



**Laurea
in
INFORMATICA**

INTERNET e RETI di CALCOLATORI A.A. 2025/2026
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.*

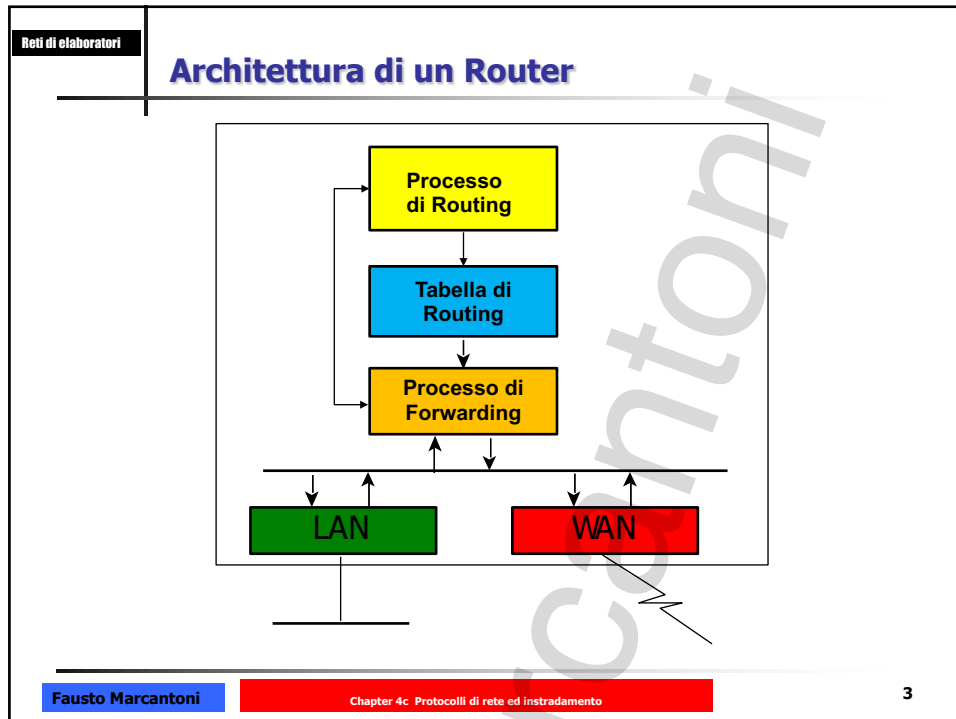
Copyright notice

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.

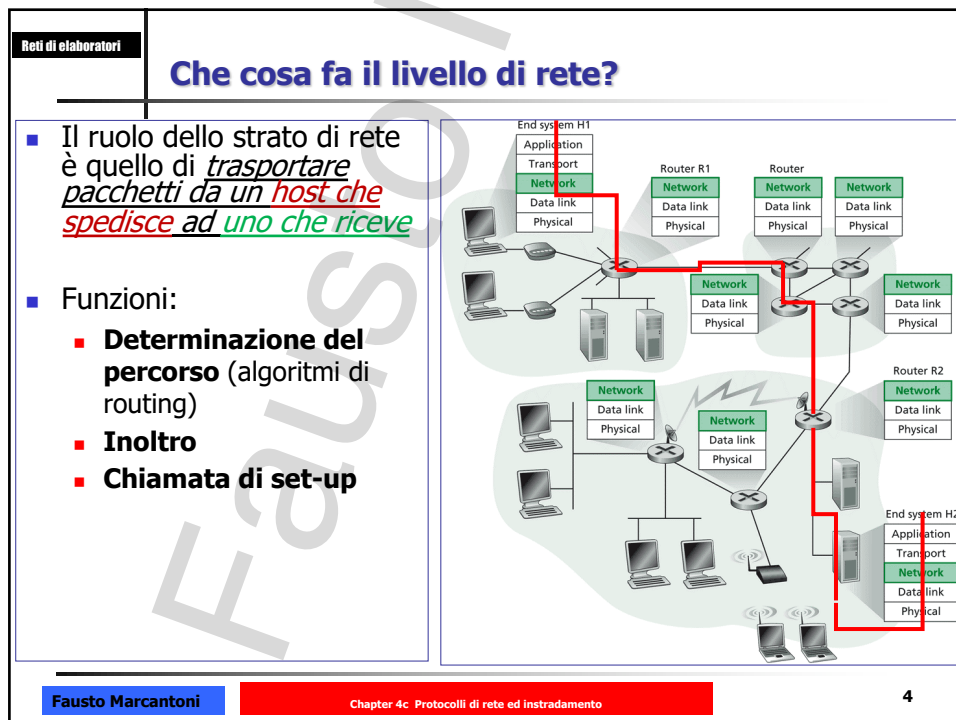


Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 2

2



3



4

Reti di elaboratori	Routing e Forwarding (1/3)
■ I termini "instradamento" (routing) e "inoltro" (forwarding) sono spesso usati (erroneamente) in modo intercambiabile: ■ "Instradamento" fa riferimento al processo globale, che copre l'intera rete, e determina i percorsi da estremo a estremo che i datagrammi IP seguiranno dalla sorgente alla destinazione ■ "Inoltro" fa riferimento all'azione eseguita localmente nel router per il trasferimento di un datagramma dall'interfaccia di un link di ingresso all'opportuna interfaccia di un link di uscita.	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

5

5

Reti di elaboratori	Routing e Forwarding (2/3)
■ Routing ■ Determina le destinazioni raggiungibili da ogni nodo ■ Calcola il percorso migliore ■ Inserisce le informazioni locali in ogni nodo ■ Forwarding ■ Inoltra i pacchetti "nodo per nodo" utilizzando le informazioni locali ■ E' indipendente su ogni nodo ■ Non è a conoscenza della rete (globalmente) ■ Forwarding e routing ■ Ambedue necessari per l'operatività di una rete ■ Routing: può essere ■ diretto ■ statico/manuale (demandato all'amministratore) ■ dinamico	
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

