

Progetto di una rete IP Routing

Mario Baldi
Flavio Marinone
Fulvio Riso

Nota di Copyright

- Questo insieme di trasparenze (detto nel seguito slides) è protetto dalle leggi sul copyright e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Il titolo ed i copyright relativi alle slides (ivi inclusi, ma non limitatamente, ogni immagine, fotografia, animazione, video, audio, musica e testo) sono di proprietà degli autori indicati a pag. 1.
- Le slides possono essere riprodotte ed utilizzate liberamente dagli istituti di ricerca, scolastici ed universitari afferenti al Ministero della Pubblica Istruzione e al Ministero dell'Università e Ricerca Scientifica e Tecnologica, per scopi istituzionali, non a fine di lucro. In tal caso non è richiesta alcuna autorizzazione.
- Ogni altra utilizzazione o riproduzione (ivi incluse, ma non limitatamente, le riproduzioni su supporti magnetici, su reti di calcolatori e stampate) in toto o in parte è vietata, se non esplicitamente autorizzata per iscritto, a priori, da parte degli autori.
- L'informazione contenuta in queste slides è ritenuta essere accurata alla data della pubblicazione. Essa è fornita per scopi meramente didattici e non per essere utilizzata in progetti di impianti, prodotti, reti, ecc. In ogni caso essa è soggetta a cambiamenti senza preavviso. Gli autori non assumono alcuna responsabilità per il contenuto di queste slides (ivi incluse, ma non limitatamente, la correttezza, completezza, applicabilità, aggiornamento dell'informazione).
- In ogni caso non può essere dichiarata conformità all'informazione contenuta in queste slides.
- In ogni caso questa nota di copyright non deve mai essere rimossa e deve essere riportata anche in utilizzi parziali.

L'instradamento (forwarding)

- Operazione necessaria per far comunicare tra loro reti diverse
- Viene eseguito da tutte le macchine con stack TCP/IP
- Il procedimento si applica:
 - Se l'host in esame è il mittente del pacchetto
 - Se l'host in esame non è il mittente del pacchetto
 - Router intermedio sul percorso verso la destinazione

Instradamento diretto e indiretto

Diretto

- Tra hosts nella stessa rete
- L'instradamento coinvolge solo i livelli 1 e 2 (a parte eventuali ARP request)
- Hosts identificati tramite l'HW address
 - Indirizzi MAC sulle LAN
 - Indirizzi di DTE in X.25
 - Identificatori DLCI in Frame Relay
 -

Indiretto

- Tra hosts in net diverse
- L'instradamento coinvolge i livelli 1, 2 e 3
- Hosts identificati tramite l'IP address
- Gli host devono conoscere almeno un gateway presente sulla loro rete fisica: *tabella di instradamento*

Domanda fondamentale: la destinazione appartiene alla mia stessa rete IP?

