



**UNICAM**  
UNIVERSITÀ DI CAMERINO

**Laurea  
in  
INFORMATICA**

INTERNET e RETI di CALCOLATORI A.A. 2023/2024  
Capitolo 4 – Instradamento e Algoritmi di instradamento  
Fausto Marcantoni  
fausto.marcantoni@unicam.it

1

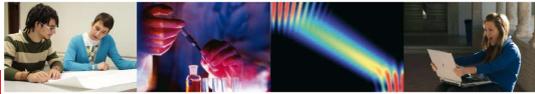


**Dichiarazione di copyright**

*L'utilizzo dei contenuti della lezione sono riservati alla fruizione personale degli studenti iscritti ai corsi dell'Università di Camerino. Sono vietate la diffusione intera o parziale di video o immagini della lezione, nonché la modifica dei contenuti senza il consenso, espresso per iscritto, del titolare o dei titolari dei diritti d'autore e di immagine.*

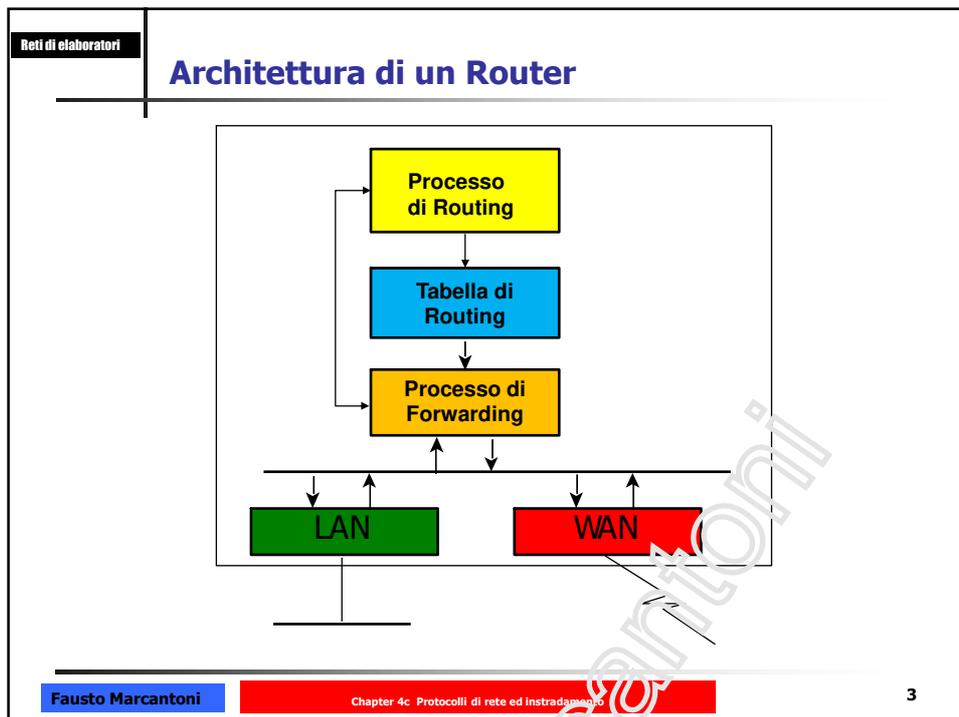
**Copyright notice**

*The contents of this lesson are subject to copyright and intended only for personal use by students enrolled in courses offered by the University of Camerino. For this reason, any partial or total reproduction, adaptation, modification and/or transformation of the contents of this lesson, by any means, without the prior written authorization of the copyright owner, is strictly prohibited.*

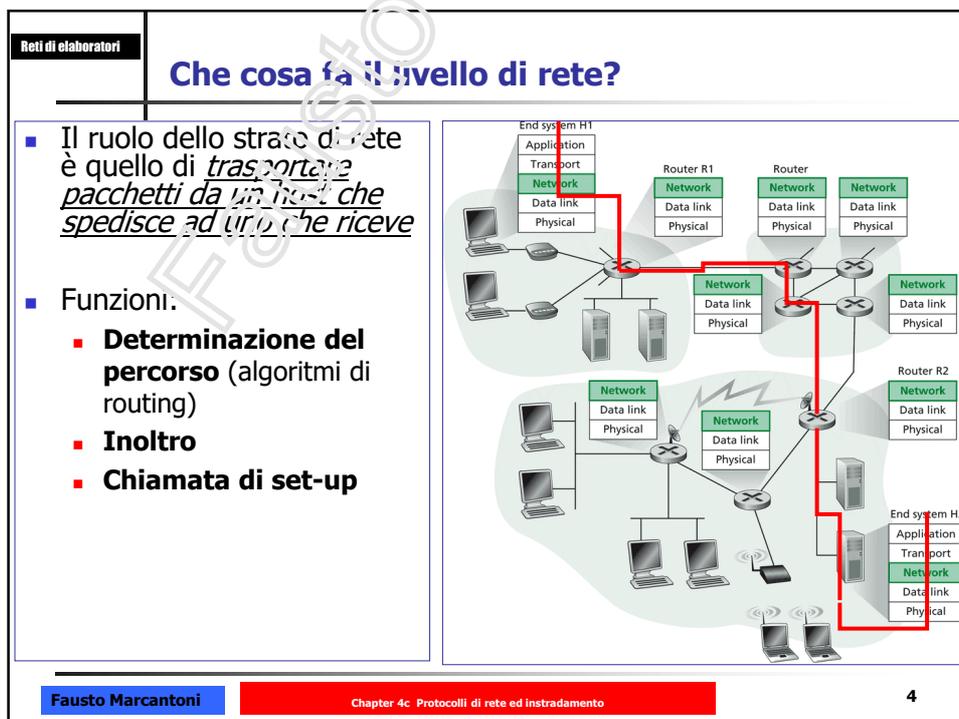


**Fausto Marcantoni** Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 2

2



3



4

Reti di elaboratori	<h2>Routing e Forwarding (1/3)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ I termini "instradamento" (routing) e "inoltrato" (forwarding) sono spesso usati (erroneamente) in modo intercambiabile:</li> <li>■ <b>"Instradamento"</b> fa riferimento al <b>processo globale</b>, che copre l'intera rete, e determina i <b>percorsi da estremo a estremo che i datagrammi IP</b> seguiranno dalla sorgente alla destinazione</li> <li>■ <b>"Inoltrato"</b> fa riferimento all'azione <b>eseguita localmente</b> nel router per il trasferimento di un datagramma <b>dall'interfaccia di un link di ingresso all'opportuna interfaccia di un link di uscita.</b></li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento

5

5

Reti di elaboratori	<h2>Routing e Forwarding (2/3)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Routing <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Determina le destinazioni raggiungibili da ogni nodo</li> <li>■ Calcola il percorso migliore</li> <li>■ Inserisce le informazioni locali in ogni nodo</li> </ul> </li> <li>■ Forwarding <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inoltra i pacchetti <b>"nodo per nodo"</b> utilizzando le informazioni locali</li> <li>■ E' indipendente su ogni nodo</li> <li>■ Non è a conoscenza della rete (globalmente)</li> </ul> </li> <li>■ Forwarding e routing <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ambedue necessari per l'operatività di una rete</li> <li>■ Routing: può essere <ul style="list-style-type: none"> <li>■ diretto</li> <li>■ manuale (demandato all'amministratore)</li> <li>■ dinamico</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento

6

6

Reti di elaboratori

## Routing e Forwarding (3/3)

routing e forwarding dipendono fortemente dalla **forwarding table** (o **tabella di inoltra**)

Routing algorithm

Local forwarding table

header value	output link
0100	3
0101	2
0111	2
1001	1

Value in arriving packet's header

0111

1 2 3

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 7

7

Reti di elaboratori

## Principi di instradamento (1/2)

- **protocollo di instradamento**: per trasferire i datagrammi dall'host sorgente all'host di destinazione, lo strato di rete deve determinare il percorso (**path**) o rotta (**route**) che i datagrammi devono seguire
- Un host è "direttamente" attaccato a un router, il cosiddetto **router di default** (o **default Gateway** detto anche router di primo rilancio, o first-hop router)
- Il problema di instradare un pacchetto dall'host sorgente all'host destinazione si riduce al problema di **instradare il pacchetto dal router sorgente** (il gateway) **al router destinazione**

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 8

8

Reti di elaboratori

## Principi di instradamento (2/2)

- Il nucleo di ciascun protocollo di instradamento è un algoritmo (**l'algoritmo di instradamento**) che determina il percorso da seguire per ciascuno datagramma
- Dato un gruppo di router, con i link che li collegano, un algoritmo di instradamento trova un "**buon/migliore**" percorso dalla sorgente alla destinazione
- Tipicamente, un "buon" percorso è quello che ha il "**minimo costo**"

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 9

9

Reti di elaboratori

## Protocollo di routing

Un protocollo di routing è un processo di comunicazione tra i router per scambiarsi informazioni utilizzate per formare la tabella di routing (routing table)

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 10

10

Reti di elaboratori

## INTERNETWORK

- Per realizzare una **internetwork**, dobbiamo unire più reti insieme, ciascuna delle quali può **essere gestita in modo indipendente** rispetto alle altre.
- Questo ha portato alla **suddivisione dell'internetwork in aree diverse**.
- Ogni zona che appartiene allo stesso dominio amministrativo prende il nome di **Autonomous System (AS)**.
- La scelta di suddividere l'insieme delle reti in AS, ha permesso di **semplificare le procedure abbinate al processo di routing**.
- Tutti i router del medesimo AS condividono lo **stesso protocollo di routing**.
- Lo scopo di un protocollo di routing (Routing Protocol), è quello di **mantenere dinamicamente le routing table**.

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 11

11

Reti di elaboratori

## Architettura di internet

```

graph TD
    INTERNET[INTERNET] --> SA1[sistema autonomo]
    INTERNET --> SA2[sistema autonomo]
    INTERNET --> SA3[sistema autonomo]
    SA3 --> PI[protocolli interni]
    SA3 --> PE[protocolli esterni]
    PI --> RIP[RIP]
    PI --> OSPF[OSPF]
    PE --> BGP[BGP]
  
```

**Internet** è organizzata in sezioni omogenee da un punto di vista amministrativo (**Autonomous System**) che impongono la massima gerarchia

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 12

12

Reti di elaboratori

## Autonomous System

**IGP - Interior Gateway Protocols**  
**EGP - Exterior Gateway Protocols**

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 13

13

Reti di elaboratori

## Autonomous System perché ?

**Scalabilità**

Impossibile per ogni router avere informazioni su **tutta la rete**  
Il **dettaglio** dell'AS non è annunciato all'esterno  
Gli **annunci sono aggregati** al confine degli AS

**Ragioni Amministrative**

AS diversi possono **usare protocolli di routing diversi**,  
l'unico punto di raccordo deve essere il **protocollo alla frontiera**  
Le scelte di routing tra AS non sono necessariamente basate sul **percorso più corto**

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 14

14

Reti di elaboratori

## AUTONOMOUS SYSTEM

**collegare** i vari **Autonomous System** fra loro mediante l'uso di router in grado di instradare pacchetti fra aree diverse

**Interior Router:** responsabili della trasmissione informazioni **all'interno di un AS**, per cui non hanno una diretta connessione con una qualsiasi rete esterna.

**Border Router:** (Router di confine) realizza la **connessione fra AS diversi**. Può essere considerato quindi come il punto di ingresso e di uscita verso altri **AS**.

**Exterior Router** (Router esterno) appartengono a questa classe tutti i router che sono esterni rispetto all'**AS** che stiamo considerando.

