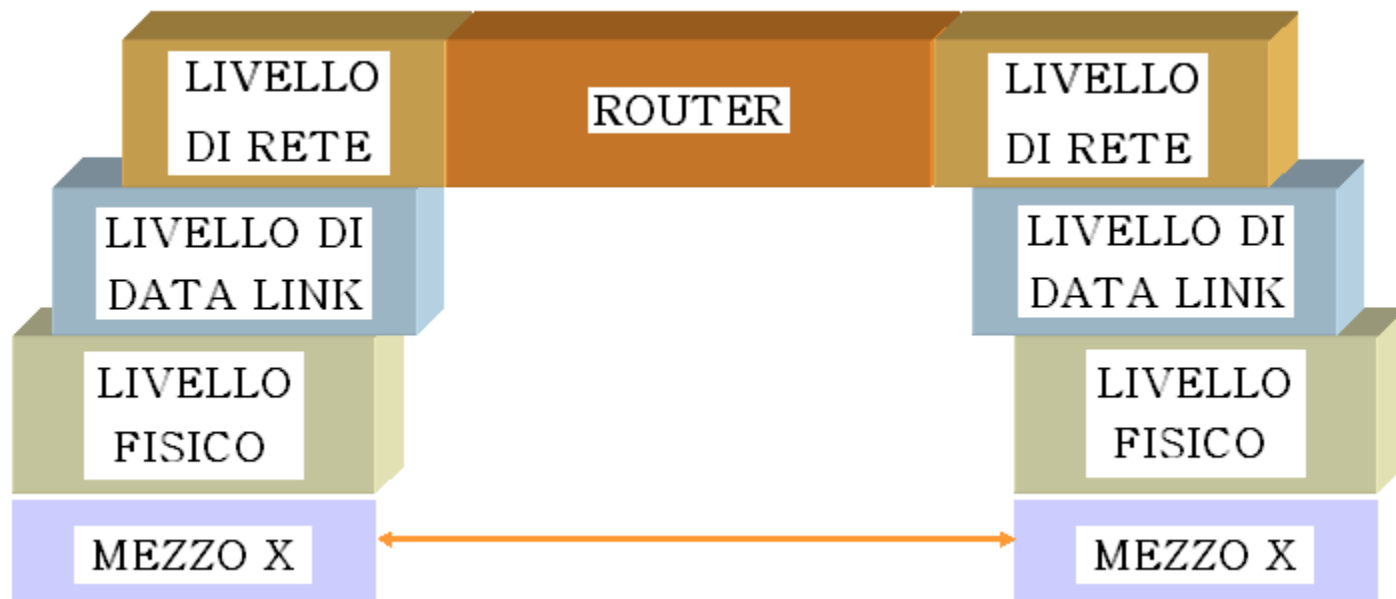
Introduzione - 2

- ▶ Richiamo dalla teoria: differenza tra hub, switch e router
 - ▶ Hub
 - ▶ Forniscono semplicemente le **connessioni meccaniche ed elettriche** tra i nodi di una rete
 - ▶ Switch
 - ▶ **Esaminano il frame** ethernet per trovare l'indirizzo **MAC di destinazione**
 - ▶ **Non effettuano alcuna modifica** ai pacchetti
 - ▶ Router (instradatori)
 - ▶ **Esaminano i pacchetti e li modificano all'occorrenza**
 - ▶ Possono eseguire una *conversione* di protocollo
 - ▶ Rispetto agli switch richiedono **maggiore capacità di elaborazione**



Introduzione - 3

- Router: interfaccia del livello di rete



Terminologia - 1

- ▶ ISO/OSI (Open System Interconnection)
 - ▶ Standard de iure che organizza l'architettura di una rete di calcolatori in una struttura composta da 7 livelli (stack di rete)
- ▶ MAC Address
 - ▶ Media Access Control Address, o indirizzo fisico, indirizzo a 48 bit che identifica univocamente un'interfaccia di rete
- ▶ ARP (Address Resolution Protocol)
 - ▶ Protocollo che si colloca tra livello 2 e livello 3, permettendo l'associazione di un indirizzo IPv4 al corrispondente indirizzo fisico (RFC 826)
 - ▶ Il protocollo analogo ad ARP per IPv6 è il Neighbor Discovery Protocol (RFC 4861)