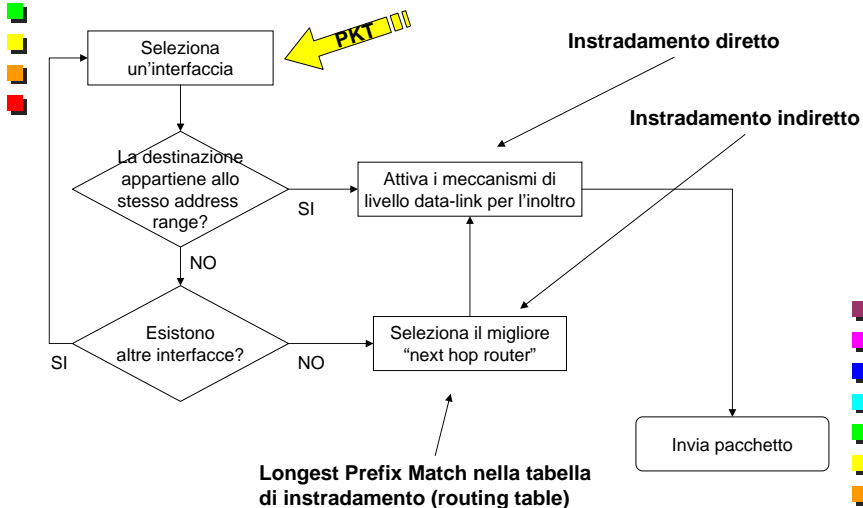
Tabella di instradamento

- **Presente (obbligatoria) in tutti gli host IP**
 - Più sviluppata sui router
- **Elenco di coppie:**
 - Destinazioni raggiungibili dall'host
 - Next hop "migliore"
 - Esempio: *da qui, per arrivare a Napoli, vai a Roma*
 - *Non ho informazioni sul percorso completo, solo sul prossimo passo.*
 - *Nell'esempio: A Roma qualcuno si preoccuperà di indicarci il passo successivo*
- **Informazione aggiuntiva: costo**
 - Discrimina tra percorsi alternativi verso una stessa destinazione (backup, load balancing)

Tabella di instradamento: Next Hop

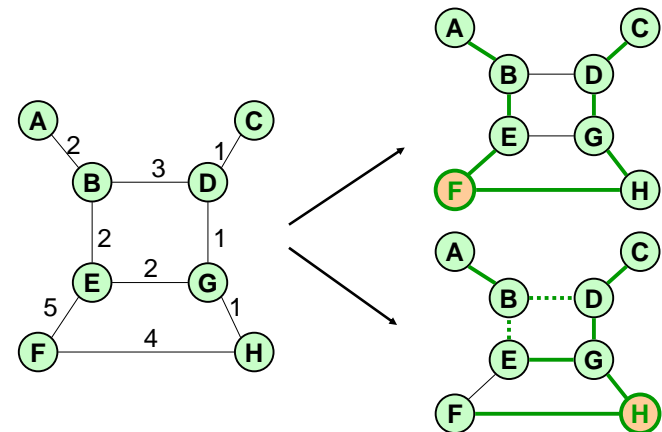
- **Next hop \Leftrightarrow Gateway \Leftrightarrow Router**
- **Deve essere obbligatoriamente un indirizzo direttamente raggiungibile**
- **Percorsi asimmetrici**
 - Normali nel mondo TCP/IP
 - Il next hop è configurato in una sola direzione; la direzione opposta può scegliere un altro percorso
- **Di solito è presente almeno una "default route"**
 - Default router: nodo con una conoscenza migliore della rete in grado di instradare i pacchetti verso reti altrimenti sconosciute

Algoritmo di instradamento



Determinazione del percorso migliore

- **Alberi di instradamento per i nodi F ed H**



Popolamento della tabella di routing

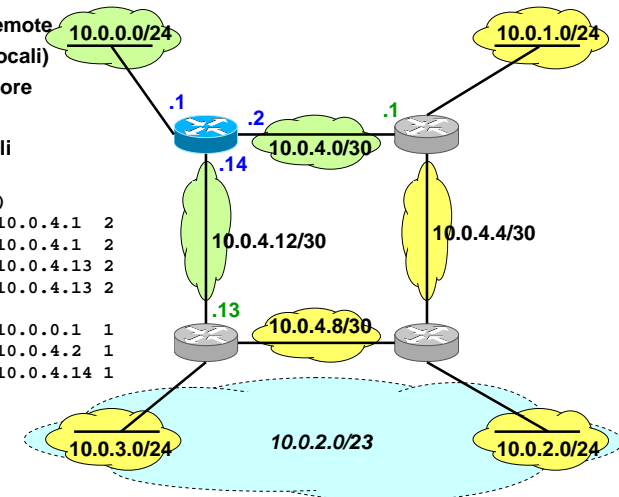
- Le route vengono apprese da qualunque informazione utile nella configurazione
 - Configurazione delle interfacce: le reti direttamente connesse sono tradotte in route:
 - Next-hop pari all'indirizzo IP dell'interfaccia attestata su quella rete
 - Peso minimo → Se il destinatario è direttamente connesso ad una mia rete faccio la consegna senza inoltrare ulteriormente
 - Route statiche
 - Immesse dall'amministratore per raggiungere reti remote. L'amministratore deve conoscere la topologia di rete.
 - Conoscere le reti raggiungibili
 - Scegliere i percorsi migliori
 - Routing dinamico
 - I dispositivi si scambiano le informazioni locali