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 15

15

Reti di elaboratori

## Autonomous System perché ?

**IGP - Interior Gateway Protocols:** protocolli di routing utilizzati all'interno di AS

**BGP - Exterior Gateway Protocols:** protocolli di routing utilizzati per comunicare all'esterno di AS sia **informazioni riassuntive sullo stato interno** di AS, sia **informazioni di transito apprese dagli altri AS**

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 16

16

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Autonomous System</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⊗ Si definisce come sistema autonomo (AS) un insieme di host, router e reti fisiche controllate da una <b>singola autorità amministrativa</b></li> <li>⊗ Ogni AS è <b>identificato da un numero</b> assegnato dal NIC (<a href="https://www.namex.it/connected_networks/">https://www.namex.it/connected_networks/</a>) <b>GARR – AS137</b></li> <li>⊗ Ogni AS è <b>libero di scegliere</b> i criteri di determinazione delle strade al suo interno</li> <li>⊗ Ogni AS deve però affidare in modo specifico ad uno o più router (<b>border router</b>) il compito di comunicare al mondo esterno le informazioni di routing al suo interno</li> <li>⊗ Le informazioni di instradamento riguardanti le <b>strade all'interno</b> di un sistema autonomo sono gestite tra i router del AS per mezzo degli <b>Interior Gateway Protocols(IGP)</b></li> <li>⊗ Le informazioni di instradamento riguardanti <b>strade che coinvolgono più di un sistema autonomo</b> sono scambiate mediante gli <b>Exterior Gateway Protocols (EGP)</b> tra i border router</li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
17	

17

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">visualizzare gli indirizzi IP di un Autonomous System (1/2)</h2>
<p>Per visualizzare gli indirizzi IP di un Autonomous System (AS), puoi utilizzare diversi strumenti online e comandi da terminale.</p>	
<p><b>Utilizzo di strumenti online:</b></p> <p><b>WHOIS:</b> Puoi utilizzare servizi WHOIS online inserendo il numero di Autonomous System (AS) per ottenere informazioni, compresi gli indirizzi IP associati. Un esempio di sito web che fornisce questo servizio è <a href="#">WHOIS Lookup</a>.</p> <p><b>RIPE Database:</b> Il RIPE Database (per le regioni europee e alcune altre) può essere utilizzato per ottenere informazioni dettagliate su un AS, inclusi gli indirizzi IP. <a href="#">RIPE Database</a>.</p> <p><b>Utilizzo di bgpview.io:</b> Puoi utilizzare il sito web <a href="#">BGPView</a> per ottenere informazioni dettagliate su un Autonomous System, inclusi gli indirizzi IP.</p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
18	

18

Reti di elaboratori

## visualizzare gli indirizzi IP di un Autonomous System (2/2)

Utilizzo del terminale (linux):

*Comando **WHOIS** da terminale:*  
Puoi utilizzare il comando WHOIS direttamente da un terminale.

```
whois -h whois.radb.net -- -i origin AS1234
```

*Comando **dig** da terminale:*  
Il comando dig può essere utilizzato per ottenere informazioni sui record DNS, incluso l'indirizzo IP associato a un dominio o a un Autonomous System.

```
dig +short AS1234
```

Sostituisci "AS1234" con il numero dell'AS di tuo interesse.

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 19

19

Reti di elaboratori

## GARR - AS137

AS number details

### AS137

Consortium GARR - garr.it

Search an IP or AS number

Summary

IP Address Ranges

WHOIS

Hosted Domains

AS137 – Consortium GARR

Country	Italy
Website	<a href="http://garr.it">garr.it</a>
Hosted domains	5,109
Hosted IPs	2,770,944
ASN type	ISP
Allocated	19 years ago on Aug 21, 2002

<https://ipinfo.io/AS137#block-ranges>

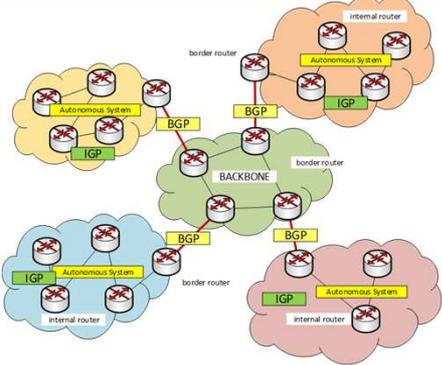
Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 20

20

Reti di elaboratori

## Autonomous System Boundary Router (ASBR)

- Uno o più router interni sono selezionati per svolgere le funzioni di Exterior Gateway o **ASBR (Autonomous System Border Router)**
- Gli **ASBR** debbono partecipare **sia al protocollo di routing interno che in quello esterno**



I router di frontiera debbono avere a bordo:

- ✓ una istanza del protocollo IGP
- ✓ un istanza del protocollo BGP

La propagazione delle informazioni tra i due protocolli si chiama **REDISTRIBUZIONE**

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 21

21

Reti di elaboratori

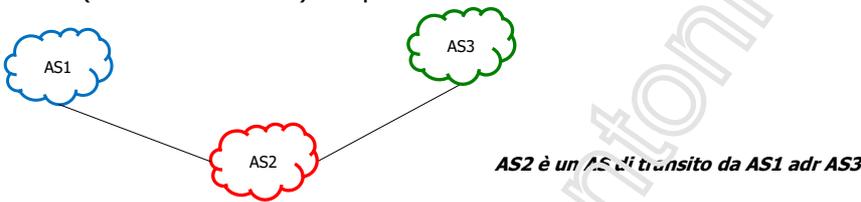
## REDISTRIBUZIONE

La propagazione delle informazioni tra i due protocolli si chiama **REDISTRIBUZIONE** e può essere:

- Specifica
  - Quali informazioni interne debbono essere propagate verso l'esterno e viceversa
- Mutua
  - Generalmente occorre ridistribuire le informazioni prelevate dall'IGP nell'EGP e viceversa
  - Occorre evitare **loop di redistribuzione** dovuti da importazioni di informazioni precedentemente esportate.

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 22

22

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Politiche di routing</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ I <b>problemi di routing</b> tra AS sono diversi rispetto ai problemi di instradamento interni all'AS</li> <li>✓ In un AS si tende a ottenere <b>l'instradamento ottimo</b> verso la destinazione</li> <li>✓ L'instradamento tra AS implica <b>problemi di autorizzazione</b> all'uso di risorse</li> <li>✓ Un AS potrebbe <b>non desiderare essere utilizzato</b> come transito tra altri due AS</li> <li>✓ Si possono quindi <b>avere percorsi non ottimi</b> a causa di accordi (o mancati accordi) di tipo amministrativo ed economico</li> </ul>	
	
Fausto Marcontoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
23	

23

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">intra / inter autonomous system</h2>
<p>Internet è una rete di Autonomous System, almeno per quanto riguarda i problemi di instradamento</p> <p>Esistono quindi protocolli di routing:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> <span style="color: red; font-weight: bold;">⚙</span> <b>intra-autonomous system:</b> si occupano di instradare i datagrammi <b>tra nodi dello stesso sistema</b>, eventualmente delegando ai router di frontiera il problema dell'instradamento se la destinazione è esterna         </li> <li> <span style="color: red; font-weight: bold;">⚙</span> <b>inter-autonomous system:</b> si occupano di <b>instradare i datagrammi tra sistemi</b>, ovvero tra i loro router di frontiera         </li> </ul>	
Fausto Marcontoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
24	

24

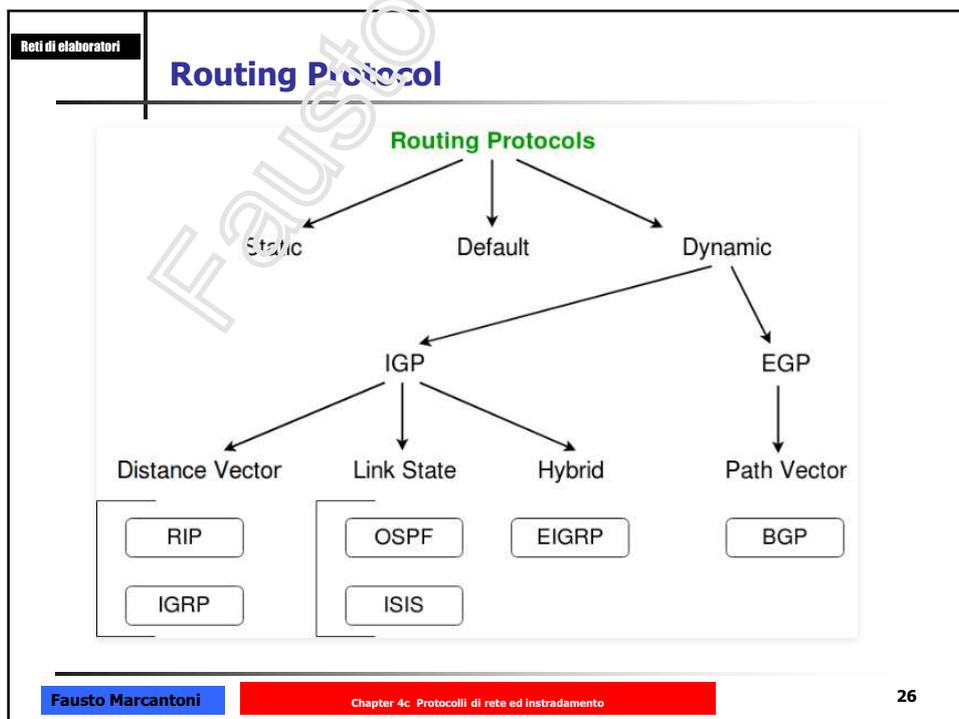
Reti di elaboratori

## AS - Routing Protocols

- **Interior Gateway Protocols (intra AS)**
  - **Distance vector**
    - RIP, RIP-2 (Routing Information Protocol)
    - IGRP, EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) : CISCO proprietary
  - **Link state**
    - OSPF (Open Shortest Path First), OSPF-2
    - IS-IS (Intermediate System to Intermediate System)
- **Exterior Gateway Protocols (inter AS)**
  - BGP Border Gateway Protocol (currently used)
  - EGP (formerly used)

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 25

25



26

Reti di elaboratori	
<h2>Routing Protocol</h2>	
<b>IGP</b>	Interior Gateway Protocol
<b>EGP</b>	Exterior Gateway Protocol
<b>RIP</b>	Routing Information Protocol
<b>IGRP</b>	Interior Gateway Routing Protocol
<b>OSPF</b>	Open Shortest Path First
<b>ISIS</b>	Intermediate System to Intermediate System
<b>EIGRP</b>	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
<b>BGP</b>	Border Gateway Protocol

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 27

27

Reti di elaboratori	
<h2>Routing distance-vector</h2>	
<h3>Routing distance-vector - vettore distanza</h3>	
<p>Questo algoritmo permette ai router di <b>stabilire il percorso migliore</b> che un pacchetto in ingresso deve intraprendere per raggiungere la destinazione, <b>utilizzando come discriminante per la scelta di un determinato percorso</b> rispetto ad un altro, <b>il numero minimo di router da attraversare (hop)</b></p> <p>Ad intervalli regolari (es. ogni 30sec.) <b>viene inviata tutta la tabella di routing ai router adiacenti</b> anche se non si verificano cambiamenti nella rete</p> <p>Quando un nodo riceve la tabella da parte di un vicino, il router può verificare tutte le route (ossia le destinazioni) conosciute e <b>apportare modifiche alla tabella di routing locale</b> secondo le informazioni aggiornate appena ricevute</p> <p>Da notare che ciascun <b>router non conosce l'intera topologia della rete, ma solo quella dei suoi vicini</b></p> <p>Questo protocollo, a causa del <b>continuo aggiornamento</b> delle tabelle di routing, richiede parecchia banda</p>	
Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 28	