Terminologia - 2

- ▶ IPv4
 - ▶ Internetworking protocol, protocollo per interconnettere reti di tipologie eterogenee, versione 4
- ▶ Indirizzo IP
 - ▶ Identificatore numerico univoco a 4 byte (32 bit) suddiviso in *net id o prefisso* e un *host id*
- ▶ Subnet (Sottorete)
 - ▶ **Partizionamento** dello spazio di indirizzamento in sottoreti, realizzato tramite l'applicazione di una **subnet mask**

Terminologia - 3

- ▶ Router (instradatore)
 - ▶ Dispositivo per l'interconnessione di reti eterogenee (o sottoreti differenti), che stabilisce un percorso logico di comunicazione, instradando i pacchetti
- ▶ Hop
 - ▶ Router che un pacchetto deve attraversare per arrivare a destinazione (salti)
- ▶ Tabella di routing
 - ▶ Database memorizzato in un router, che contiene le rotte di destinazione di una rete
 - ▶ Permette di memorizzare informazioni sulla topologia di rete

Richiamo dalla teoria: instradamento statico

- ▶ Esistono due tipi di instradamento

- ▶ Instradamento **diretto**

- ▶ Instradamento **indiretto**

Richiamo dalla teoria: instradamento statico

- ▶ Esistono due tipi di instradamento
 - ▶ Instradamento **diretto**
 - ▶ Il pacchetto può **essere inviato direttamente a destinazione**, **incapsulato in un frame ethernet**, poiché l'indirizzo di destinazione si trova nella stessa sottorete dell'indirizzo mittente
 - ▶ **Avviene tramite il protocollo ARP**
 - ▶ Instradamento **indiretto**
 - ▶ L'indirizzo di destinazione **non si trova nella stessa sottorete**, viene quindi utilizzato l'**indirizzo fisico del router**, che provvederà ad instradare il pacchetto verso la giusta direzione, in base a delle decisioni prese con varie tecniche
 - ▶ Una tecnica assolutamente razionale è l'utilizzo di una **tabella di routing**



Instradamento basato su tabella di routing

- ▶ Tabella di routing
 - ▶ **Database** memorizzato in un router, che contiene **le rotte di destinazione di una rete**.
- ▶ È generalmente composta organizzata in almeno tre campi
 - ▶ Sottorete o host di destinazione
 - ▶ Costo / Metrica
 - ▶ **Costo del percorso** attraverso cui il pacchetto deve essere inviato
 - ▶ Salto successivo
 - ▶ **Indirizzo del router successivo** (o dell'host, nel caso in cui il pacchetto sia prossimo alla destinazione)

Instradamento basato su tabella di routing - 2

- ▶ Nella realtà si compone di:
 - ▶ Destinazione da raggiungere (host o sottorete)
 - ▶ Gateway - Router che permette di raggiungere la destinazione
 - ▶ Maschera di sottorete della destinazione
 - ▶ Flags
 - ▶ U -> UP (la rotta è attiva)
 - ▶ G -> Gateway (la rotta è un gateway)
 - ▶ H -> La destinazione è un host (maschera di sottorete a 255.255.255.255, ovvero /32)
 - ▶ Metrica
 - ▶ Interfaccia di rete
- ▶ Tra le rotte è presente una rotta di default (**default gateway**) da utilizzare nel caso non sia possibile utilizzare le altre rotte. Questa è contrassegnata dall'indirizzo **0.0.0.0/0**, o dalla stringa «default» a seconda dell'implementazione.
- ▶ **NB: possono esistere più tabelle di routing**

Tabella di routing: esempio

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
default	gw-219.eduroam.	0.0.0.0	UG	600	0	0	wlp4s0
10.20.0.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	virbr5
10.42.0.0	*	255.255.255.0	U	100	0	0	enp3s0
srv-035-107-dhc	gw-219.eduroam.	255.255.255.255	UGH	600	0	0	wlp4s0
159.149.219.0	*	255.255.255.0	U	600	0	0	wlp4s0
172.17.0.0	*	255.255.0.0	U	0	0	0	docker0
192.168.122.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	virbr4
192.168.150.0	*	255.255.255.0	U	0	0	0	virbr6



Il comando Traceroute

- ▶ Il comando *traceroute* (tracert su Windows) permette di **vedere il percorso che un pacchetto intraprende per arrivare a destinazione**, evidenziando tutti gli **hop attraversati**, e **individuando gli eventuali punti di failure**
- ▶ Esso sfrutta una proprietà del protocollo IP, il campo **TTL** (time to live), il quale specifica il **numero degli apparati (hop) che il pacchetto può attraversare** prima di essere considerato «scaduto»
- ▶ Ogni router che riceve un pacchetto, prima di inoltrarlo, diminuisce il TTL di una unità
- ▶ Se il campo arriva a 0, viene generato un errore, propagato agli host tramite il protocollo **ICMP (ICMP Time Exceeded)** a cui possono seguire **tentativi di ritrasmissione**