Popolamento della tabella di Routing

1. Destinazioni remote (Destinazioni locali)
2. Percorso migliore
3. Next Hop
4. Reti aggregabili

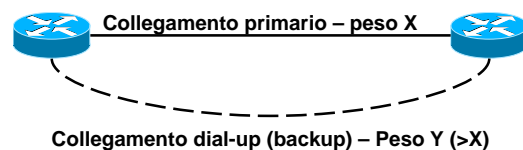
5. Routing table:
(route statiche)

S	10.0.1.0/24	10.0.4.1	2
S	10.0.4.4/30	10.0.4.1	2
S	10.0.2.0/23	10.0.4.13	2
S	10.0.4.8/30	10.0.4.13	2
(route dirette)			
D	10.0.0.0/24	10.0.0.1	1
D	10.0.4.0/30	10.0.4.2	1
D	10.0.4.12/30	10.0.4.14	1



Route di backup

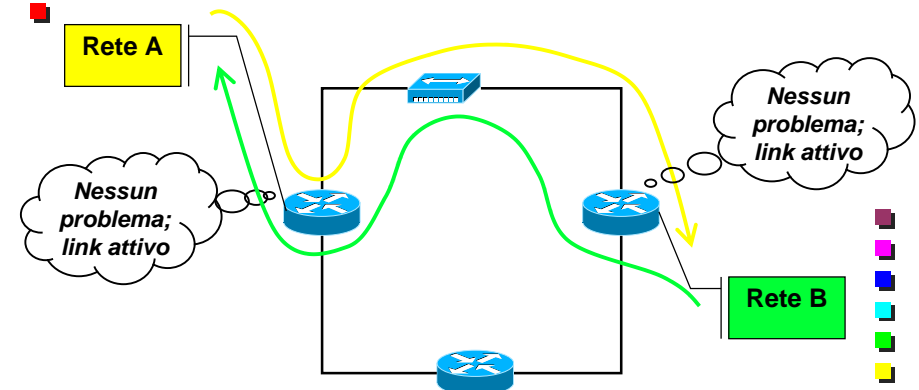
- Forniscono percorsi multipli per raggiungere altre reti
 - Viene assegnato un peso ad ogni percorso. E' utilizzato il percorso a peso inferiore (e ritenuto funzionante)
 - Impiego frequente: collegamenti dial-up di backup



- Problema: rilevamento del guasto per eliminare le route statiche non funzionanti