28

Reti di elaboratori

## Routing link-state

### Routing link-state - stato di collegamento

I protocolli che utilizzano algoritmi di tipo Link State si basano sul concetto di **mappa distribuita**: tutti i nodi posseggono una copia della mappa della rete, che viene regolarmente aggiornata solo quando si verificano dei cambiamenti nella rete

Anziché calcolare i percorsi migliori in modo distribuito, tutti i nodi **mantengono una copia dell'intera mappa della rete** ed eseguono un calcolo completo dei migliori percorsi usufruendo delle informazioni attinte da questa mappa locale

Quando su un collegamento **si rileva un cambiamento**, il dispositivo che ha intercettato il cambiamento crea un messaggio LSA (**Link State Advertisement**) riguardante quella destinazione e lo propaga a tutti i dispositivi vicini: ciascun dispositivo di routing prende una copia dell'annuncio LSA, **aggiorna il proprio database** link-state con il nuovo stato dei collegamenti e inoltra l'annuncio LSA ai vicini

La mappa è contenuta in un **database**, dove ciascun record rappresenta un link nella rete. Questo algoritmo richiede **molta memoria e notevoli capacità di elaborazione** tuttavia è preferibile al distance-vector

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 29

29

Reti di elaboratori

## Interior Gateway Protocols

più usati oggi sono **RIP** e **OSPF**

- **RIP (Routing Information Protocol)**
  - E del tipo "**distance vector**";
  - ha problemi di convergenza e instabilità
  - è affetto dal problema dei loop
  - non può gestire cammini con oltre 15 salti
  - la metrica usata è il numero di salti
  - la versione RIP-1 NON comunica la maschera di rete (la RIP-2 sì)
  - non va bene per Autonomous System grandi
  - vantaggi: semplicità, non richiede onere di CPU ai router

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 30

30

Reti di elaboratori

## Esempio configurazione RIP (by Cisco)

```

!
interface Ethernet1/0
 ip address 10.3.1.1 255.255.255.0
 ip nat inside
 ip virtual-reassembly
 half-duplex
!
router rip
 version 2
 network 10.0.0.0
 network 192.168.122.0
 default-information originate
!
ip forward-protocol nd
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.122.1
!

```

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 31

31

Reti di elaboratori

## Interior Gateway Protocols

più usati oggi sono **RIP** e **OSPF**

- **OSPF (Open Shortest Path First)**
  - E del tipo "*link state*";
  - converge più velocemente
  - può definire diverse metriche
  - comunica la maschera di rete
  - può fare load balancing (ma solo tra cammini equi-costi)
  - prevede autenticazione
  - svantaggi: complessità realizzativa, onere per le CPU

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 32

32

Reti di elaboratori

## Esempio configurazione OSPF (by Cisco)

```

!
interface Ethernet1/3
  no ip address
  shutdown
  half-duplex
!
router ospf 1
  log-adjacency-changes
  network 10.4.1.0 0.0.0.255 area 1
  network 172.16.1.0 0.0.0.255 area 1
  network 172.17.1.0 0.0.0.255 area 1
!
ip forward-protocol nd
!
!
!

```

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 33

33

Reti di elaboratori

## Exterior Gateway Protocols

- **Un Exterior Gateway Protocol (EGP) svolge tre funzioni:**
  - individuazione dei **routers adiacenti** con cui scambiare le informazioni di instradamento; per adiacenza si intende quella logica; i routers delegati allo scambio di informazioni possono essere separati anche da altri routers
  - **verifica continua** della funzionalità dei routers interlocutori
  - **scambio periodico delle informazioni di instradamento**, contenute in appositi messaggi; queste riguardano la sola raggiungibilità delle reti, non la distanza
- **I più comuni EGP sono:**
  - **EGP (Exterior Gateway Protocol):** vecchio
  - **BGP (Border Gateway Protocol):** attualmente in uso nella v. 4
  - **EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol)** è un protocollo di routing proprietario Cisco

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 34

34

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Exterior Gateway Protocols</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>EGP (Exterior Gateway Protocol)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ È simile ad un algoritmo Distance Vector, ma <b>non tiene conto di alcuna metrica</b> (specifica semplicemente se una destinazione è raggiungibile o meno)</li> <li>■ <b>Non ammette la presenza di magliature</b> nella topologia, perché potrebbe generare dei <b>loop</b> (funziona solo se tutti gli AS sono collegati al router EGP in modo stellare)</li> </ul> </li>   <li>■ <b>BGP (Border Gateway Protocol)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ È una evoluzione dell'EGP, in quanto alle funzionalità di base aggiunge lo scambio di informazioni sulla raggiungibilità delle reti</li> <li>■ Per lo scambio di messaggi tra le entità vengono utilizzati i servizi di trasporto offerti da <b>TCP</b>. Il protocollo effettua la verifica dello stato di un link o di un host inviando periodicamente <b>messaggi di keepalive</b> (il periodo raccomandato è di 30 sec.).</li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
35	

35

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Un caso particolare: Il protocollo RIP</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Routing Information Protocol</li> <li>■ Usato dal demone "routed" in UNIX</li> <li>■ Formato compatibile con i messaggi Berkeley Software Distribution (BSD) UNIX</li> <li>■ Standard ufficiale IP nel 1988 (RFC 1058)</li> <li>■ Protocollo Distance Vector</li> <li>■ Metrica molto semplice (hop count)</li> <li>■ E' il protocollo di cui esistono più realizzazioni V1, V2</li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
36	

36

Reti di elaboratori

## Un caso particolare: Il protocollo RIP

- Un messaggio RIP è incapsulato in una unità dati UDP (porta 520)
  - Pacchetto *Request*
    - è emesso da un router per chiedere ad un nodo vicino l'invio della distance vector table o di una parte di essa
  - Pacchetto *Response*
    - è emesso per inviare tutta o una parte della distance vector table
    - ogni 30 secondi
    - in risposta ad un pacchetto Request
    - quando la routing table cambia (Triggerred updates)
- Il formato massimo di un messaggio RIP è di 512 bytes
  - massimo 25 blocchi per messaggio
  - in caso di un numero maggiore di 25 indirizzi da aggiornare si utilizzano messaggi RIP multipli
- Non supporta la tecnica della subnet mask (versione 1)
  - un router deve conoscere la struttura degli indirizzi
- La metrica usata è la distanza (intero compreso da 1 a 16)
  - il valore 16 indica *infinito*
- Se per 180 sec. un indirizzo di rete non è rinfrescato viene rimosso dalla routing table del router
- In caso di variazioni consecutive dello stato dei link i messaggi RIP sono emessi con intervallo da 1 a 5 s

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 37

37

Reti di elaboratori

## Formato pacchetto RIP

0	8	16	31
Command		Version (=1)	
Address Family Identifier		Must be zero	
IP Address			
Must be zero			
Must be zero			
Metric			

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 38

38

Reti di elaboratori

## IL PROTOCOLLO RIP

- Usa l'instradamento a **VETTORI DI DISTANZA**
- Regole di base
  1. Ogni router **condivide le sue informazioni** relative all'intero sistema autonomo con tutti i router che gli sono vicini
  2. Ogni router invia le informazioni in suo possesso **soltanto ai router vicini**
  3. Le informazioni vengono inviate ad **intervalli regolari** (ogni trenta secondi)

Rete destinataria	Hop count	Hop successivo	Informazioni supplementari
163.5.0.0	7	172.6.23.4	
197.5.13.0	5	176.3.6.17	
189.45.0.0	4	200.5.1.6	
115.0.0.0	6	131.4.7.19	

Tabella di instradamento per il routing a vettori di distanza

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

39

39

Reti di elaboratori

## Pacchetto RIP

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

40

40

**Reti di elaboratori**

## Algoritmo di aggiornamento RIP

Un router riceve un messaggio RIP dal router C

Tutti gli hop count del messaggio vengono incrementati di 1

Rete2	4
Rete3	8
Rete6	4
Rete8	3
Rete9	5

Rete2	5
Rete3	9
Rete6	5
Rete8	4
Rete9	6

Algoritmo di aggiornamento

**RETE9 hop successivo differente, più salti, non si cambia**

Rete1	7	A
Rete2	2	C
Rete3	8	F
Rete6	4	E
Rete8	4	F

Rete1	7	A
Rete2	2	C
Rete3	8	F
Rete6	4	E
Rete8	4	F

Nuova tabella di instradamento

Vecchia tabella di instradamento

Fausto Marcantoni
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
41

41

**Reti di elaboratori**

## esempio

	Router A	Router B	Router C	Router D																																																																								
<b>t<sub>0</sub></b>	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.1.0	--	0	10.1.2.0	--	0	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	--	0	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.3.0	--	0	10.1.4.0	--	0	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.4.0	--	0	10.1.5.0	--	0																																				
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.1.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.5.0	--	0																																																																										
<b>t<sub>1</sub></b>	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>10.1.2.2</td><td>1</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.1.0	--	0	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	10.1.2.2	1	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>10.1.2.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>10.1.3.2</td><td>1</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	--	0	10.1.1.0	10.1.2.1	1	10.1.4.0	10.1.3.2	1	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>10.1.3.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>10.1.4.2</td><td>1</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.3.0	--	0	10.1.4.0	--	0	10.1.2.0	10.1.3.1	1	10.1.5.0	10.1.4.2	1	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>10.1.4.1</td><td>1</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.4.0	--	0	10.1.5.0	--	0	10.1.3.0	10.1.4.1	1																		
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.1.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	10.1.2.2	1																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.1.0	10.1.2.1	1																																																																										
10.1.4.0	10.1.3.2	1																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	10.1.3.1	1																																																																										
10.1.5.0	10.1.4.2	1																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.5.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	10.1.4.1	1																																																																										
<b>t<sub>2</sub></b>	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>10.1.2.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>10.1.2.2</td><td>2</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.1.0	--	0	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	10.1.2.2	1	10.1.4.0	10.1.2.2	2	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>10.1.2.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>10.1.3.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>10.1.3.2</td><td>2</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	--	0	10.1.1.0	10.1.2.1	1	10.1.4.0	10.1.3.2	1	10.1.5.0	10.1.3.2	2	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>10.1.3.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>10.1.4.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>10.1.3.1</td><td>2</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.3.0	--	0	10.1.4.0	--	0	10.1.2.0	10.1.3.1	1	10.1.5.0	10.1.4.2	1	10.1.1.0	10.1.3.1	2	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>10.1.4.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>10.1.4.1</td><td>2</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.4.0	--	0	10.1.5.0	--	0	10.1.3.0	10.1.4.1	1	10.1.2.0	10.1.4.1	2						
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.1.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	10.1.2.2	1																																																																										
10.1.4.0	10.1.2.2	2																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.1.0	10.1.2.1	1																																																																										
10.1.4.0	10.1.3.2	1																																																																										
10.1.5.0	10.1.3.2	2																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	10.1.3.1	1																																																																										
10.1.5.0	10.1.4.2	1																																																																										
10.1.1.0	10.1.3.1	2																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.5.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	10.1.4.1	1																																																																										
10.1.2.0	10.1.4.1	2																																																																										
<b>t<sub>3</sub></b>	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>10.1.2.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>10.1.2.2</td><td>2</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>10.1.2.2</td><td>3</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.1.0	--	0	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	10.1.2.2	1	10.1.4.0	10.1.2.2	2	10.1.5.0	10.1.2.2	3	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>10.1.2.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>10.1.3.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>10.1.3.2</td><td>2</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.2.0	--	0	10.1.3.0	--	0	10.1.1.0	10.1.2.1	1	10.1.4.0	10.1.3.2	1	10.1.5.0	10.1.3.2	2	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>10.1.3.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>10.1.4.2</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>10.1.3.1</td><td>2</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.3.0	--	0	10.1.4.0	--	0	10.1.2.0	10.1.3.1	1	10.1.5.0	10.1.4.2	1	10.1.1.0	10.1.3.1	2	<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><th>NET</th><th>VIA</th><th>HOPS</th></tr> <tr><td>10.1.4.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.5.0</td><td>--</td><td>0</td></tr> <tr><td>10.1.3.0</td><td>10.1.4.1</td><td>1</td></tr> <tr><td>10.1.2.0</td><td>10.1.4.1</td><td>2</td></tr> <tr><td>10.1.1.0</td><td>10.1.4.1</td><td>3</td></tr> </table>	NET	VIA	HOPS	10.1.4.0	--	0	10.1.5.0	--	0	10.1.3.0	10.1.4.1	1	10.1.2.0	10.1.4.1	2	10.1.1.0	10.1.4.1	3
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.1.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	10.1.2.2	1																																																																										
10.1.4.0	10.1.2.2	2																																																																										
10.1.5.0	10.1.2.2	3																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.2.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.1.0	10.1.2.1	1																																																																										
10.1.4.0	10.1.3.2	1																																																																										
10.1.5.0	10.1.3.2	2																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.3.0	--	0																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.2.0	10.1.3.1	1																																																																										
10.1.5.0	10.1.4.2	1																																																																										
10.1.1.0	10.1.3.1	2																																																																										
NET	VIA	HOPS																																																																										
10.1.4.0	--	0																																																																										
10.1.5.0	--	0																																																																										
10.1.3.0	10.1.4.1	1																																																																										
10.1.2.0	10.1.4.1	2																																																																										
10.1.1.0	10.1.4.1	3																																																																										