Routing su Linux

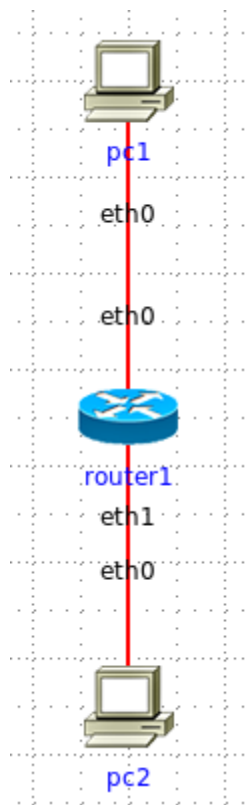
- ▶ Il comando Linux per manipolare e consultare la tabella di routing di default è
 - ▶ `ip route`
- ▶ Comandi alternativi a questo sono
 - ▶ `netstat -r`
 - ▶ `route`
- ▶ Il comando `ip route` restituisce le rotte nel seguente formato
 - ▶ `<destinazione> via <gateway> [dev <device>] proto {static,kernel} [src <sourceAddress>] [metric <metrica>] [link status]`
- ▶ Per far comportare una macchina Linux come router occorre
 - ▶ Disporre di due interfacce, connesse a due reti
 - ▶ Abilitare l'IP Forwarding a livello kernel scrivendo in `procfs` con il comando
 - ▶ `sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1`
 - ▶ Comando alternativo:
 - `echo 1 | sudo tee /proc/sys/net/ipv4/ip_forward`

Routing su IMUNES – Esercizio 1

- ▶ Dopo aver disabilitato l'autoassegnamento degli indirizzi IP creare in IMUNES una topologia di rete composta da:
 - ▶ 2 PC, pc1 e pc2
 - ▶ 1 router, connesso ai due pc
- ▶ Configurare gli indirizzi IP per pc1, pc2 e router, in modo che pc1 e pc2 appartenga a due reti diverse e il router appartenga ad entrambe le reti
- ▶ Aggiungere una rotta che permetta a pc1 di contattare pc2 passando per il router, e viceversa
- ▶ Avviare un traceroute da pc1 a pc2
- ▶ Avviare un ping da pc1 a pc2, ed osservarlo tramite tcpdump sul router
- ▶ *Hint*: comando per aggiungere una rotta:
 - ▶ `ip route add <retedidestinazione> via <gateway> dev <interfaccia>`