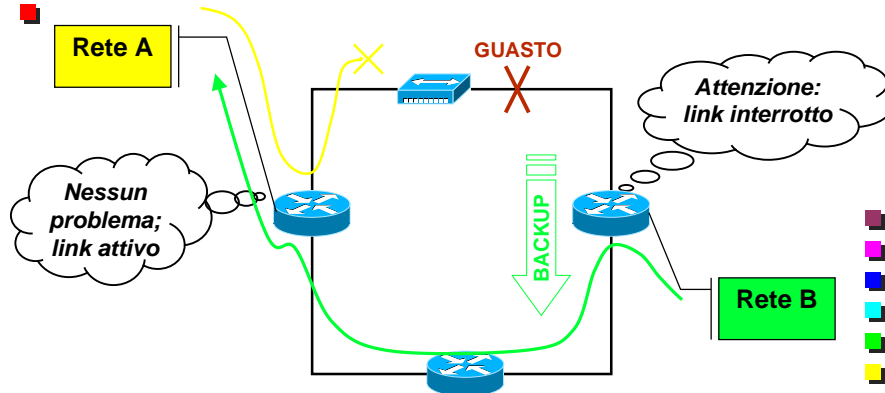
Route di backup

- Mezzi trasmissivi LAN e route statiche: backup problematico



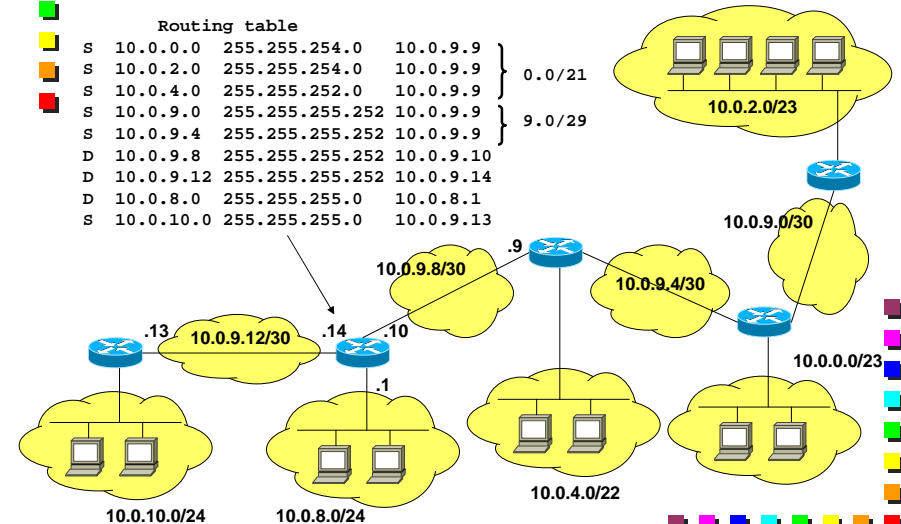
Route di backup

- La rilevazione del guasto deve essere "intelligente". Spesso non lo è...



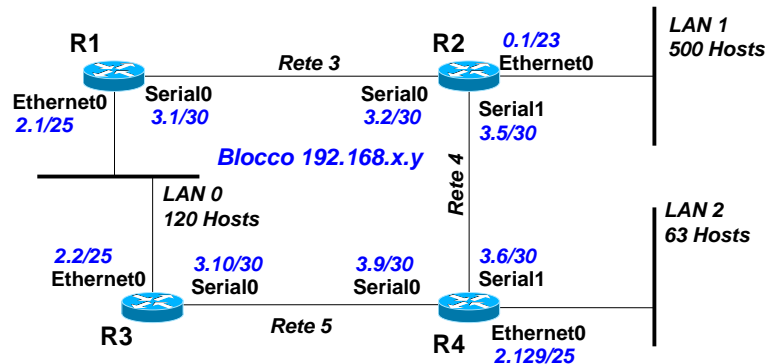
Scrittura delle routing table

Routing table			
S	10.0.0.0	255.255.254.0	10.0.9.9
S	10.0.2.0	255.255.254.0	10.0.9.9
S	10.0.4.0	255.255.252.0	10.0.9.9
S	10.0.9.0	255.255.255.252	10.0.9.9
S	10.0.9.4	255.255.255.252	10.0.9.9
D	10.0.9.8	255.255.255.252	10.0.9.10
D	10.0.9.12	255.255.255.252	10.0.9.14
D	10.0.8.0	255.255.255.0	10.0.8.1
S	10.0.10.0	255.255.255.0	10.0.9.13



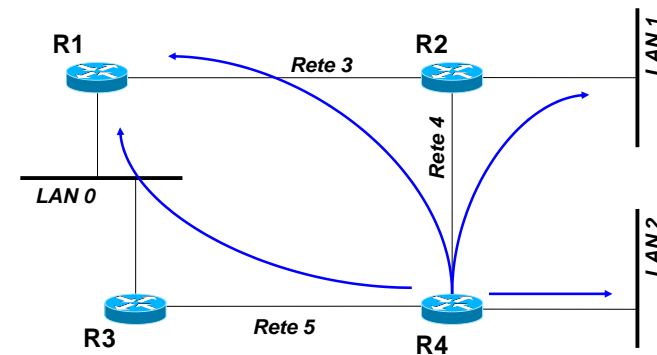
Configurazione di una rete completa (1)

- Assegnazione indirizzi
- Calcolo dei costi
- Configurazione del routing statico



Configurazione di una rete completa (2)