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

Value in arriving packet's header: 0111

7

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

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**

8

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

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]
  
```

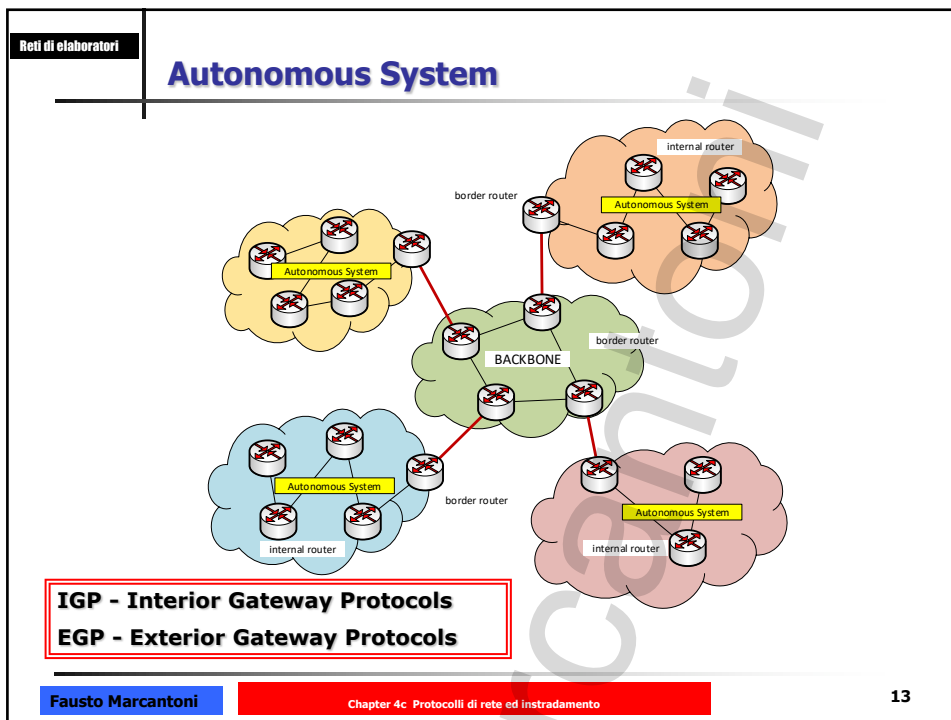
Internet è organizzata in sezioni omogenee da un punto di vista amministrativo (**Autonomous System**) che impongono la massima gerarchia

Fausto Marcantoni

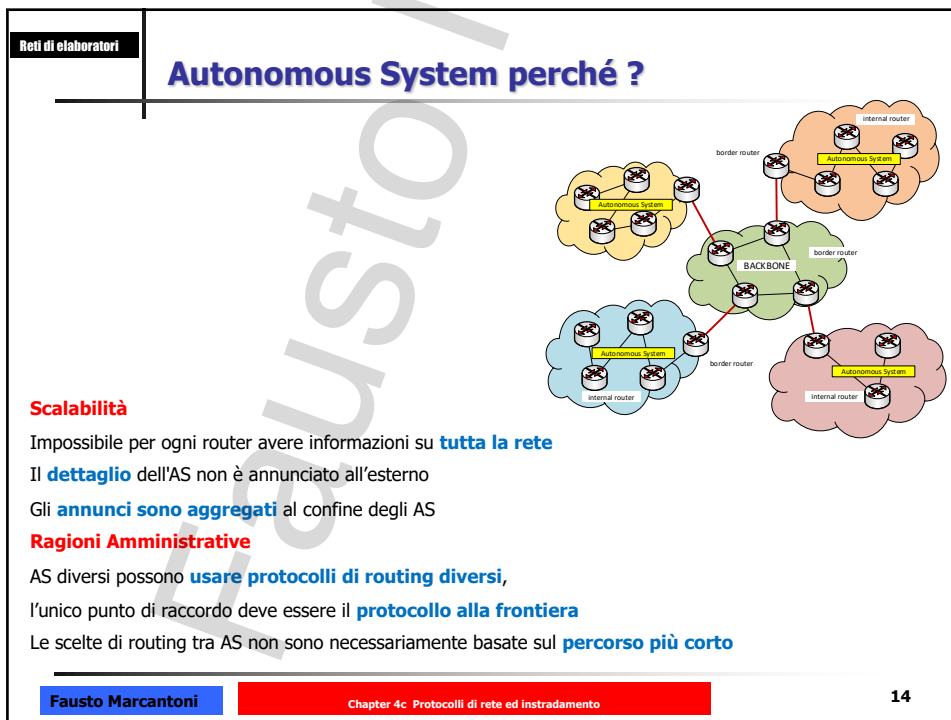
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

12

12



13



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

EGP - 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

Autonomous System

- ⚙ Si definisce come sistema autonomo (AS) un insieme di host, router e reti fisiche controllate da una **singola autorità amministrativa**
- ⚙ Ogni AS è **identificato da un numero** assegnato dal NIC (https://www.nameex.it/connected_networks/) **GARR – AS137**
- ⚙ Ogni AS è **libero di scegliere** i criteri di determinazione delle strade al suo interno
- ⚙ Ogni AS deve però affidare in modo specifico ad uno o più router (**border router**) il compito di comunicare al mondo esterno le informazioni di routing al suo interno
- ⚙ Le informazioni di instradamento riguardanti le **strade all'interno** di un sistema autonomo sono gestite tra i router del AS per mezzo degli **Interior Gateway Protocols(IGP)**
- ⚙ Le informazioni di instradamento riguardanti **strade che coinvolgono più di un sistema autonomo** sono scambiate mediante gli **Exterior Gateway Protocols (EGP)** tra i border router

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

17

17

Reti di elaboratori

visualizzare gli indirizzi IP di un Autonomous System (1/2)

Per visualizzare gli indirizzi IP di un Autonomous System (AS), puoi utilizzare diversi strumenti online e comandi da terminale.

Utilizzo di strumenti online:

WHOIS:
 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 [WHOIS Lookup](#).

RIPE Database:
 Il RIPE Database (per le regioni europee e alcune altre) può essere utilizzato per ottenere informazioni dettagliate su un AS, inclusi gli indirizzi IP.
[RIPE Database](#).

Utilizzo di bgpview.io:
 Puoi utilizzare il sito web [BGPView](#) per ottenere informazioni dettagliate su un Autonomous System, inclusi gli indirizzi IP.

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 - AS 137

AS number details

AS137

Consortium GARR · garr.it

Search an IP or AS number

Summary	Country	Italy
IP Address Ranges	Website	garr.it
WHOIS	Hosted domains	5,109
Hosted Domains	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 EGP

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

Politiche di routing

- ✓ I **problemi di routing** tra AS sono diversi rispetto ai problemi di instradamento interni all'AS
- ✓ In un AS si tende a ottenere **l'instradamento ottimo** verso la destinazione
- ✓ L'instradamento tra AS implica **problemi di autorizzazione** all'uso di risorse
- ✓ Un AS potrebbe **non desiderare essere utilizzato** come transito tra altri due AS
- ✓ Si possono quindi **avere percorsi non ottimi** a causa di accordi (o mancati accordi) di tipo amministrativo ed economico



AS2 è un AS di transito da AS1 ad AS3

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

23

23

Reti di elaboratori

intra / inter autonomous system

Internet è una rete di Autonomous System, almeno per quanto riguarda i problemi di instradamento

Esistono quindi protocolli di routing:

- ⚙️ **intra-autonomous system:** si occupano di instradare i datagrammi **tra nodi dello stesso sistema**, eventualmente delegando ai router di frontiera il problema dell'instradamento se la destinazione è esterna
- ⚙️ **inter-autonomous system:** si occupano di **instradare i datagrammi tra sistemi**, ovvero tra i loro router di frontiera

Fausto Marcantoni

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

Reti di elaboratori

Routing Protocol