Fausto Marcantoni
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
42

42

**Reti di elaboratori**

### Tabelle di instradamento iniziali e finali

Esercizio: calcolare le tabelle di routing per ogni router

Instante iniziale [esercizio tabella di instradamento.docx](#)

**Fausto Marcantoni** Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento **43**

43

**Reti di elaboratori**

### Tabelle di instradamento iniziali e finali (esercizio)

T=0

A	B	C	D	E	F
14 1 .	14 1 .	55 1 .	08 1 .	08 1 .	78 1 .
23 1 .	55 1 .	66 1 .	66 1 .	23 1 .	92 1 .
78 1 .					

**Fausto Marcantoni** Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento **44**

44

**Reti di elaboratori**

### Tabelle di instradamento iniziali e finali (esercizio)

**T=0**

A			B			C			D			E			F		
14	1	.	14	1	.	55	1	.	08	1	.	08	1	.	78	1	.
23	1	-	55	1	-	66	1	-	66	1	-	23	1	-	92	1	-
78	1	-															

**T=1**

A			B			C			D			E			F		
14	1	.	14	1	.	55	1	.	08	1	.	08	1	.	78	1	.
23	1	-	55	1	-	66	1	-	66	1	-	23	1	-	92	1	-
78	1	-	23	2	A	14	2	B	55	2	C	14	2	A	14	2	A
55	2	B	78	2	A	08	2	D	23	2	E	78	2	A	23	2	A
08	2	E	66	2	C							66	2	D			
92	2	F															

**Fausto Marcantoni** Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento **45**

45

**Reti di elaboratori**

### Tabelle di instradamento iniziali e finali (esercizio)

**T=2**

A			B			C			D			E			F		
14	1	.	14	1	.	55	1	.	08	1	.	08	1	.	78	1	.
23	1	-	55	1	-	66	1	-	66	1	-	23	1	-	92	1	-
78	1	-	23	2	A	14	2	B	55	2	C	14	2	A	14	2	A
55	2	B	78	2	A	08	2	D	23	2	E	78	2	A	23	2	A
08	2	E	66	2	C	23	3	D	78	3	E	66	2	D	08	3	A
92	2	F	92	3	A	78	3	B	14	3	C	55	3	D	55	3	A
66	3	E	08	3	A							92	3	A			

**T=3**

A			B			C			D			E			F		
14	1	.	14	1	.	55	1	.	08	1	.	08	1	.	78	1	.
23	1	-	55	1	-	66	1	-	66	1	-	23	1	-	92	1	-
78	1	-															

**Fausto Marcantoni** Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento **46**

46

**Reti di elaboratori**

### Tabelle di instradamento iniziali e finali (esercizio)

T=4

A		
14	1	.
23	1	-
78	1	-

B		
14	1	.
55	1	-

C		
55	1	.
66	1	-

D		
08	1	.
66	1	-

E		
08	1	.
23	1	-

F		
78	1	.
92	1	-

T=5

A			B			C			D			E			F		
14	1	.	14	1	.	55	1	.	08	1	.	08	1	.	78	1	.
23	1	-	55	1	-	66	1	-	66	1	-	23	1	-	92	1	-
78	1	-															

**Fausto Marcantoni**
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
47

47

**Reti di elaboratori**

### Tabelle di instradamento iniziali e finali

Soluzione:

**Fausto Marcantoni**
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
48

48

Reti di elaboratori

## Protocollo RIP : convergenza lenta

15 secondi       $n \times 15$  secondi

Rete 1      Rete 2      Rete n+1

La notizia di un cambiamento si propaga molto lentamente  
 Se  $n=20$  il ritardo è di 300 secondi e nello stesso tempo un rete ATM ha trasmesso un miliardo di bit

Rete 1      Rete 2      Rete n+1

Il numero totale di hop deve essere inferiore a 16  
 Un hop count = 16 va interpretato come rete inaccessibile

Fausto Marcantoni      Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento      49

49

Reti di elaboratori

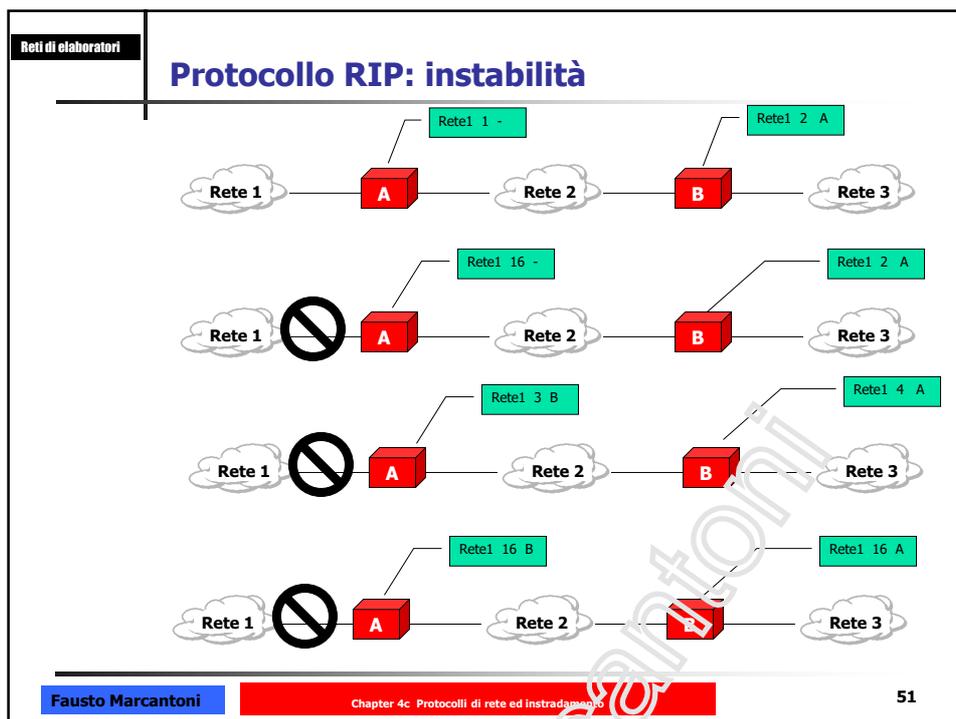
## Timer RIP

RIP mantiene 3 timer per le proprie operazioni

- **Aggiornamento periodico** (25-30 sec)
  - ✓ Usato per inviare i messaggi di aggiornamento
- **Timer di invalidazione** (180 sec)
  - ✓ Se un'entry non è stata aggiornata per 180 secondi, essa non viene ritenuta più valida
- **Timer per il garbage collection** (120 sec)
  - ✓ Un'entry non valida viene marcata, ma non rimossa
  - ✓ Per 120 sec il router include la destinazione ma con distanza infinita

Fausto Marcantoni      Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento      50

50



51

Reti di elaboratori

## Soluzione: algoritmo split horizon (suddivisione degli orizzonti)

- Le opzioni usate in RIP per migliorare la stabilità sono:
  - **Split Horizon**: un router non annuncia una destinazione sull'interfaccia da cui l'ha appresa
  - **Split Horizon with Poisonous Reverse**: se un router perde la connettività verso una rete, dopo aver inserito il valore 16 (inf) nella entry, la mantiene invariata per un determinato numero di periodi di routing updated; inoltre annuncia in broadcast con valore infinito (16) il costo per raggiungere quella rete.

NOTE:

Le suddette tecniche prevengono loop tra due nodi, ma non i loop più lunghi, e rendono la convergenza più veloce dell'aspettare che una route venga posta irraggiungibile perché si è superato l'hop-count-limit.

Per velocizzare la convergenza del protocollo sono stati **introdotti i triggered update**: **mentre i distance vector sono inviati periodicamente (ogni 30 s), i triggered update vengono inviati immediatamente a fronte di cambiamenti nella rete**. I triggered update sono spazati casualmente da 1 a 5 secondi dopo il cambiamento della topologia per non caricare in maniera impulsiva la rete e includono solo i record variati. Distance-vector e triggered update possono propagarsi simultaneamente, creando dei problemi perché i pacchetti periodici possono propagare informazioni vecchie.

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

52

52

Reti di elaboratori

## router - tabella di stato

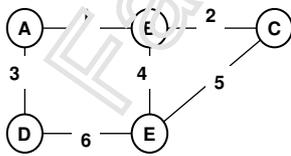
- Ogni router ha una tabella di stato in cui compare una riga (colonna) per ciascuna rete di cui il router sia a conoscenza
- Ogni riga (colonna) contiene le seguenti informazioni:
  - indirizzo identificativo della rete
  - indirizzo del primo router del percorso (next hop)
  - distanza dalla rete (numero minimo di reti da attraversare se metriche unitarie)

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 53

53

Reti di elaboratori

## Esempio RIP: Inizializzazione (1)



Condizione iniziale

- Routing table vuote
- Metrica
  - Distanza

### Routing Table

Destinazione	A	B	C	D	E
<b>A</b>	0	?	?	?	?
Distanza	0	?	?	?	?
Link	local	?	?	?	?

Destinazione	A	B	C	D	E
<b>B</b>	?	0	?	?	?
Distanza	?	0	?	?	?
Link	?	local	?	?	?

Destinazione	A	B	C	D	E
<b>C</b>	?	?	0	?	?
Distanza	?	?	0	?	?
Link	?	?	local	?	?