- Albero di instradamento per R4

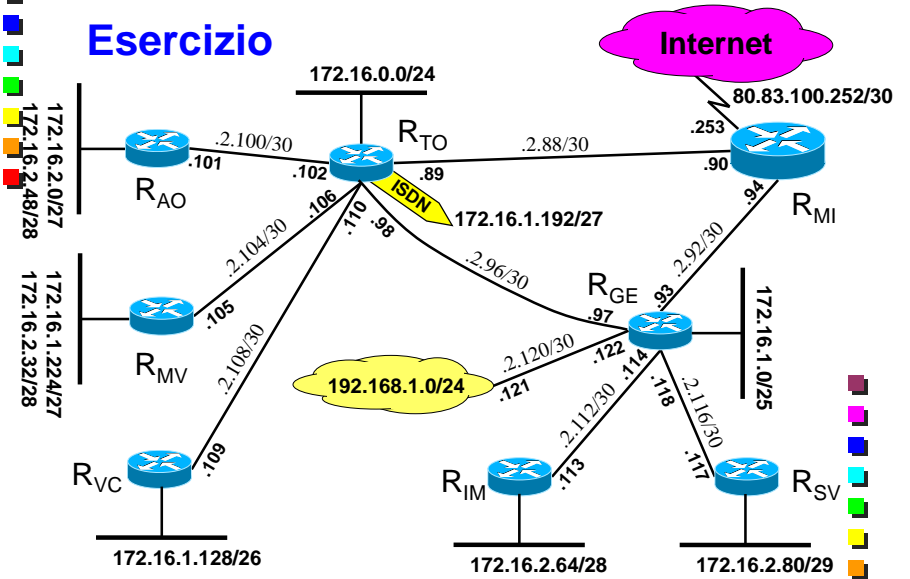


Configurazione di una rete completa (3)

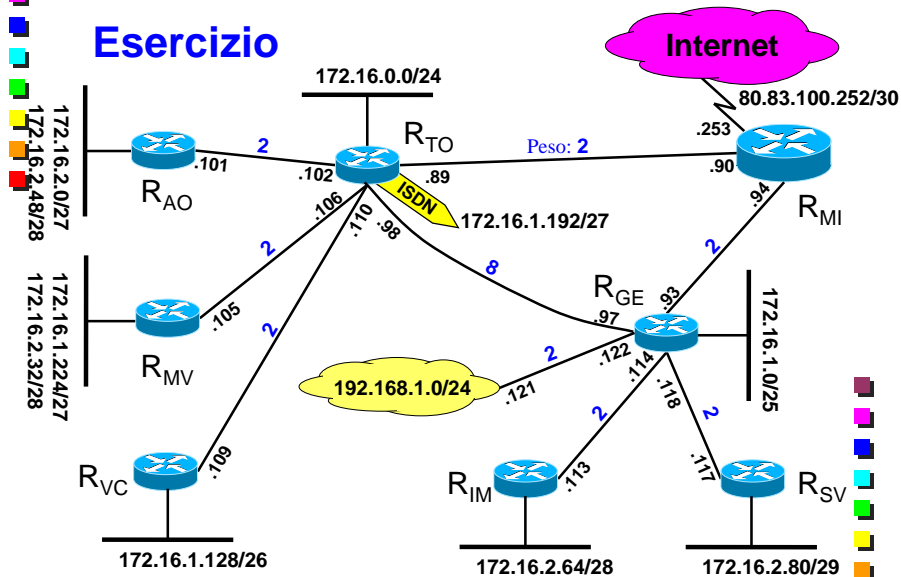
Sintassi Cisco Router R4

- configure terminal
 - interface Ethernet0
 - ip address 192.168.2.129 255.255.255.128
 - no shutdown
 - exit
 - interface Serial0
 - ip address 192.168.3.9 255.255.255.252
 - encapsulation ppp
 - no shutdown
 - exit
 - interface Serial1
 - ip address 192.168.3.6 255.255.255.252
 - encapsulation ppp
 - no shutdown
 - exit
 - ip route 192.168.2.0 255.255.255.128 192.168.3.10
 - ip route 192.168.0.0 255.255.254.0 192.168.3.5
 - ip route 192.168.3.0 255.255.255.252 192.168.3.5
 - end