```

graph TD
    RP[Routing Protocols] --> S[Static]
    RP --> D[Default]
    RP --> Dyn[Dynamic]
    Dyn --> IGP[IGP]
    Dyn --> EGP[EGP]
    IGP --> DV[Distance Vector]
    IGP --> LS[Link State]
    IGP --> H[Hybrid]
    DV --> RIP[RIP]
    DV --> IGRP[IGRP]
    LS --> OSPF[OSPF]
    LS --> ISIS[ISIS]
    H --> EIGRP[EIGRP]
    EGP --> PV[Path Vector]
    PV --> BGP[BGP]
  
```

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 26

26

Reti di elaboratori

Routing Protocol

IGP	Interior Gateway Protocol
EGP	Exterior Gateway Protocol
RIP	Routing Information Protocol
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol
OSPF	Open Shortest Path First
ISIS	Intermediate System to Intermediate System
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
BGP	Border Gateway Protocol

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

27

Reti di elaboratori

Routing distance-vector

Routing distance-vector - vettore distanza

Questo algoritmo permette ai router di **stabilire il percorso migliore** che un pacchetto in ingresso deve intraprendere per raggiungere la destinazione, **utilizzando come discriminante per la scelta di un determinato percorso** rispetto ad un altro, **il numero minimo di router da attraversare (hop)**

Ad intervalli regolari (es. ogni 30sec.) **viene inviata tutta la tabella di routing ai router adiacenti** anche se non si verificano cambiamenti nella rete

Quando un nodo riceve la tabella da parte di un vicino, il router può verificare tutte le route (ossia le destinazioni) conosciute e **apportare modifiche alla tabella di routing locale** secondo le informazioni aggiornate appena ricevute

Da notare che ciascun **router non conosce l'intera topologia della rete, ma solo quella dei suoi vicini**

Questo protocollo, a causa del **continuo aggiornamento** delle tabelle di routing, richiede parecchia banda

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	Exterior Gateway Protocols
■ EGP (Exterior Gateway Protocol) ■ È simile ad un algoritmo Distance Vector, ma non tiene conto di alcuna metrica (specifica semplicemente se una destinazione è raggiungibile o meno) ■ Non ammette la presenza di magliature nella topologia, perché potrebbe generare dei loop (funziona solo se tutti gli AS sono collegati al router EGP in modo stellare) ■ BGP (Border Gateway Protocol) ■ È una evoluzione dell'EGP, in quanto alle funzionalità di base aggiunge lo scambio di informazioni sulla raggiungibilità delle reti ■ Per lo scambio di messaggi tra le entità vengono utilizzati i servizi di trasporto offerti da TCP. Il protocollo effettua la verifica dello stato di un link o di un host inviando periodicamente messaggi di keepalive (il periodo raccomandato è di 30 sec.).	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 35

35

Reti di elaboratori	Un caso particolare: Il protocollo RIP
■ Routing Information Protocol ■ Usato dal demone "routed" in UNIX ■ Formato compatibile con i messaggi Berkeley Software Distribution (BSD) UNIX ■ Standard ufficiale IP nel 1988 (RFC 1058) ■ Protocollo Distance Vector ■ Metrica molto semplice (hop count) ■ E' il protocollo di cui esistono più realizzazioni V1, V2 ■ Versione 1 (RFC 1058) ■ Versione 2 (RFC 1723, 2453)	
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 (Triggered 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)	Must be zero	
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

Differenze tra RIPv1 e RIPv2

RIPv1 invia gli aggiornamenti di routing **in broadcast ogni 30 secondi** su tutte le interface attive, mentre con **RIPv2** i messaggi vengono inviati in **multicast sull'indirizzo 224.0.0.9**, interessando solo gli apparati con supporto a RIPv2 e consentendo un risparmio di banda sulla rete.

RIPv1 è un protocollo di routing classfull, pertanto non invia informazioni sulle subnet mask.

RIPv1 conosce solo le reti di classe A, B o C.

RIPv1 non supporta le tecniche VLSM e CIDR.

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

39

39

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

40

40

Reti di elaboratori

Pacchetto RIP

filtro

intervallo

UDP port 520

Tabella di routing

Metrica

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

41

41

Reti di elaboratori

Esempio RIP

```

interface FastEthernet0/0
 ip address dhcp
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
router rip
 version 2
 network 10.0.0.0
 network 193.205.92.0
    
```

```

interface FastEthernet0/0
 ip address 10.1.1.2 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
interface FastEthernet0/1
 ip address 10.2.2.1 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
!
router rip
 version 2
 network 10.0.0.0
    
```

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

42

42

Reti di elaboratori

Esempio RIP

```
R1#sh ip route
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 193.205.92.2 to network 0.0.0.0