Destinazione	A	B	C	D	E
<b>D</b>	?	?	?	0	?
Distanza	?	?	?	0	?
Link	?	?	?	local	?

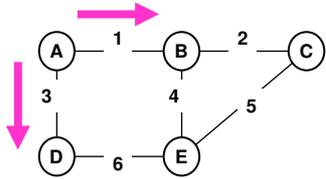
Destinazione	A	B	C	D	E
<b>E</b>	?	?	?	?	0
Distanza	?	?	?	?	0
Link	?	?	?	?	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 54

54

Reti di elaboratori

### Esempio RIP: Inizializzazione (2)



**Step 2:**

- A emette un messaggio verso B e D

A	Address	A	---	---	---	---
	Metric	0	---	---	---	---

#### Routing Table

A	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	0	?	?	?	?
	Link	local	?	?	?	?

B	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	0	?	?	?
	Link	1	local	?	?	?

C	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	?	?	0	?	?
	Link	?	?	local	?	?

D	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	?	?	?	0	?
	Link	3	?	?	local	?

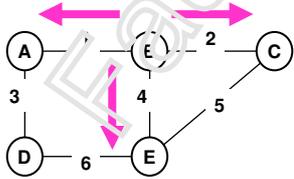
E	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	?	?	?	?	0
	Link	?	?	?	?	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 55

55

Reti di elaboratori

### Esempio RIP: Inizializzazione (3)



**Step 3:**

- B emette un messaggio verso A, C e E

B	Address	A	B	---	---	---
	Metric	1	0	---	---	---

#### Routing Table

A	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	0	1	?	?	?
	Link	local	1	?	?	?

B	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	0	?	?	?
	Link	1	local	?	?	?

C	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	0	?	?
	Link	2	2	local	?	?

D	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	?	?	0	?
	Link	3	?	?	local	?

E	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	?	?	0
	Link	4	4	?	?	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 56

56

Reti di elaboratori

### Esempio RIP : Inizializzazione (4)

**Step 4:**

- D emette un messaggio verso A e E

D	Address	A	---	---	D	---
	Metric	1	---	---	0	---

#### Routing Table

A	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	0	1	?	1	?
	Link	local	1	?	3	?

B	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	0	?	?	?
	Link	1	local	?	?	?

C	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	0	?	?
	Link	2	2	local	?	?

D	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	?	?	?	0	?
	Link	3	?	?	local	?

E	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	?	1	0
	Link	4	4	?	6	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 57

57

Reti di elaboratori

### Esempio RIP : Inizializzazione (5)

**Step 5:**

- A emette un messaggio verso B e D

A	Address	A	B	---	D	---
	Metric	0	1	---	1	---

#### Routing Table

A	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	0	1	?	1	?
	Link	local	1	?	3	?

B	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	0	?	2	?
	Link	1	local	?	1	?

C	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	0	?	?
	Link	2	2	local	?	?

D	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	2	?	0	?
	Link	3	3	?	local	?

E	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	?	1	0
	Link	4	4	?	6	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 58

58

Reti di elaboratori

### Esempio RIP : Inizializzazione (6)

Step 6:

- C emette un messaggio verso B e E

C	Address	A	B	C	---	---
	Metric	2	1	0	---	---

#### Routing Table

A	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	0	1	?	1	?
	Link	local	1	?	3	?

B	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	0	1	2	?
	Link	1	local	2	1	?

C	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	0	?	?
	Link	2	2	local	?	?

D	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	?	2	?	0	?
	Link	3	3	?	local	?

E	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	1	1	0
	Link	4	4	5	6	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 59

59

Reti di elaboratori

### Esempio RIP : Inizializzazione (7)

Step 7:

- E emette un messaggio verso B, C e D

E	Address	A	B	C	D	E
	Metric	2	1	1	1	0

#### Routing Table

A	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	0	1	?	1	?
	Link	local	1	?	3	?

B	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	0	1	2	1
	Link	1	local	2	1	4

C	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	0	2	1
	Link	2	2	local	5	5

D	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	1	2	2	0	1
	Link	3	3	6	local	6

E	Destinazione	A	B	C	D	E
	Distanza	2	1	1	1	0
	Link	4	4	5	6	local

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 60

60

Reti di elaboratori

## Esempio RIP : Inizializzazione (8)

**Step 8:**

- B emette un messaggio verso A, C e E

**B**

Address	A	B	C	D	E
Metric	1	0	1	2	1

**Routing Table**

**A**

Destinazione	A	B	C	D	E
Distanza	0	1	2	1	2
Link	local	1	1	3	1

**B**

Destinazione	A	B	C	D	E
Distanza	1	0	1	2	1
Link	1	local	2	1	4

**C**

Destinazione	A	B	C	D	E
Distanza	2	1	0	2	1
Link	2	2	local	5	5

**D**

Destinazione	A	B	C	D	E
Distanza	3	2	2	0	1
Link	3	3	6	local	6

**E**

Destinazione	A	B	C	D	E
Distanza	2	1	1	1	0
Link	4	4	5	6	local

Fausto Marcontoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 61

61

Reti di elaboratori

## Link State Routing

- I protocolli "Link State" sono adatti a reti di grandi dimensioni
- Principi base:
  - I router hanno la responsabilità di **contattare i router vicini e acquisire la loro identità** (pacchetti *Hello*)
  - i router emettono i *link state packets (LSP)* che contengono la **lista delle reti connesse al router** (vicini) ed i loro costi associati
  - i LSP sono trasmessi **a tutti gli altri router** (*flooding*)
  - tutti i router hanno lo stesso insieme di dati e quindi possono costruire la **stessa mappa della rete** (database topologico)
  - le mappe di rete sono utilizzate per determinare i **cammini migliori** e quindi l'instradamento

Fausto Marcontoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 62

62

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Link State Routing</h2>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ I LSP (<i>link state packets</i>) sono emessi           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ quando un router contatta un nuovo router vicino</li> <li>■ quando un link si guasta</li> <li>■ quando il costo di un link varia</li> <li>■ periodicamente ogni fissato intervallo di tempo</li> </ul> </li> <li>■ La rete trasporta i LSP mediante la tecnica del <i>flooding</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ un LSP è rilanciato da un router su tutte le sue interfacce tranne quella da cui è stato ricevuto</li> <li>■ i LSP trasportano dei riferimenti temporali (<i>time stamp</i>) o numeri di sequenza per               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ evitare il rilancio di pacchetti già rilanciati</li> <li>■ consentire un corretto riscontro dal ricevente</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>		
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento	4.63

63

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Tecnica del "Flooding"</h2>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Assicura che tutti i router di una rete           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ riescano a <b>costruire un database</b> contenente lo stato della rete</li> <li>■ abbiano le <b>stesse informazioni</b> sullo stato dei link</li> </ul> </li> <li>■ Alla ricezione di un LSP (<i>link state packets</i>):           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ un router <b>esamina i campi di un LSP</b>: link identifier, metrica, time stamp o numero di sequenza</li> <li>■ se il dato non è contenuto nel database, viene memorizzato e il LSP è <b>rilanciato su tutte le interfacce del router tranne quella di ricezione</b></li> <li>■ se il dato ricevuto è <b>più recente</b> di quello contenuto nel database, il suo valore è <b>memorizzato</b> e il LSP è <b>rilanciato</b> su tutte le interfacce del router tranne quella di ricezione</li> <li>■ se il dato ricevuto è <b>più vecchio</b> di quello contenuto nel database, viene <b>rilanciato un LSP con il valore contenuto nel database esclusivamente sull'interfaccia di arrivo del LSP</b></li> <li>■ se i due dati sono della stessa età non viene eseguita alcuna operazione</li> </ul> </li> </ul>		
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento	64

64

Reti di elaboratori

## Tecnica del "Flooding"

- La tecnica del *flooding* ha i seguenti vantaggi
  - esplora **tutti i possibili cammini** tra origine e destinazione
  - è estremamente **affidabile e robusta**
  - almeno una copia di ogni LSP seguirà la via a minor costo
- Dall'altro lato, il **traffico** generato dipende dalle dimensioni della rete e può essere molto elevato

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 65

65

Reti di elaboratori

## Principio del link state

2. Io, nodo A, conosco i link A-E e A-C

1. Io, nodo E, conosco i link E-A, E-F

3. Io, nodo F, conosco i link F-E e F-C

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 66

66

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue;">Il protocollo OSPF (Open Shortest Path First)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ciascun router OSPF gestisce una mappa della rete:           <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Link Status Information oppure Link State Database (LSDB)               <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Il database viene aggiornato <b>ogniqualevolta cambia la topologia</b></li> <li>■ Contiene voci per <b>tutte le reti</b> a cui è attaccato ciascun router</li> <li>■ Assegna una metrica di costo di uscita associata ad ogni interfaccia di rete del router</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>■ Le voci del LSDB si basano su informazioni LSA (Link Status Advertisements)</li> <li>■ Una rete si trova in uno <b>stato di convergenza</b> quando LSDB è il medesimo per ciascun router</li> <li>■ Quando la rete è in stato di convergenza viene calcolato per ciascun nodo il percorso più breve attraverso <b>l'algoritmo di Dijkstra</b></li> <li>■ Tali informazioni vengono <b>salvate per ogni nodo</b> in un albero dei percorsi più brevi</li> <li>■ Dall'albero si tracciano le tabelle di routing</li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
67	

67

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue;">l'algoritmo di Dijkstra</h2>
<p>l'algoritmo di Dijkstra</p> <p><a href="http://computer-science.unicam.it/merelli/algoritmi06/%5b13%5dalgoritmiSuGraf.pdf">http://computer-science.unicam.it/merelli/algoritmi06/%5b13%5dalgoritmiSuGraf.pdf</a></p> <p><a href="https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_di_Dijkstra">https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_di_Dijkstra</a></p> <p><a href="http://www.math.unipd.it/~luigi/courses/ricop0809/ro_12.m03.flussi.02.pdf">http://www.math.unipd.it/~luigi/courses/ricop0809/ro_12.m03.flussi.02.pdf</a></p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=WN3Rb9wVYDY">https://www.youtube.com/watch?v=WN3Rb9wVYDY</a></p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=JnzdK59pV4">https://www.youtube.com/watch?v=JnzdK59pV4</a></p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
68	

68

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Metriche usate</h2>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conteggio dei salti (hop count)</li> <li>2. Ritardo (delay) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quantità di tempo richiesta per un pacchetto dalla rete di origine a quella di destinazione</li> </ul> </li> <li>3. Volume di traffico (throughput) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Larghezza di banda disponibile</li> </ul> </li> <li>4. Affidabilità (reliability)</li> <li>5. Costi di comunicazione (communication costs)</li> </ol>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
69	

69

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Il protocollo BGP</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Border Gateway Protocol è un protocollo di instradamento tra sistemi autonomi</li> <li>■ Il metodo usato dal protocollo è detto <i>instradamento a vettori di percorso</i> (path vector)</li> <li>■ Router adiacenti comunicano attraverso un protocollo affidabile come TCP con porta 179</li> <li>■ Per ogni destinazione IP è fornita la sequenza di AS da attraversare</li> <li>■ Fornisce i meccanismi per <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diffondere informazioni</li> <li>■ Descrivere criteri di scelta per percorsi su cui inoltrare il traffico</li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
70	

70

Reti di elaboratori

## Il protocollo BGP

TABELLA DI INSTRADAMENTO DEL METODO A VETTORI DI PERCORSO

Rete	Router successivo	Percorso
N01	R01	AS14, AS23, AS67
N02	R05	AS22, AS67, AS05, AS89
N03	R06	AS67, AS89, AS09, AS34
N04	R12	AS62, AS02, AS09