Esercizio



Esercizio



Soluzione

Elenco reti raggiungibili

- 172.16.0.0/24
- 172.16.1.0/25
- 172.16.1.128/26
- 172.16.1.192/27
- 172.16.1.224/27
- 172.16.2.0/27
- 172.16.2.32/28
- 172.16.2.48/28
- 172.16.2.64/28
- 172.16.2.80/29

Soluzione

■ Elenco reti raggiungibili

- 172.16.2.88/30
- 172.16.2.92/30
- 172.16.2.96/30
- 172.16.2.100/30
- 172.16.2.104/30
- 172.16.2.108/30
- 172.16.2.112/30
- 172.16.2.116/30
- 172.16.2.120/30

■ Ogni router deve poter raggiungere ognuna di esse

- Si vogliono raggiungere anche le punto-punto

Soluzione

■ Router Milano

■ Reti direttamente connesse

- 172.16.2.88/30
- 172.16.2.92/30
- Punto punto verso Internet → si ipotizza una rete 80.83.100.252/30 assegnata dal provider

■ Ognuna di esse è configurata presso R_{MI}

- Per ognuna di esse il router genera autonomamente una route diretta ponendo se stesso come gateway

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
D	172.16.2.88/30	172.16.2.90	1
D	172.16.2.92/30	172.16.2.94	1
D	80.83.100.252/30	80.83.100.253	1

Soluzione

■ Router Milano

■ Gateway disponibili

- R_{TO} → 172.16.2.89
- R_{GE} → 172.16.2.93
- 80.83.100.254 → Internet

■ Creazione della default route

```
# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 80.83.100.254
```

■ Reti raggiungibili tramite R_{TO}

- LAN_{TO} → 172.16.0.0/24
- LAN_{VC} → 172.16.1.128/26
- ISDN → 172.16.1.192/27
- LAN_{MV1} → 172.16.1.224/27



Soluzione

- LAN_{AO1} → 172.16.2.0/27
- LAN_{MV2} → 172.16.2.32/28
- LAN_{AO2} → 172.16.2.48/28
- P-P_{TO-GE} → 172.16.2.96/30
- P-P_{TO-AO} → 172.16.2.100/30
- P-P_{TO-MV} → 172.16.2.104/30
- P-P_{TO-VC} → 172.16.2.108/30

■ Reti raggiungibili tramite R_{GE}

- LAN_{GE} → 172.16.1.0/25
- LAN_{IM} → 172.16.2.64/28
- LAN_{SV} → 172.16.2.80/29
- P-P_{GE-IM} → 172.16.2.112/30
- P-P_{GE-SV} → 172.16.2.116/30
- P-P_{GE-FORN} → 172.16.2.120/30
- Fornitore → 192.168.1.0/24

Soluzione

- Dobbiamo configurare manualmente una route per ogni rete da raggiungere

```
# ip route 172.16.0.0 255.255.255.0 172.16.2.89 2
# ip route 172.16.1.128 255.255.255.192 172.16.2.89 2
# ip route 172.16.1.192 255.255.255.224 172.16.2.89 2
...
...
```

Soluzione

- Tabella di routing di R_{MI} (1)

- NB: Alle route statiche vanno sempre aggiunte le route dirette per avere la tabella di routing completa

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	0.0.0.0/0	80.83.100.254	2
S	172.16.0.0/24	172.16.2.89	2
S	172.16.1.128/26	172.16.2.89	2
S	172.16.1.192/27	172.16.2.89	2
S	172.16.1.224/27	172.16.2.89	2
S	172.16.2.0/27	172.16.2.89	2
S	172.16.2.32/28	172.16.2.89	2
S	172.16.2.48/28	172.16.2.89	2
S	172.16.2.96/30	172.16.2.89	2
S	172.16.2.100/30	172.16.2.89	2
S	172.16.2.104/30	172.16.2.89	2
S	172.16.2.108/30	172.16.2.89	2