Routing su IMUNES – Esercizio 1 - Soluzione

Topologia IMUNES



Comandi eseguiti per la configurazione

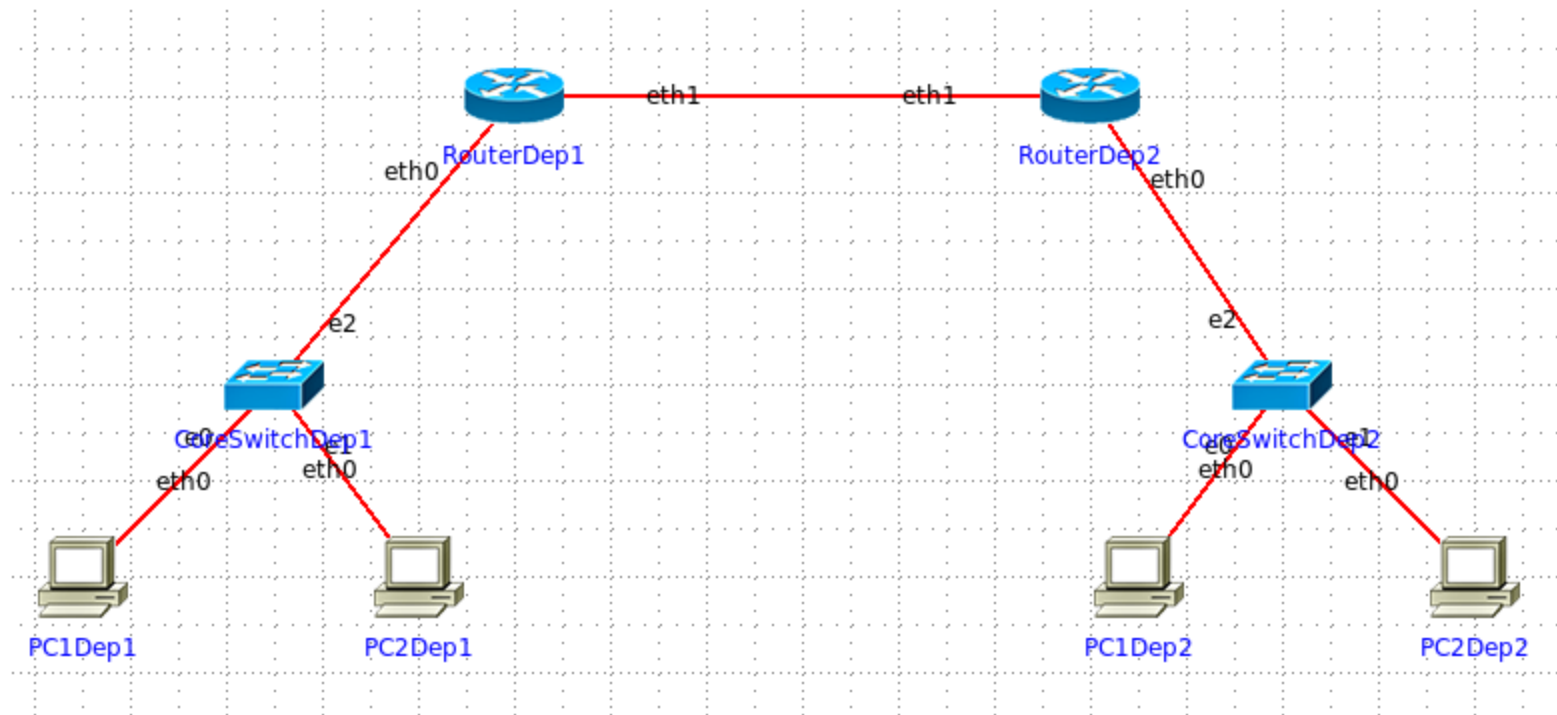
- ▶ Router
 - ▶ `ip addr add 10.0.0.1/24 dev eth0`
 - ▶ `ip addr add 10.0.1.1/24 dev eth1`
- ▶ PC1
 - ▶ `ip addr add 10.0.0.2/24 dev eth0`
- ▶ PC2
 - ▶ `ip addr add 10.0.1.2/24 dev eth0`
- ▶ PC1
 - ▶ `ip route add 10.0.1.2 \`
`via 10.0.0.1 dev eth0`
- ▶ PC2
 - ▶ `ip route add 10.0.0.2 \`
`via 10.0.1.1 dev eth0`

Routing su IMUNES – Esercizio 2

- ▶ L'azienda «A» possiede due dipartimenti
- ▶ Il primo dipartimento contiene due postazioni collegate a un core switch, che hanno IP appartenente alla rete 172.16.5.0/24
- ▶ Il core switch è connesso tramite un router a una rete condivisa a un altro dipartimento che dispone di una topologia di rete esattamente analoga, con IP appartenenti alla rete 172.17.5.0/24
- ▶ La rete condivisa, composta dai due router connessi tra loro, ha IP appartenenti a 192.168.0.0/24
- ▶ Dopo aver disabilitato l'autoassegnamento degli indirizzi IP realizzare questa topologia con IMUNES e configurare opportunamente la tabella di routing per far dialogare i PC dei due dipartimenti
- ▶ Utilizzare traceroute per visualizzare il percorso dei pacchetti generati dai PC del primo dipartimento e destinati ai PC del secondo dipartimento, e viceversa

Routing su IMUNES – Esercizio 2 - Soluzione

Topologia IMUNES



Routing su IMUNES – Esercizio 2 - Soluzione

Comandi eseguiti – Assegnamento indirizzi

▶ PC1Dep1

- ▶ `ip addr add \`
`172.16.5.2/24 dev eth0`

▶ PC2Dep1

- ▶ `ip addr add \`
`172.16.5.3/24 dev eth0`

▶ RouterDep1

- ▶ `ip addr add \`
`172.16.5.1/24 dev eth0`
- ▶ `Ip addr add \`
`192.168.0.1/24 dev eth1`