C    193.205.92.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
    193.204.8.0/32 is subnetted, 1 subnets
S    193.204.8.36 [254/0] via 193.205.92.2, FastEthernet0/0
    10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
R    10.2.2.0 [120/1] via 10.1.1.2, 00:00:24, FastEthernet0/1
C    10.1.1.0 is directly connected, FastEthernet0/1
S*   0.0.0.0/0 [254/0] via 193.205.92.2
R1#
```

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

43

Reti di elaboratori

Algoritmo di aggiornamento RIP

Un router riceve un messaggio RIP dal router C

Rete2	4
Rete3	8
Rete6	4
Rete8	3
Rete9	5

Tutti gli hop count del messaggio vengono incrementati di 1

Rete2	5
Rete3	9
Rete6	5
Rete8	4
Rete9	6

Rete1	7	A
Rete2	5	C
Rete3	9	C
Rete6	5	C
Rete8	4	E
Rete9	4	F

Algoritmo di aggiornamento

Rete1	7	A
Rete2	2	C
Rete6	8	F
Rete8	4	E
Rete9	4	F

Vecchia tabella di instradamento

Nuova tabella di instradamento

RETE9 hop successivo differente, più salti, non si cambia

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

44

Reti di elaboratori

esempio

Router A Router B Router C Router D

NET	VIA	HOPS
10.1.1.0	--	0
10.1.2.0	--	0
10.1.3.0	--	0
10.1.4.0	--	0
10.1.5.0	--	0

t₀

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	10.1.3.2	1
10.1.5.0	10.1.4.2	1

t₁

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	10.1.3.2	2
10.1.5.0	10.1.4.2	2

t₂

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	10.1.3.2	2
10.1.5.0	10.1.4.2	3

t₃

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

45

Reti di elaboratori

Protocollo RIP : convergenza lenta

15 secondi n x 15 secondi

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

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

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

46

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 e stata aggiornata per 180 secondi, essa non viene ritenuta piu 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 47

47

Reti di elaboratori

Protocollo RIP: instabilità

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

48

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.

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

49

49

Reti di elaboratori

router - tabella di stato

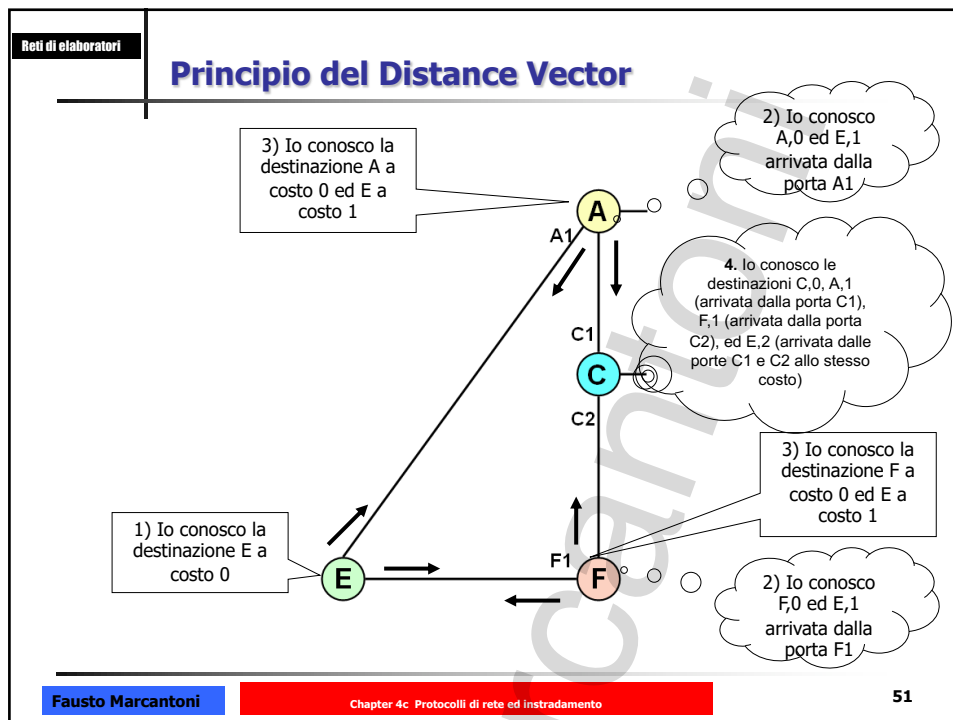
- Ogni router ha una tabella di stato in cui compare una riga (colonna) per ciascuna rete di cui il router sia a conoscenza
- Ogni riga (colonna) contiene le seguenti informazioni:
 - indirizzo identificativo della rete
 - indirizzo del primo router del percorso (next hop)
 - distanza dalla rete (numero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

Fausto Marcantoni

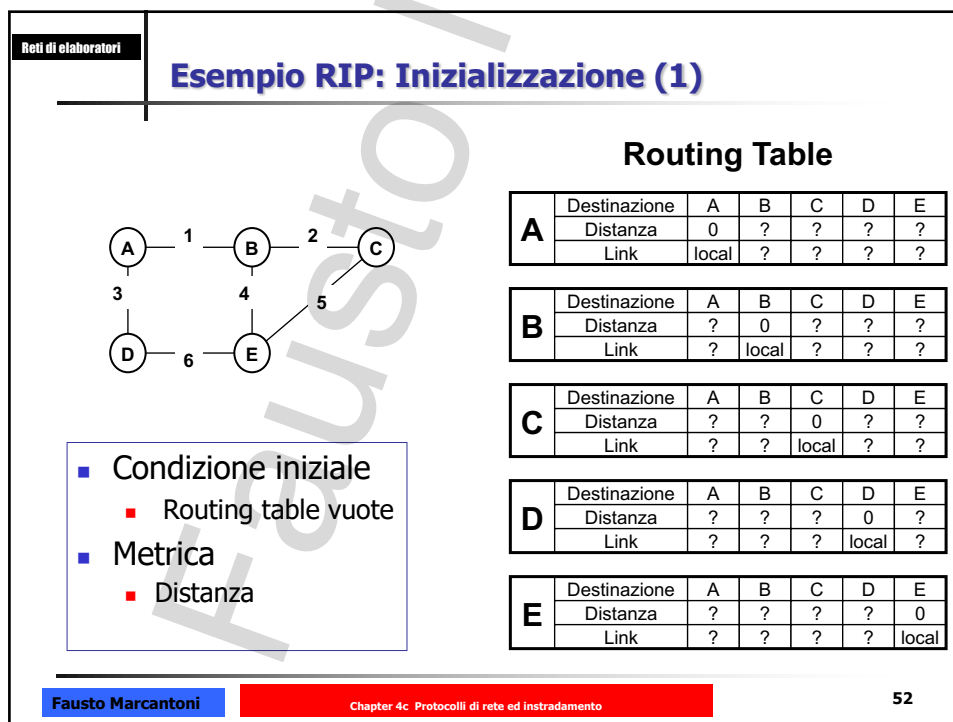
Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

50

50



51



52

Reti di elaboratori

Esempio RIP: Inizializzazione (2)

Step 2:

- A emette un messaggio verso B e D

Routing Table A

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

Routing Table B

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

Routing Table C

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

Routing Table D

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

Routing Table E

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

A

Address	A	B	C	D	E
Metric	0	---	---	---	---

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 53

53

Reti di elaboratori

Esempio RIP: Inizializzazione (3)

Step 3:

- B emette un messaggio verso A, C e E

Routing Table A

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

Routing Table B

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

Routing Table C

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

Routing Table D

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

Routing Table E

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

B

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

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 54

54

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	1	?	?	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 55

55

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 56

56

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	1	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 **57**

57

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 **58**

58

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

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	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 59

59

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](#)

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	—

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 60

60

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 **61**

61

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 **62**

62

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 **63**