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 71

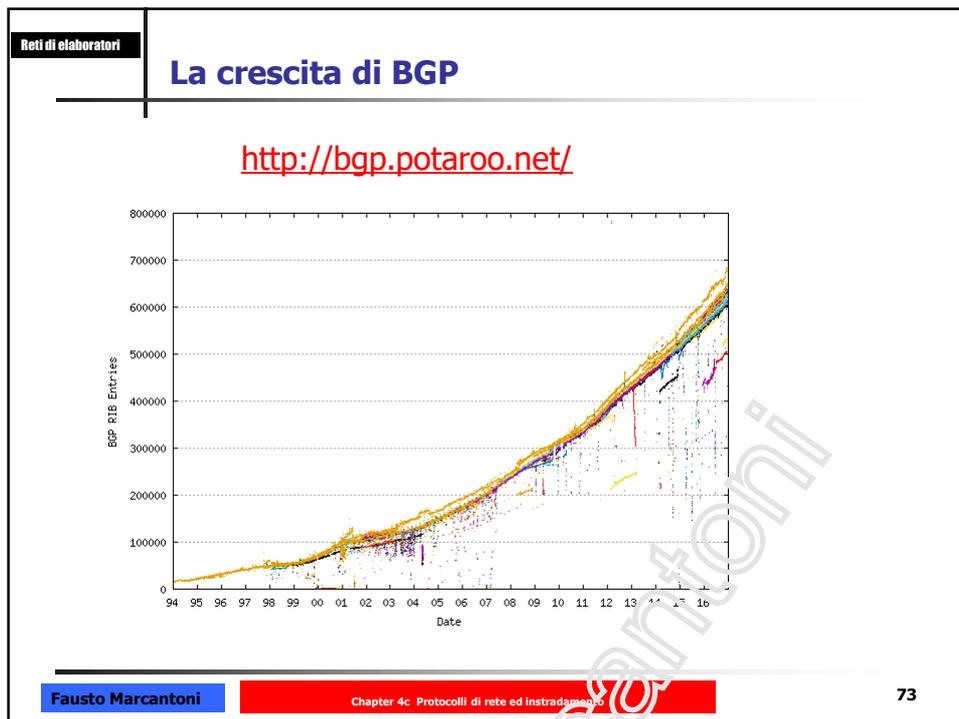
71

Reti di elaboratori

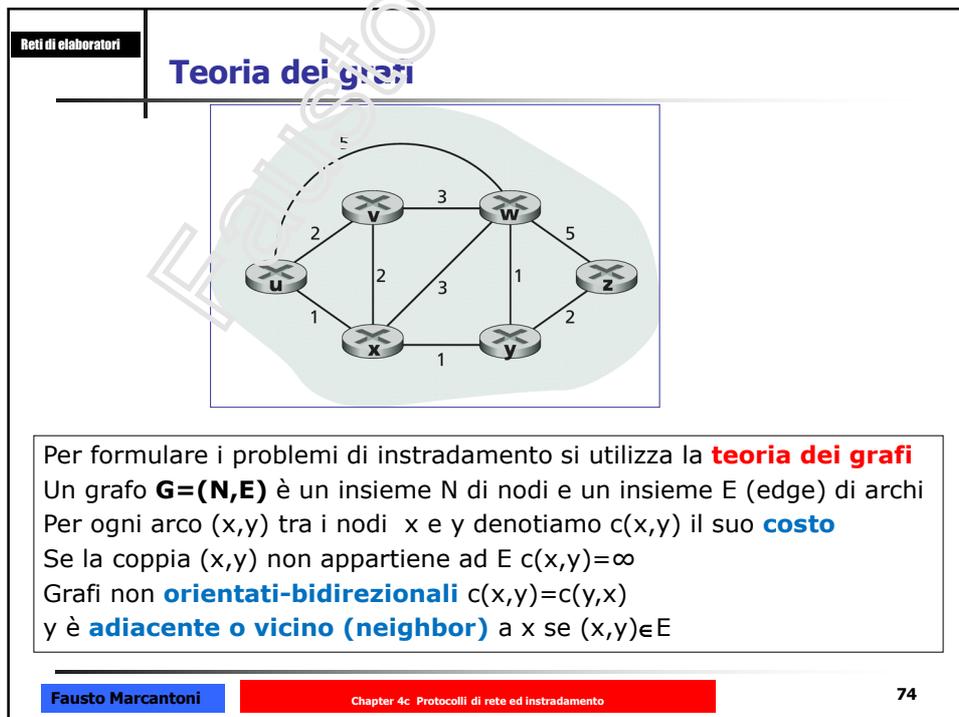
## Messaggi PATH VECTOR

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 72

72



73



74

Reti di elaboratori

### Astrazione grafica

- Il problema di trovare il costo minimo richiede:
  - il primo link sul percorso collegato alla sorgente
  - l'ultimo link sul percorso collegato alla destinazione
  - per ogni  $i > 0$  di  $N$  i link  $i$  e  $i-1$ -mo collegati allo stesso nodo sul percorso
  - per il **percorso di minor costo**, la somma dei costi dei link sul percorso è la minima tra quelle di tutti i percorsi possibili tra sorgente e destinazione

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 75

75

Reti di elaboratori

### Astrazione grafica

- Il problema di trovare il costo minimo richiede:
  - In un grafo  $G=(N,E)$  il percorso è una sequenza di nodi  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$
  - Il costo di un percorso e la somma di tutti i singoli costi
    - $c(x_1, x_2) + c(x_2, x_3) + c(x_3, x_4) + \dots + c(x_{n-1}, x_n)$
  - percorso minimo – least-cost path**  
Percorso minimo tra u e w  $(u,x,y,w)$

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 76

76

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue;">Routing Algorithms: Tassonomie (1/4)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>algoritmi di instradamento statici</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tabelle manuali</li> <li>■ I paths cambiano raramente</li> </ul> </li> <li>■ <b>algoritmi di instradamento dinamici</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ modificano i percorsi di instradamento non appena varia il carico di traffico in rete o la topologia</li> <li>■ Un algoritmo dinamico può funzionare sia periodicamente sia come risposta diretta alle variazioni di topologia o dei costi dei link</li> </ul> </li> </ul> <p><i>Mentre gli algoritmi dinamici sono <b>più reattivi alle variazioni</b> nella rete, essi sono anche più <b>suscettibili a problemi</b> come routing loop (percorsi ciclici) e oscillazioni nei percorsi.</i></p> <p><i>Negli altri, se cade un link cade un instradamento verso determinati percorsi</i></p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
77	

77

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue;">Routing Algorithms: Tassonomie (2/4)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ algoritmi <b>sensibili</b> al carico <ul style="list-style-type: none"> <li>■ I costi dei link <b>variano dinamicamente</b> per riflettere lo stato attuale di congestione del link in questione</li> <li>■ Se ad un link attualmente in congestione viene associato un alto costo, un algoritmo di instradamento tenderà a scegliere percorsi che evitano quel link in congestione</li> </ul> </li> <li>■ algoritmi <b>insensibili</b> al carico <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Quelli di Internet oggi</li> <li>■ Il costo di un link tipicamente <b>non riflette il suo attuale</b> (o recente) <b>livello di congestione</b></li> <li>■ RIP OSPF e BGP ne sono alcuni esempi</li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
78	

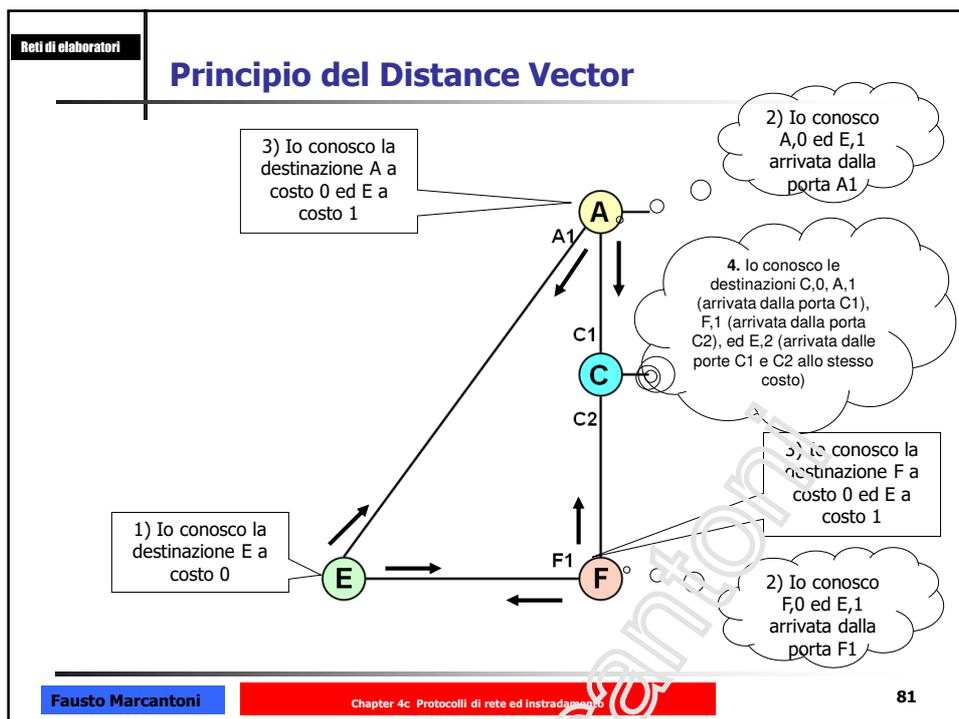
78

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Routing Algorithms: Tassonomie (3/4)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Algoritmi di <b>instradamento decentralizzati</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Il calcolo del percorso di minor costo è eseguito in modo <b>iterativo e distribuito</b></li> <li>■ Nessun nodo ha informazioni complete sul costo di tutti i link della rete. <b>Ciascun nodo comincia con la sola conoscenza del costo dei link a esso direttamente collegati</b></li> <li>■ Attraverso un processo iterativo di calcolo e scambio di informazioni con i nodi a esso vicini un nodo <b>calcola gradualmente il percorso di minor costo</b> verso una destinazione o un gruppo di destinazioni</li> <li>■ Si chiamano algoritmi <b>distance vector</b> (vettore delle distanze)</li> <li>■ Quello che si conosce è solo:           <ul style="list-style-type: none"> <li>■ il nodo vicino a cui si deve inviare un pacchetto allo scopo di raggiungere una data destinazione lungo il percorso di minor costo</li> <li>■ il costo del percorso da se stesso alla destinazione</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
79	