▶ PC1Dep2

- ▶ `ip addr add \`
`172.17.5.2/24 dev eth0`

▶ PC2Dep2

- ▶ `ip addr add \`
`172.17.5.3/24 dev eth0`

▶ RouterDep2

- ▶ `ip addr add \`
`172.17.5.1/24 dev eth0`
- ▶ `ip addr add \`
`192.168.0.2/24 dev eth1`

Routing su IMUNES – Esercizio 2 - Soluzione

Comandi eseguiti – Assegnamento rotte

▶ PC1Dep1 e PC2Dep1

- ▶ `ip route add \`
`172.17.5.0/24 via \`
`172.16.5.1 dev eth0`

▶ RouterDep1

- ▶ `ip route add \`
`172.17.5.0/24 via \`
`192.168.0.2 dev eth0`

▶ PC1Dep2 e PC2Dep2

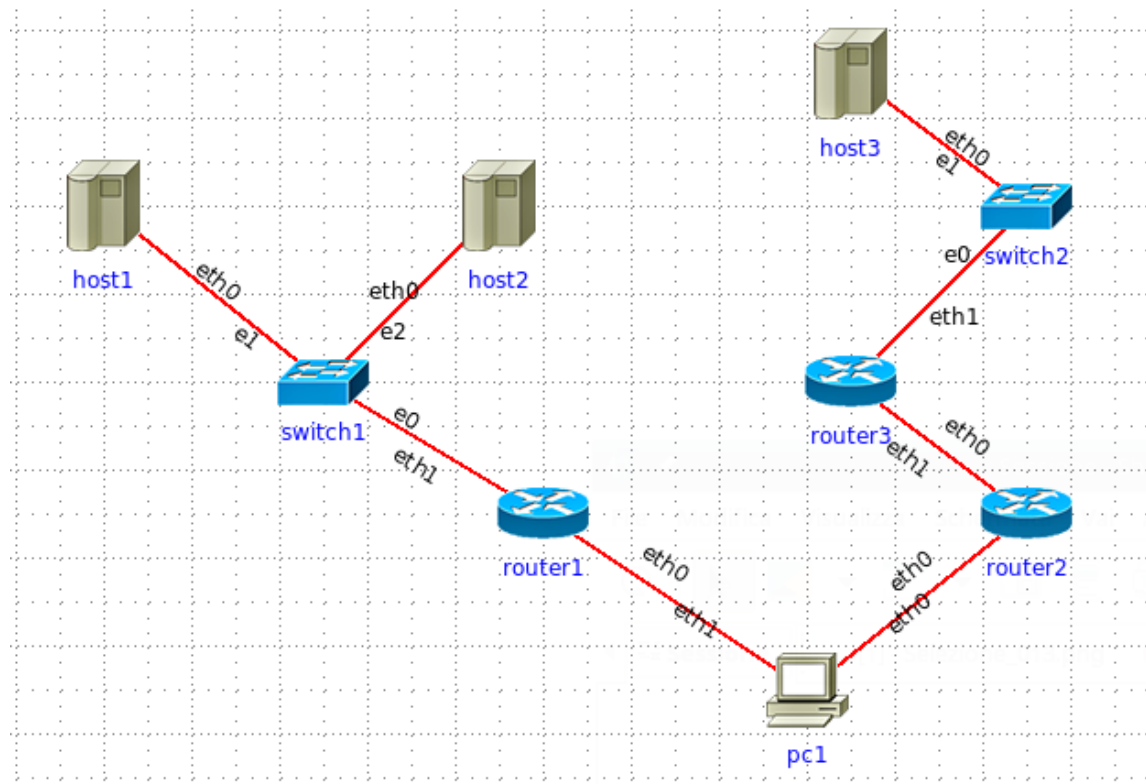
- ▶ `ip route add \`
`172.16.5.0/24 via \`
`172.17.5.1 dev eth0`

▶ RouterDep2

- ▶ `ip route add \`
`172.16.5.0/24 via \`
`192.168.0.1 dev eth0`

Routing su IMUNES – Esercizio per casa

- Disegnare la seguente topologia, configurare la rete in modo opportuno per permettere la comunicazione tra PC1 e gli host (soluzione nella videolezione)



Conclusioni

- ▶ Abbiamo ripassato alcuni concetti di teoria del routing statico
- ▶ Abbiamo visto come il routing è implementato in Linux
- ▶ Abbiamo configurato delle tabelle di routing su IMUNES in due topologie tipiche
- ▶ Abbiamo utilizzato lo strumento *traceroute* per diagnosticare l'instradamento dei pacchetti IP