63

Reti di elaboratori

Tabelle di instradamento iniziali e finali (esercizio)

T=4

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=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 **64**

64

Reti di elaboratori

Tabelle di instradamento iniziali e finali

Soluzione:

Initial Routing Tables:

- Router A:** 14 1 —, 23 1 —, 78 1 —
- Router B:** 14 1 —, 55 1 —
- Router C:** 55 1 —, 66 1 —
- Router D:** 08 1 —, 66 1 —
- Router E:** 08 1 —, 23 1 —
- Router F:** 78 1 —, 92 1 —
- Router G:** 08 1 —, 23 1 —
- Router H:** 08 1 —, 23 1 —

Final Routing Tables:

- Router A:** 08 2 E, 14 1 —, 23 1 —, 55 2 B, 66 3 E, 78 1 —, 92 2 F
- Router B:** 08 3 A, 14 1 —, 23 2 A, 55 1 —, 66 2 C, 78 2 A, 92 3 A
- Router C:** 08 2 D, 14 2 B, 23 3 D, 55 1 —, 66 1 —, 78 3 B, 92 4 B
- Router D:** 08 1 —, 14 3 B, 23 2 E, 55 2 C, 66 1 —, 78 3 E, 92 4 E
- Router E:** 08 1 —, 14 2 A, 23 1 —, 55 3 B, 66 2 D, 78 2 A, 92 3 A
- Router F:** 08 3 A, 14 2 A, 23 2 A, 55 3 A, 66 4 A, 78 1 —, 92 1 —
- Router G:** 08 1 —, 14 3 B, 23 2 E, 55 2 C, 66 1 —, 78 3 E, 92 4 E
- Router H:** 08 1 —, 14 3 B, 23 2 E, 55 2 C, 66 1 —, 78 3 E, 92 4 E

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 65

65

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 Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 66

66

Reti di elaboratori	Link State Routing
■ I LSP (<i>link state packets</i>) sono emessi ■ quando un router contatta un nuovo router vicino ■ quando un link si guasta ■ quando il costo di un link varia ■ periodicamente ogni fissato intervallo di tempo ■ La rete trasporta i LSP mediante la tecnica del flooding ■ un LSP è rilanciato da un router su tutte le sue interfacce tranne quella da cui è stato ricevuto ■ i LSP trasportano dei riferimenti temporali (time stamp) o numeri di sequenza per ■ evitare il rilancio di pacchetti già rilanciati ■ consentire un corretto riscontro dal ricevente	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 4.67

67

Reti di elaboratori	Tecnica del "Flooding"
■ Assicura che tutti i router di una rete ■ riescano a costruire un database contenente lo stato della rete ■ abbiano le stesse informazioni sullo stato dei link ■ Alla ricezione di un LSP (<i>link state packets</i>) : ■ un router esamina i campi di un LSP: link identifier, metrica, time stamp o numero di sequenza ■ se il dato non è contenuto nel database, viene memorizzato e il LSP è rilanciato su tutte le interfacce del router tranne quella di ricezione ■ se il dato ricevuto è più recente di quello contenuto nel database, il suo valore è memorizzato e il LSP è rilanciato su tutte le interfacce del router tranne quella di ricezione ■ se il dato ricevuto è più vecchio di quello contenuto nel database, viene rilanciato un LSP con il valore contenuto nel database esclusivamente sull'interfaccia di arrivo del LSP ■ se i due dati sono della stessa età non viene eseguita alcuna operazione	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 68

68

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 69

69

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 70

70

Reti di elaboratori

Il protocollo OSPF(Open Shortest Path First)

- Ciascun router OSPF gestisce una mappa della rete:
 - Link Status Information oppure Link State Database (LSDB)
 - Il database viene aggiornato **ogniqualevolta cambia la topologia**
 - Contiene voci per **tutte le reti** a cui è attaccato ciascun router
 - **Assegna una metrica** di costo di uscita associata ad ogni interfaccia di rete del router
- Le voci del LSDB si basano su informazioni LSA (Link Status Advertisements)
- Una rete si trova in uno **stato di convergenza** quando LSDB è il medesimo per ciascun router
- Quando la rete è in stato di convergenza viene calcolato per ciascun nodo il percorso più breve attraverso **l'algoritmo di Dijkstra**
- Tali informazioni vengono **salvate per ogni nodo** in un albero dei percorsi più brevi
- Dall'albero si tracciano le tabelle di routing

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

71

71

Reti di elaboratori

l'algoritmo di Dijkstra

l'algoritmo di Dijkstra

<http://computerscience.unicam.it/merelli/algoritmi06/%5b13%5dalgoritmiSuGraf.pdf>
https://it.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_di_Dijkstra
http://www.math.unipd.it/~luigi/courses/ricop0809/ro_12.m03.flussi.02.pdf
<https://www.youtube.com/watch?v=WN3Rb9wVYDY>
<https://www.youtube.com/watch?v=JnzrdK59pV4>

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

72

72

Reti di elaboratori

Metriche usate

- ✓ Conteggio dei salti (hop count)
- ✓ Ritardo (delay)
 - ✓ Quantità di tempo richiesta per un pacchetto dalla rete di origine a quella di destinazione
- ✓ Volume di traffico (troughput)
 - ✓ Larghezza di banda disponibile
- ✓ Affidabilità (reliability)