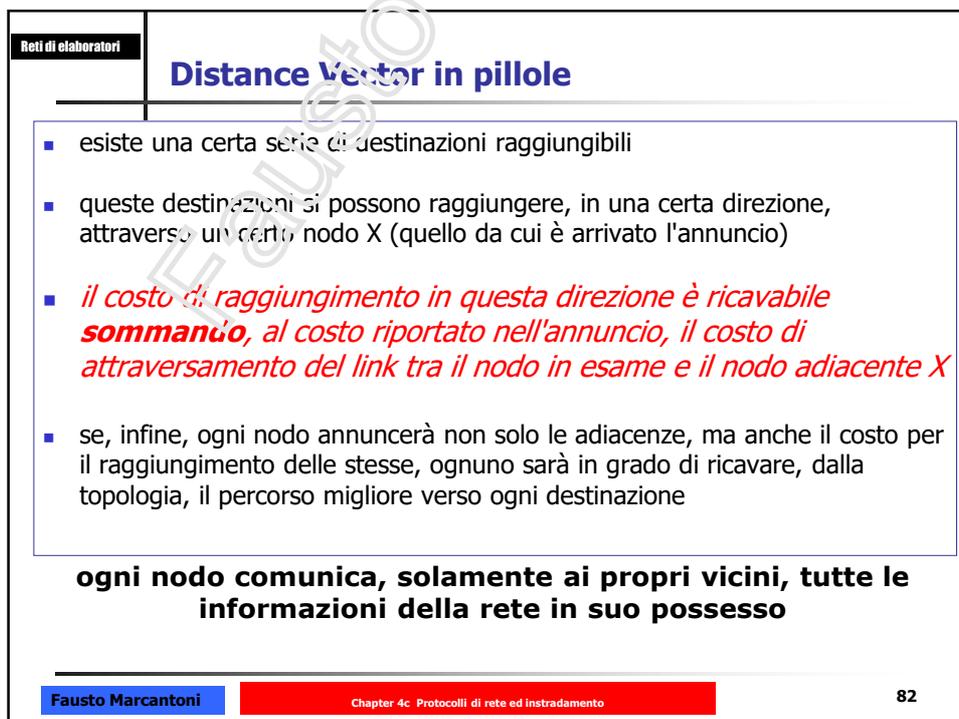
79

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Routing Algorithms: Tassonomie (4/4)</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Algoritmi di <b>instradamento globali</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcola il percorso di minor costo fra una sorgente e una destinazione usando <b>conoscenze sulla rete complete (globali)</b></li> <li>■ L'algoritmo prende come input la <b>connettività fra tutti i nodi e tutti i costi dei link</b></li> <li>■ L'algoritmo ottiene in qualche modo queste informazioni prima di eseguire effettivamente il calcolo (<b>flooding</b>)</li> <li>■ Il calcolo del percorso può essere eseguito in un posto (<b>un algoritmo di instradamento globale centralizzato</b>) o replicato in più siti</li> <li>■ Si chiamano <b>algoritmi link state</b> (basati sullo stato dei link), poiché <b>l'algoritmo deve essere a conoscenza del costo di ciascun link nella rete</b></li> </ul> </li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
80	

80



81



82

Reti di elaboratori

## Distance Vector - vantaggi e svantaggi

Vantaggi:

- semplice da implementare;
- non richiede grandi capacità elaborative e memoria occupata sul router

Svantaggi:

- possono innescarsi dei loop a causa di particolari variazioni della topologia;
- lenta convergenza (arrivo ad uno stato stabile);
- vedono la rete dalla prospettiva dei vicini. E' quindi difficile capirne e prevederne il comportamento su reti grandi. Nessun nodo ha una mappa della rete;
- metrica basata sui salti e non sulla banda;
- il hop-count-limit limita la dimensione della rete: il numero di hop ammesso dovrà essere inferiore all'hop-count-limit;
- inviano l'intera tabella di routing per cui ho un alto consumo di banda

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 83

83

Reti di elaboratori

## Principio del Link State

2. Io nodo A, conosco i link A-E ed A-C.

3. Io nodo F, conosco i link F-C ed F-E.

1. Io nodo E, conosco i link E-A ed E-F.

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 84

84

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">Link State in pillole</h2>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ogni nodo comunicherà lo <b>stato delle sue adiacenze</b> (che avrà imparato attraverso un meccanismo a parte) a tutti i nodi della rete attraverso un qualche meccanismo di "broadcast"</li> <li>■ Ogni nodo della rete sarà quindi in grado di ricostruire la <b>topologia nell'intorno del nodo</b> che ha inviato il messaggio</li> <li>■ Se il procedimento verrà ripetuto da tutti gli altri nodi, ogni nodo riceverà queste informazioni topologiche e, facendone l'unione, sarà in grado di ricostruire <b>l'intera topologia della rete</b></li> <li>■ Se, infine, ogni nodo annuncerà non <b>solo le adiacenze, ma anche il costo</b> per il raggiungimento delle stesse, ognuno sarà in grado di ricavare, dalla topologia, il <b>percorso migliore verso ogni destinazione</b></li> </ul> <p style="text-align: center; font-weight: bold; margin-top: 20px;">ogni nodo comunica, a tutti i nodi della rete, <b>solamente le informazioni dei link adiacenti in suo possesso</b></p>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
85	

85

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">Link State - vantaggi e svantaggi</h2>
<p>Vantaggi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le informazioni vengono inviate in maniera non periodica ma al variare della topologia (<b>triggered updates</b>) quindi pochi aggiornamenti.</li> <li>• Usa lo Shortest Path per la determinazione del cammino minimo;</li> <li>• visione totale della rete (registrata nelle "topology table");</li> <li>• convergenza veloce;</li> <li>• non suscettibili di routing loops;</li> <li>• consumano poca banda.</li> </ul> <p>Svantaggi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complessi da configurare;</li> <li>• Richiede molta memoria e grandi capacità elaborative</li> <li>• richiedono una struttura gerarchica che suddivida in aree più piccole e gestibili la rete riducendo la dimensione della "topology table";</li> </ul>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
86	

86

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Link state</h2>	
<p><b>condizione iniziale:</b>  <b>Ogni router monitora e mantiene aggiornato lo stato dei suoi link incidenti</b></p> <p><b>passo 1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ogni router invia in broadcast lo stato dei propri link           <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Scopo: fornire ad ogni router della rete una vista dell'intero grafo che rappresenta la topologia della rete</li> </ul> </li> <li>➤ necessario meccanismo di flooding affidabile</li> </ul> <p><b>passo 2</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ogni router calcola i cammini minimi tra esso stesso e tutti gli altri nodi della rete</li> <li>• tutti utilizzano lo stesso algoritmo per calcolare i cammini minimi</li> <li>➤ Problema principale: scalabilità</li> </ul>		
Fausto Marcontoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento	87

87

Reti di elaboratori	<h2 style="margin: 0;">Link state</h2>	
<p><b>Ogni router monitora e mantiene aggiornato lo stato dei suoi link incidenti</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• implementata mediante un semplice <b>HELLO PROTOCOL</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ogni nodo invia un <b>HELLO PACKET</b> lungo tutti i suoi link, periodicamente</li> <li>➤ se si riceve il pacchetto dal vicino si presume che sia vivo e che il link non sia guasto</li> <li>➤ possibili perdite di pacchetti: l'assenza di uno (o di un piccolo numero) di pacchetti <i>può non essere significativa</i></li> </ul> </li> <li>• frequenza di invio dei pacchetti           <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Invio di pacchetti con regolarità in modo che il numero atteso dei pacchetti in un intervallo di tempo sia approssimativamente sempre uguale</li> <li>➤ <b>HELLO INTERVAL</b>: tempo che intercorre tra l'invio di due pacchetti consecutivi</li> </ul> </li> </ul>		
Fausto Marcontoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento	88

88

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione

ogni router invia in broadcast lo stato dei propri link, con lo scopo di fornire ad ogni router della rete una vista dell'intero grafo che rappresenta la topologia della rete

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 89

89

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione (1)

- ogni router mantiene il suo **"link state" (LS)**
- una lista di tutti i link diretti verso **i vicini e del loro costo**

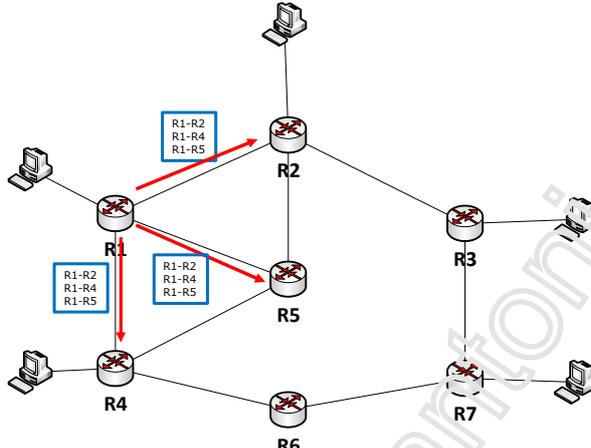
Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 90

90

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione (2)

- ogni router mantiene il suo **"link state" (LS)**
  - una lista di **tutti i link diretti verso i vicini e del loro costo**
  - invia in **broadcast lo stato dei propri link**, con lo scopo di fornire ad ogni router della rete una vista dell'intero grafo che rappresenta la topologia della rete



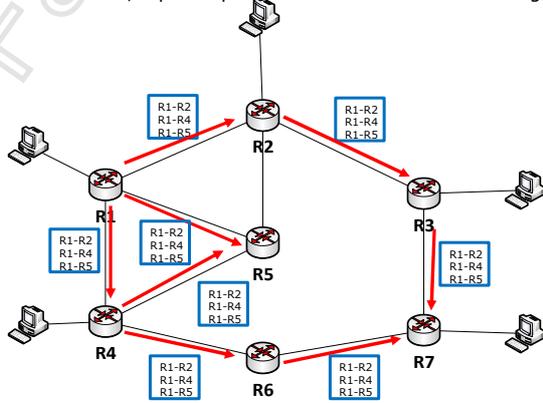
Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 91

91

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione (3)

- ogni router mantiene il suo **"link state" (LS)**
  - una lista di **tutti i link diretti verso i vicini e del loro costo**
  - invia in **broadcast lo stato dei propri link**, con lo scopo di fornire ad ogni router della rete una vista dell'intero grafo che rappresenta la topologia della rete
    - alla ricezione di un nuovo **messaggio LS**, un router lo **propaga a sua volta a tutti i suoi vicini**, a parte quello da cui ha ricevuto il messaggio.



Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 92

92

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione (4)

- ogni router mantiene il suo **"link state" (LS)**
  - una lista di **tutti i link diretti verso i vicini e del loro costo**
  - invia in **broadcast lo stato dei propri link**, con lo scopo di fornire ad ogni router della rete una vista dell'intero grafo che rappresenta la topologia della rete
    - alla ricezione di un nuovo **messaggio LS**, un router lo **propaga a sua volta a tutti i suoi vicini**, a parte quello da cui ha ricevuto il messaggio.

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 93

93

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione (5)

alla fine, tutti i router possono costruire un grafo della intera rete

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 94

94

Reti di elaboratori

## Link state - simulazione (6)

alla fine, **tutti i router possono costruire un grafo della intera rete**

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 95

95

Reti di elaboratori

## Link state

dopo che i router hanno **ricostruito lo stato globale dell'intera rete** si possono applicare al **grafo risultante** un qualsiasi algoritmo per il calcolo dei cammini minimi

**SSSP: single source shortest path**

**interessa trovare i cammini minimi dal router a tutti gli altri router della rete.**

Algoritmi SSSP, Shortest Path algorithms

- **Dijkstra: pesi sugli archi strettamente positivi**
- **Bellman-Ford: può gestire anche pesi negativi**

Link state utilizza l'algoritmo di Dijkstra's shortest path tree (SPT)

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 96

96

Reti di elaboratori

**Calcola uno shortest path first tree**

**Calcola uno shortest path first tree da R0**

Diagram showing a network of 9 routers (R0 to R8) and their interconnections with link costs. The routers are arranged in a grid-like structure. R0 is the root. The links and their costs are: R0-R1 (4), R0-R7 (8), R1-R2 (8), R1-R8 (11), R2-R3 (7), R2-R8 (2), R3-R4 (9), R7-R8 (7), R7-R6 (1), R8-R6 (6), R6-R5 (2), R5-R4 (10), R5-R3 (14).