- ✓ Costi di comunicazione (communication costs)

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

73

73

Reti di elaboratori

Il protocollo BGP

- Border Gateway Protocol è un protocollo di instradamento tra sistemi autonomi
- Il metodo usato dal protocollo è detto *instradamento a vettori di percorso* (path vector)
- Router adiacenti comunicano attraverso un protocollo affidabile come TCP con porta 179
- Per ogni destinazione IP è fornita la sequenza di AS da attraversare
- Fornisce i meccanismi per
 - Diffondere informazioni
 - Descrivere criteri di scelta per percorsi su cui inoltrare il traffico

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

74

74

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 75

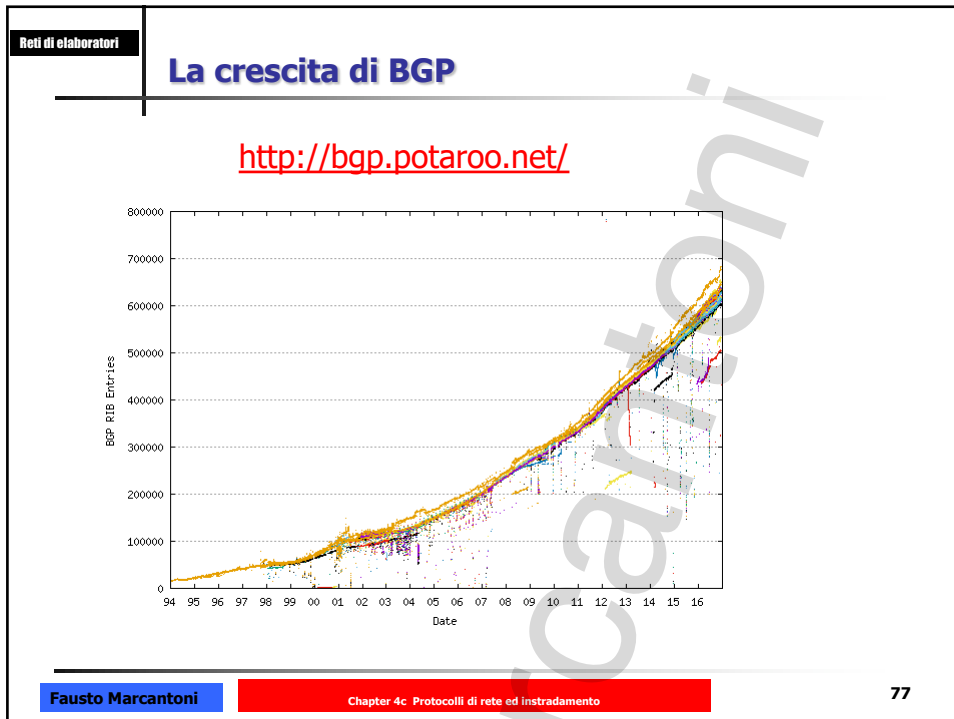
75

Reti di elaboratori

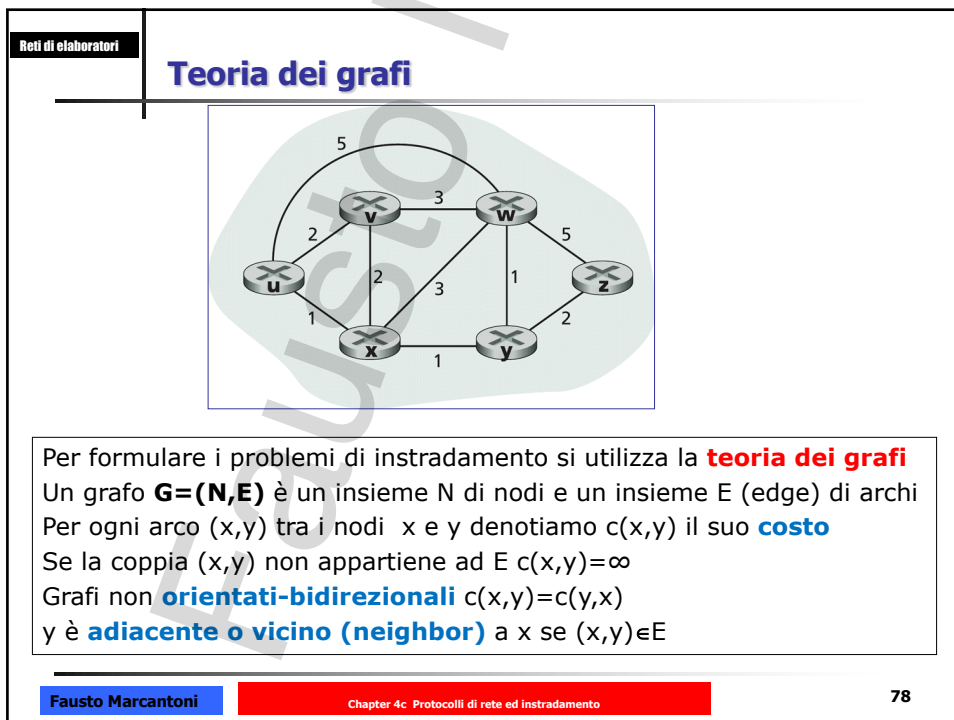
Messaggi PATH VECTOR

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

76



77



78

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 fra sorgente e destinazione

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 79

79

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 è 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 80

80

Reti di elaboratori	Routing Algorithms: Tassonomie (1/4)
■ algoritmi di instradamento statici ■ Tabelle manuali ■ I paths cambiano raramente ■ algoritmi di instradamento dinamici ■ modificano i percorsi di instradamento non appena varia il carico di traffico in rete o la topologia ■ Un algoritmo dinamico può funzionare sia periodicamente sia come risposta diretta alle variazioni di topologia o dei costi dei link <i>Mentre gli algoritmi dinamici sono più reattivi alle variazioni nella rete, essi sono anche più suscettibili a problemi come routing loop (percorsi ciclici) e oscillazioni nei percorsi.</i> <i>Negli altri, se cade un link cade un instradamento verso determinati percorsi</i>	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 81

81

Reti di elaboratori	Routing Algorithms: Tassonomie (2/4)
■ algoritmi sensibili al carico ■ I costi dei link variano dinamicamente per riflettere lo stato attuale di congestione del link in questione ■ 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 ■ algoritmi insensibili al carico ■ Quelli di Internet oggi ■ Il costo di un link tipicamente non riflette il suo attuale (o recente) livello di congestione ■ RIP OSPF e BGP ne sono alcuni esempi	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 82

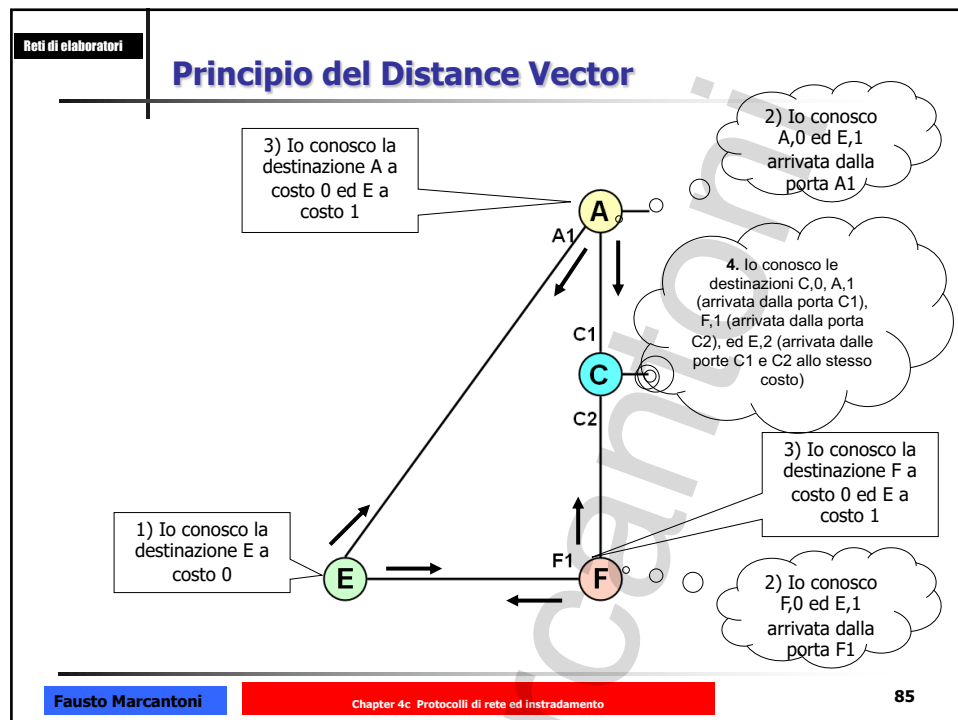
82

Reti di elaboratori	Routing Algorithms: Tassonomie (3/4)
■ Algoritmi di instradamento decentralizzati ■ Il calcolo del percorso di minor costo è eseguito in modo iterativo e distribuito ■ Nessun nodo ha informazioni complete sul costo di tutti i link della rete. Ciascun nodo comincia con la sola conoscenza del costo dei link a esso direttamente collegati ■ Attraverso un processo iterativo di calcolo e scambio di informazioni con i nodi a esso vicini un nodo calcola gradualmente il percorso di minor costo verso una destinazione o un gruppo di destinazioni ■ Si chiamano algoritmi distance vector (vettore delle distanze) ■ Quello che si conosce è solo: ■ il nodo vicino a cui si deve inviare un pacchetto allo scopo di raggiungere una data destinazione lungo il percorso di minor costo ■ il costo del percorso da se stesso alla destinazione	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 83

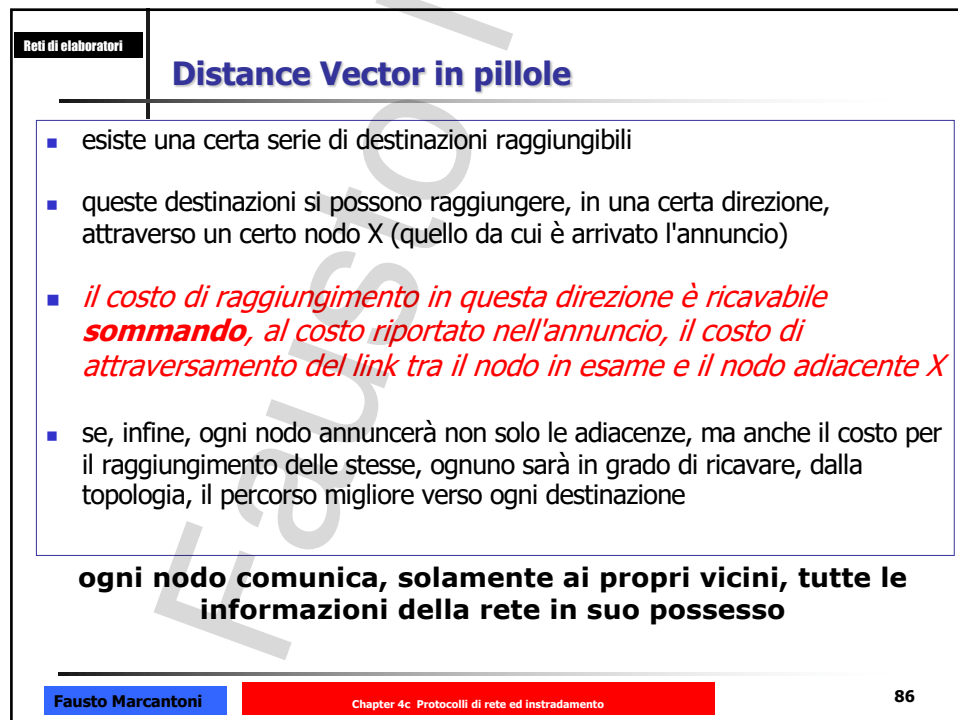
83

Reti di elaboratori	Routing Algorithms: Tassonomie (4/4)
■ Algoritmi di instradamento globali ■ Calcola il percorso di minor costo fra una sorgente e una destinazione usando conoscenze sulla rete complete (globali) ■ L'algoritmo prende come input la connettività fra tutti i nodi e tutti i costi dei link ■ L'algoritmo ottiene in qualche modo queste informazioni prima di eseguire effettivamente il calcolo (flooding) ■ Il calcolo del percorso può essere eseguito in un posto (un algoritmo di instradamento globale centralizzato) o replicato in più siti ■ Si chiamano algoritmi link state (basati sullo stato dei link), poiché l'algoritmo deve essere a conoscenza del costo di ciascun link nella rete	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 84

84



85



86

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 87

87

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 88

88

Reti di elaboratori	Link State in pillole ■ Ogni nodo comunicherà lo stato delle sue adiacenze (che avrà imparato attraverso un meccanismo a parte) a tutti i nodi della rete attraverso un qualche meccanismo di "broadcast" ■ Ogni nodo della rete sarà quindi in grado di ricostruire la topologia nell'intorno del nodo che ha inviato il messaggio ■ 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 l'intera topologia della rete ■ Se, infine, ogni nodo annuncerà non solo le adiacenze, ma anche il costo per il raggiungimento delle stesse, ognuno sarà in grado di ricavare, dalla topologia, il percorso migliore verso ogni destinazione ogni nodo comunica, a tutti i nodi della rete, solamente le informazioni dei link adiacenti in suo possesso
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

89

89

Reti di elaboratori	Link State - vantaggi e svantaggi Vantaggi: • Le informazioni vengono inviate in maniera non periodica ma al variare della topologia (triggered updates) quindi pochi aggiornamenti. • Usa lo Shortest Path per la determinazione del cammino minimo; • visione totale della rete (registrata nelle "topology table"); • convergenza veloce; • non suscettibili di routing loops; • consumano poca banda. Svantaggi: • Complessi da configurare; • Richiede molta memoria e grandi capacità elaborative • richiedono una struttura gerarchica che suddivida in aree più piccole e gestibili la rete riducendo la dimensione della "topology table";
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

90

90

Reti di elaboratori	Link state
condizione iniziale: Ogni router monitora e mantiene aggiornato lo stato dei suoi link incidenti passo 1: • ogni router invia in broadcast lo stato dei propri link ➤ Scopo: fornire ad ogni router della rete una vista dell'intero grafo che rappresenta la topologia della rete ➤ necessario meccanismo di flooding affidabile passo 2 • ogni router calcola i cammini minimi tra esso stesso e tutti gli altri nodi della rete • tutti utilizzano lo stesso algoritmo per calcolare i cammini minimi ➤ Problema principale: scalabilità	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
91	

91

Reti di elaboratori	Link state
Ogni router monitora e mantiene aggiornato lo stato dei suoi link incidenti • implementata mediante un semplice HELLO PROTOCOL ➤ ogni nodo invia un HELLO PACKET lungo tutti i suoi link, periodicamente ➤ se si riceve il pacchetto dal vicino si presume che sia vivo e che il link non sia guasto ➤ possibili perdite di pacchetti: l'assenza di uno (o di un piccolo numero) di pacchetti <i>può non essere significativa</i> • frequenza di invio dei pacchetti ➤ Invio di pacchetti con regolarità in modo che il numero atteso dei pacchetti in un intervallo di tempo sia approssimativamente sempre uguale ➤ HELLO INTERVAL: tempo che intercorre tra l'invio di due pacchetti consecutivi	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento
92	

92

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 93

93

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 94

94

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 95

95

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 96

96

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 97

97

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 98

98

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 99

99

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.

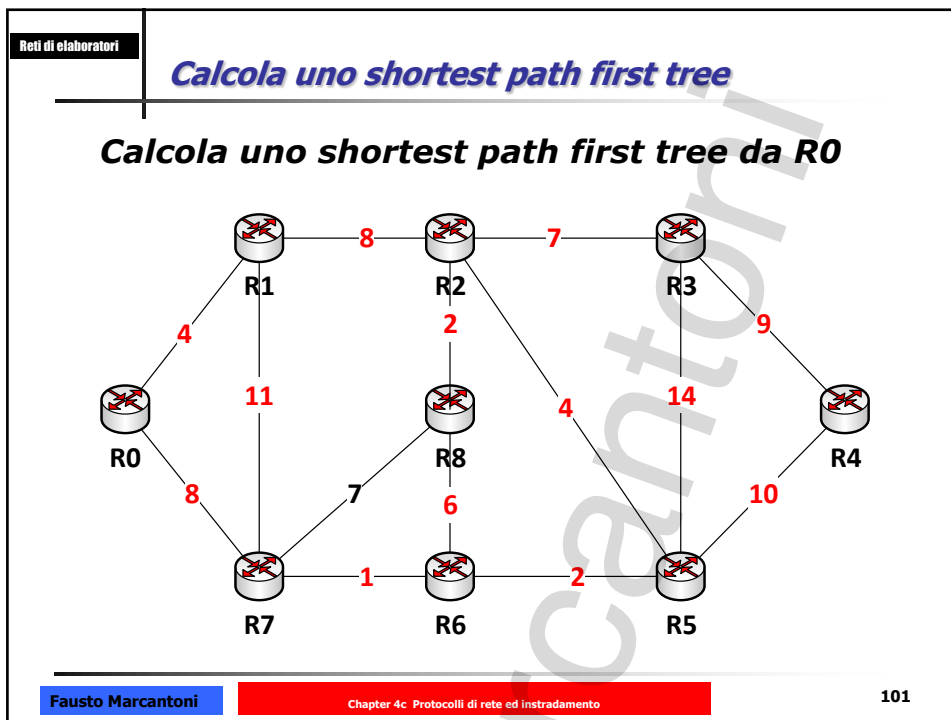
Algoritmi SSSP, Shortest Path algorithms

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

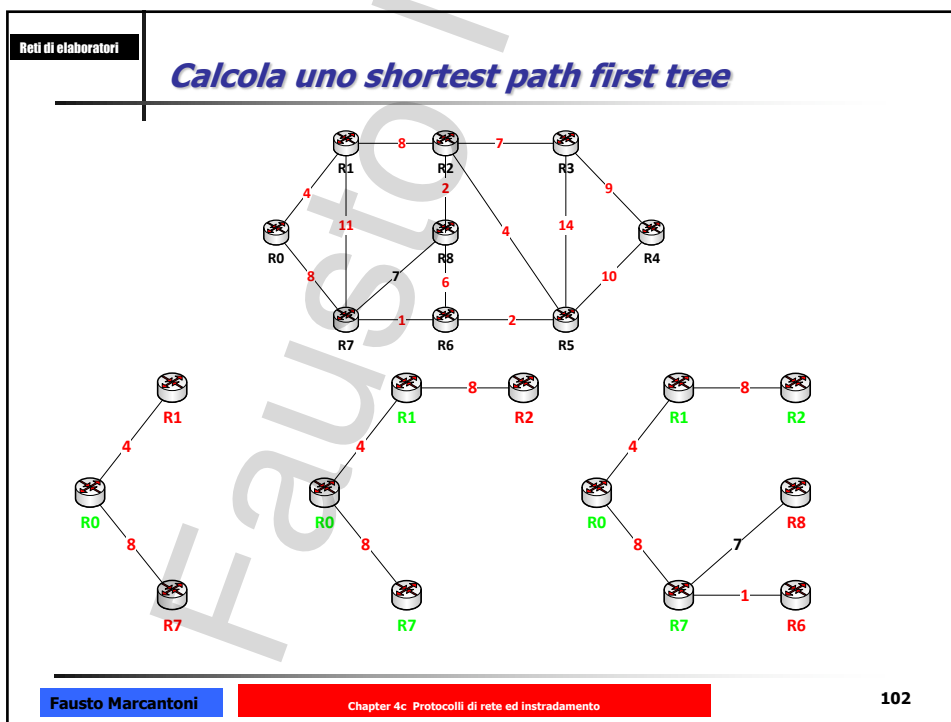
Link state utilizza l'algoritmo di Dijkstra's shortest path tree (SPT)

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 100

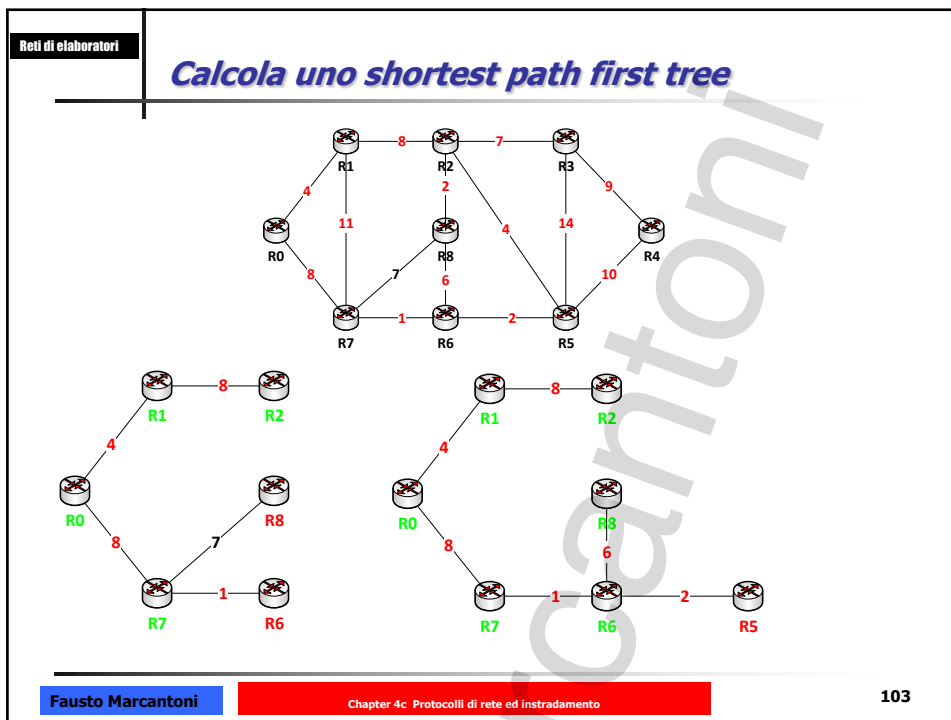
100



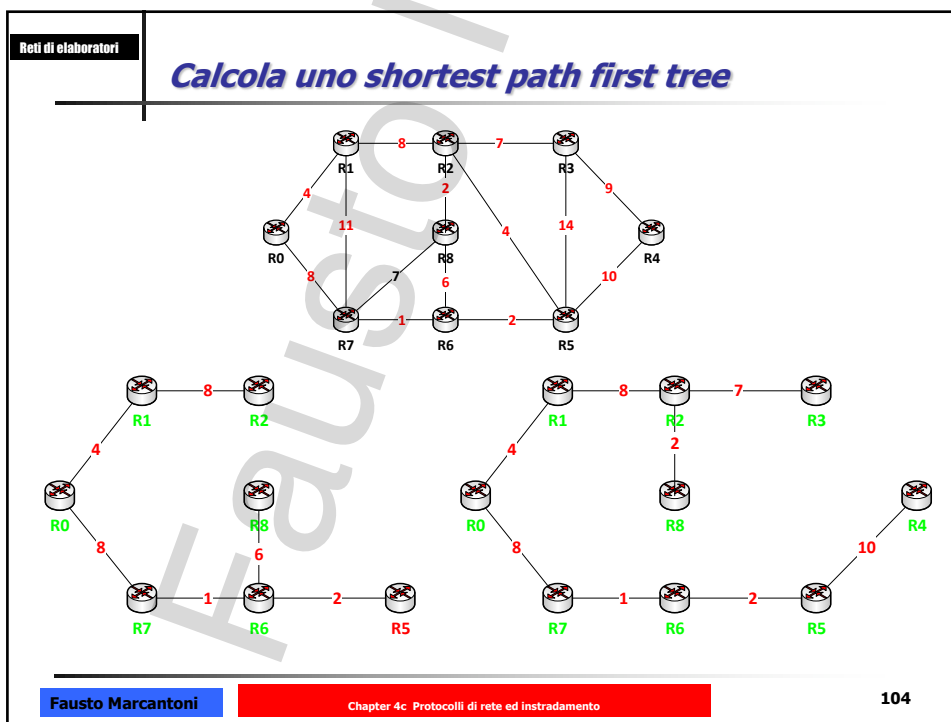
101



102



103



104

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 105

105

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 106

106

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.

107

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

107

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 (e scegliere quello a costo migliore) nel momento in cui percorsi multipli esistono per una stessa destinazione.

108

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

108

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).

Destinazione	Next-hop
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 109

109

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 110

110

Reti di elaboratori

Albero di instradamento

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

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

111

Reti di elaboratori

Albero di instradamento

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

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

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

112

Reti di elaboratori

Albero di instradamento

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

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

Fausto Marcantoni

Chapter 4c. Protocolli di rete ed instradamento

113

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

113

113

Reti di elaboratori

Algoritmo di instradamento basato sullo stato dei link