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 97

97

Reti di elaboratori

**Calcola uno shortest path first tree**

Diagram showing the same network of 9 routers (R0 to R8) and their interconnections with link costs. The routers are arranged in a grid-like structure. R0 is the root. The links and their costs are: R0-R1 (4), R0-R7 (8), R1-R2 (8), R1-R8 (11), R2-R3 (7), R2-R8 (2), R3-R4 (9), R7-R8 (7), R7-R6 (1), R8-R6 (6), R6-R5 (2), R5-R4 (10), R5-R3 (14).

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 98

98

Reti di elaboratori

### Calcola uno shortest path first tree

The network diagram shows 9 routers (R0-R8) and their interconnections with link costs:

- R0-R1: 4
- R0-R7: 8
- R1-R2: 8
- R1-R7: 11
- R2-R3: 7
- R2-R8: 2
- R3-R4: 9
- R3-R5: 14
- R4-R5: 10
- R5-R6: 2
- R5-R8: 4
- R6-R7: 1
- R7-R8: 7

Two partial shortest path first trees are shown below:

- Tree 1:** Root R0. Edges: R0-R1 (4), R0-R7 (8), R1-R2 (8), R7-R8 (7), R8-R6 (6).
- Tree 2:** Root R0. Edges: R0-R1 (4), R0-R7 (8), R1-R2 (8), R7-R6 (1), R6-R5 (2).

Fausto Marcontoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 99

99

Reti di elaboratori

### Calcola uno shortest path first tree

The network diagram is identical to slide 99. A new node 'PJ' is added, connected to R1 with a link cost of 1.

Two complete shortest path first trees are shown below:

- Tree 1:** Root R0. Edges: R0-R1 (4), R0-R7 (8), R1-R2 (8), R7-R8 (7), R8-R6 (6), R6-R5 (2), R5-R4 (10).
- Tree 2:** Root R0. Edges: R0-R1 (4), R0-R7 (8), R1-R2 (8), R7-R6 (1), R6-R5 (2), R5-R4 (10), R2-R3 (7), R3-R4 (9).

Fausto Marcontoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 100

100

Reti di elaboratori

### Calcola uno shortest path first tree

soluzione finale appare come un albero di cammini minimi dalla sorgente (R0) a tutti gli altri nodi

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 101

101

Reti di elaboratori

### Albero di instradamento

Definizione dell'albero di instradamento

Dato l'elenco delle destinazioni raggiungibili è necessario calcolare l'albero di instradamento, ossia i percorsi seguiti dai pacchetti da un dato router verso tutte le destinazioni

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 102

102

Reti di elaboratori

## Albero di instradamento

Definizione dell'albero di instradamento

*Dato l'elenco delle destinazioni raggiungibili è necessario calcolare l'albero di instradamento, ossia i percorsi seguiti dai pacchetti da un dato router verso tutte le destinazioni*

Nel caso di una topologia semplice (come quella in figura) è possibile utilizzare la capacità umana di determinare i percorsi più brevi. Con topologie più complesse è possibile utilizzare algoritmi per il calcolo dello shortest path, ad esempio l'algoritmo di Dijkstra.

103

Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento

Fausto Marcantoni

103

Reti di elaboratori

## Albero di instradamento

Ad esempio, la rete Net5 sarà raggiungibile a costo 3 a partire dal router R1. I costi sono necessari **per poter privilegiare un percorso rispetto ad un altro** (o scegliere quello a costo migliore) nel momento in cui percorsi multipli esistono per una stessa destinazione.

104

Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento

Fausto Marcantoni

104

Reti di elaboratori

### Albero di instradamento

Definire l'albero di instradamento di tutti i nodi della rete in figura. Scrivere inoltre la tabella di routing di ogni router, in forma (router di destinazione - next hop router).

Nodo A	
Destinazione	Next-hop
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 105

105

Reti di elaboratori

### Albero di instradamento

Si noti come alcuni router abbiano percorsi equivalenti per una stessa destinazione (ad esempio C ha due percorsi equivalenti a costo 6 verso A)

Fausto Marcantoni Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento 106

106

Reti di elaboratori		Albero di instradamento							
<b>Nodo A</b>		<b>Nodo B</b>		<b>Nodo C</b>		<b>Nodo D</b>			
Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop
B	B	A		A		A		A	
C	B/E	C		B		B		B	
D	B/E	D		D		D		C	
E	E	E		E		E		E	
F	E	F		F		F		F	
G	E	G		G		G		G	
H	E	H		H		H		H	
<b>Nodo E</b>		<b>Nodo F</b>		<b>Nodo G</b>		<b>Nodo H</b>			
Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop
A		A		A		A		A	
B		B		B		B		B	
C		C		C		C		C	
D		D		D		D		D	
F		E		E		E		E	
G		G		F		F		F	
H		H		H		H		G	

Fausto Marcantoni
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
107

107

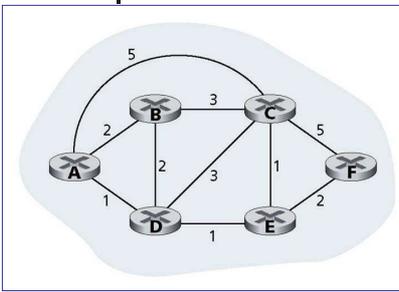
Reti di elaboratori		Albero di instradamento							
<b>Nodo A</b>		<b>Nodo B</b>		<b>Nodo C</b>		<b>Nodo D</b>			
Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop
B	B	A	A	A	D	A	B/G	A	B/G
C	B/F	C	D	B	D	B	B	B	B
D	B/E	D	D	D	D	D	C	C	C
E	E	E	A	E	D	E	G	E	G
F	E	F	A	F	D	F	G	F	G
G	E	G	D	G	D	G	G	G	G
H	E	H	D	H	D	H	G	H	G
<b>Nodo E</b>		<b>Nodo F</b>		<b>Nodo G</b>		<b>Nodo H</b>			
Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop	Destinazione	Next-hop
A	A	A	E	A	E	A	G	A	G
B	A	B	E	B	D	B	G	B	G
C	G	C	E	C	D	C	G	C	G
D	G	D	E	D	D	D	G	D	G
F	F	E	E	E	E	E	G	E	G
G	G	G	E	F	E	F	G/F	F	G/F
H	G	H	E/H	H	H	G	G	G	G

Fausto Marcantoni
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
108

108

**Reti di elaboratori**

## Algoritmo di instradamento basato sullo stato dei link



Percorsi di minor costo da A a tutte le destinazioni

Passo	N	B	C	D	E	F
0	A	2,A	5,A	1,A	inf	inf
1	AD	2,A	4,D		2,D	inf
2	ADE	2,A	3,E			4,E
3	ADEB		3,E			4,E
4	ADEBC					4,E
5	ADEBCF					

Tabella d'instradamento di A

Destinazione	Verso	Costo
F	D	4
C	D	3
B		2
E	D	2
D		1

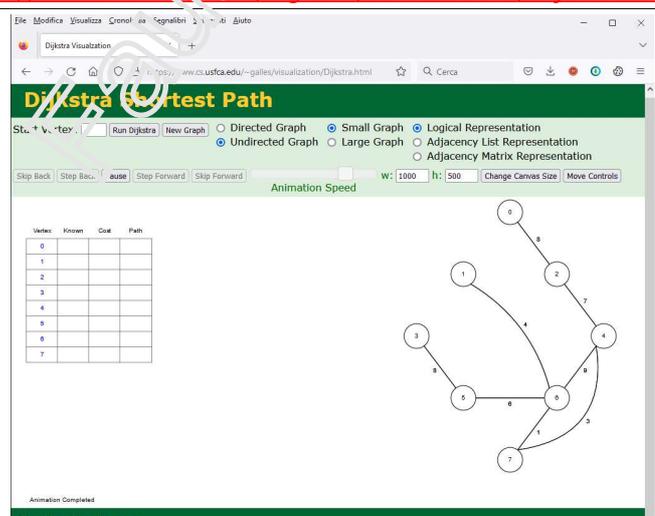
Fausto Marcantoni
Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
109

109

**Reti di elaboratori**

## Dijkstra simulation

<https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/Dijkstra.html>



Fausto Marcantoni
Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento
110

110

**Reti di elaboratori**

## Dijkstra simulation

<https://graphonline.ru/en/>

Our project is now open source. More details...

© Graph Online is online project aimed at creation and easy visualization of graph and shortest path searching. Also you can create graph from adjacency matrix. About project and look help page: 2015 - 2022

**Fausto Marcantoni** Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento **111**

111

**Reti di elaboratori**

## Dijkstra simulation

<https://algorithms.wtf/tutorials/dijkstra/>

IDP Project of Lisa Velten at Chair MB of Technischen Universität München, 2014 | GDE | Terms of Use | About Us | Support Us

**Fausto Marcantoni** Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento **112**

112

Reti di elaboratori

## Dijkstra's Shortest Path

## Dijkstra's Shortest Path Calculator

<https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/Dijkstra.html>  
<http://computer.howstuffworks.com/routing-algorithm3.htm>  
<http://optlab-server.sce.carleton.ca/POAnimations2007/DijkstrasAlgo.html>  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_di\\_Dijkstra](https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_di_Dijkstra)  
<https://www.youtube.com/watch?v=SeQomfq19P8>

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 113

113

Reti di elaboratori

## Confronto LS e DV : complessità

- LS
  - Il numero complessivo di nodi dove cercare in tutte le iterazioni e  $n(n-1)/2 \rightarrow O(n^2)$
  - Quando cambia un costo di un link deve essere inviato a tutti i nodi
  - Potenzialmente soffre di oscillazioni
- DV
  - Può convergere lentamente in funzione dei costi dei link
  - Soffre del problema del conteggio infinito
  - Quando cambia un costo del link si propagherà il risultato solo se esso si tradurrà in una variazione del percorso di minor costo per uno dei nodi collegati a quel link.

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 114

114

Reti di elaboratori

## Implementazione del flooding

- ogni router invia informazione su tutti i suoi link di uscita
- anche il prossimo router invia informazioni su tutte le porte di uscita
  - eccetto che al router da cui ha ricevuto l'informazione
  - necessità di ricordare i messaggi precedenti, e sopprimere i duplicati!

115

115

Reti di elaboratori

## Implementazione del flooding

Flooding affidabile:

- ✓ assicurare che tutti i nodi ricevano le notifiche di link-state
- ✓ assicurare che tutti i nodi usino gli aggiornamenti più recenti

Difficoltà

- perdita di pacchetti
- arrivi fuori ordine

Soluzioni

- acknowledgments e ritrasmissioni
- numeri di sequenza

116

116

Reti di elaboratori	<h2 style="color: blue; margin: 0;">Implementazione del flooding</h2>	
<h3 style="margin: 10px 0;">Quando inizia il flooding</h3>		
<p>Cambio nella topologia</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ fallimento di link oppure di nodi</li><li>➤ recovery di link oppure di nodi</li></ul>		
<p>Cambi di configurazione</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ cambi nel costo dei link</li><li>✓ costi possono essere dinamici: frequenti i cambi</li></ul>		
<p>Periodicamente</p> <ul style="list-style-type: none"><li>❖ refresh delle notifiche link-state</li><li>❖ ogni (ad esempio) 30 minuti, correzioni di possibili dati corrotti</li></ul>		
Fausto Marcantoni	Chapter 4c Protocolli di rete ed instradamento	117