```

graph LR
    A((A)) ---|2| B((B))
    A ---|1| D((D))
    B ---|3| C((C))
    B ---|2| D
    C ---|1| E((E))
    C ---|5| F((F))
    D ---|1| E
    E ---|2| F
    A ---|5| C
  
```

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

114

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

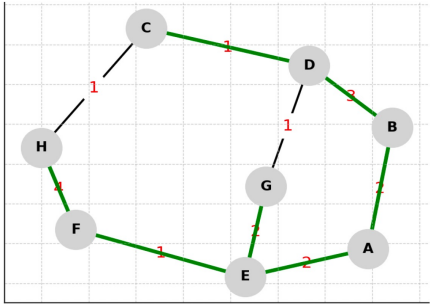
114

114

Reti di elaboratori

Router A

Albero di instradamento - Root A



Destinazione	Next Hop	Costo
B	B	2
C	B	6
D	B	5
E	E	2
F	E	3
G	E	4
H	E	7

[Routing Alberi Tabelle Curved.pdf](#)

ChatGPT

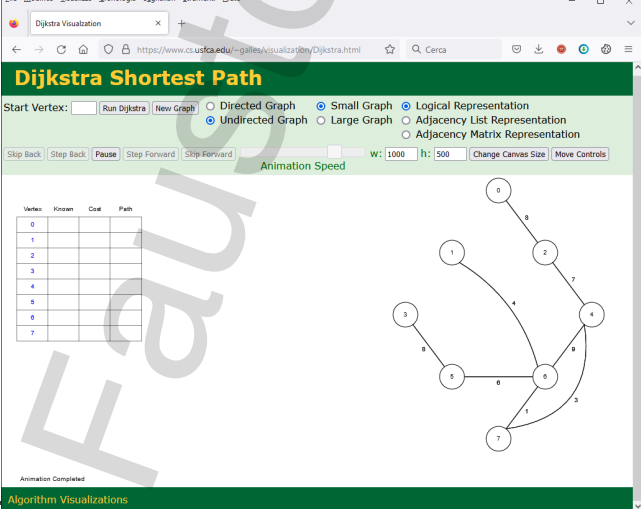
Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 115

115

Reti di elaboratori

Dijkstra simulation

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



Dijkstra Shortest Path

Start Vertex: Run Dijkstra New Graph

☐ Directed Graph ☒ Small Graph ☐ Logical Representation
☒ Undirected Graph ☐ Large Graph ☐ Adjacency List Representation
☐ Adjacency Matrix Representation

Skip Back Step Back Pause Step Forward Stop Forward
 Animation Speed W: 1000 H: 500 Change Canvas Size Move Controls

Vertex	Known	Cost	Path
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Animation Completed

Algorithm Visualizations

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 116

116

Reti di elaboratori

Dijkstra simulation

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

Find shortest path
Create graph and find the shortest path. On the Help page you will find tutorial video.

Shortest path length is 4. 1-4-5-6

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 117

117

Reti di elaboratori

Dijkstra simulation

https://algorithms.discrete.ma.tum.de/graph-algorithms/spp-dijkstra/index_en.html

Der Dijkstra-Algorithmus

Introduction Create a graph Run the algorithm Description of the algorithm Exercise 1 Exercise 2 Exercise 3 More

Which graph do you want to execute the algorithm on?

Start with an example graph:
Standard Beispiel

Modify it to your desire:

- To create a node: make a double-click in the drawing area.
- To create an edge: first click on the initial node and then click on the destination node.
- The edge weight is changed with a double-click on the edge.
- Right-clicking deletes edges and nodes.

Download the modified graph:
Download

Upload an existing graph:
Upload

What next?
Ready - Run the Algorithm

Legend

ICP Project of Lisa Velden at Chair MB of Technische Universität München. 2014 | DE | Terms of use | About us | Support

Fausto Marcantoni Chapter 4c. Protocolli di rete ed instradamento 118

118

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://www.youtube.com/watch?v=SeQomfq19P8>

Fausto Marcantoni Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 119

119

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 120

120

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!

T=0

T=1

T=2

T=3

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

121

121

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

Fausto Marcantoni

Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento

122

122

Reti di elaboratori	Implementazione del flooding
Quando inizia il flooding	
Cambio nella topologia ➤ fallimento di link oppure di nodi ➤ recovery di link oppure di nodi Cambi di configurazione ✓ cambi nel costo dei link ✓ costi possono essere dinamici: frequenti i cambi Periodicamente ❖ refresh delle notifiche link-state ❖ ogni (ad esempio) 30 minuti, correzioni di possibili dati corrotti	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 123

123

Reti di elaboratori	
Fausto Marcantoni	Chapter 4c: Protocolli di rete ed instradamento 124

124