Soluzione

- Tabella di routing di R_{MI} (2)

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	172.16.1.0/25	172.16.2.93	2
S	172.16.2.64/28	172.16.2.93	2
S	172.16.2.80/29	172.16.2.93	2
S	172.16.2.112/30	172.16.2.93	2
S	172.16.2.116/30	172.16.2.93	2
S	172.16.2.120/30	172.16.2.93	2
S	192.168.1.0/24	172.16.2.93	2

- 19 route

- Dobbiamo cercare aggregazioni nelle route con lo stesso gateway
- In alternativa: dobbiamo rivedere il piano di indirizzamento prevedendo l'aggregazione

Soluzione

- Tabella di routing R_{MI} con aggregazione (1)

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	0.0.0.0/0	80.83.100.254	2
S	172.16.0.0/24	172.16.2.89	2
/25	S 172.16.1.128/26	172.16.2.89	2
	S 172.16.1.192/27	172.16.2.89	2
	S 172.16.1.224/27	172.16.2.89	2
/26	S 172.16.2.0/27	172.16.2.89	2
	S 172.16.2.32/28	172.16.2.89	2
	S 172.16.2.48/28	172.16.2.89	2
/28	S 172.16.2.96/30	172.16.2.89	2
	S 172.16.2.100/30	172.16.2.89	2
	S 172.16.2.104/30	172.16.2.89	2
	S 172.16.2.108/30	172.16.2.89	2

Soluzione

■ Tabella di routing R_{MI} con aggregazione (2)

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	172.16.1.0/25	172.16.2.93	2
S	172.16.2.64/28	172.16.2.93	2
S	172.16.2.80/29	172.16.2.93	2
S	172.16.2.112/30	172.16.2.93	2
S	172.16.2.116/30	172.16.2.93	2
S	172.16.2.120/30	172.16.2.93	2
S	192.168.1.0/24	172.16.2.93	2

/29 {

Se fossimo certi di non utilizzare mai la rete 172.16.2.124/30 potremmo aggregare ulteriormente in 172.16.2.112/28

Soluzione

■ Tabella di routing R_{MI} ■ con aggregazione ■ 11 route

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	0.0.0.0/0	80.83.100.254	2
S	172.16.0.0/24	172.16.2.89	2
S	172.16.1.128/25	172.16.2.89	2
S	172.16.2.0/26	172.16.2.89	2
S	172.16.2.96/28	172.16.2.89	2
S	172.16.1.0/25	172.16.2.93	2
S	172.16.2.64/28	172.16.2.93	2
S	172.16.2.80/29	172.16.2.93	2
S	172.16.2.112/29	172.16.2.93	2
S	172.16.2.120/30	172.16.2.93	2
S	192.168.1.0/24	172.16.2.93	2

Soluzione

■ Tabella di routing R_{MI}

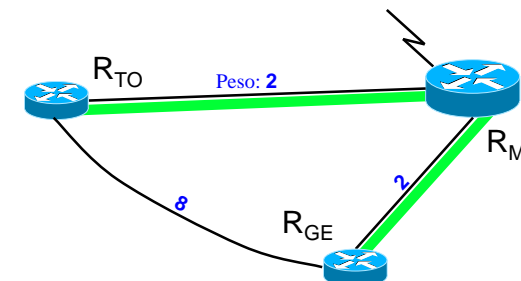
- Aggregando durante l'assegnazione degli indirizzi IP (si vedano le slide "AddressingIP")
- 4 route

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	0.0.0.0/0	80.83.100.254	2
S	172.16.0.0/23	172.16.2.89	2
S	172.16.2.0/24	172.16.2.93	2
S	192.168.1.0/24	172.16.2.93	2

Soluzione

■ Le tabelle di routing per R_{TO} e R_{GE} sono più semplici

- L'albero di instradamento verso una parte della rete passa per il default gateway
- Anche in una rete non connessa ad Internet il default gateway è uno "strumento" molto utile



Soluzione

Router Torino

Route dirette

D	172.16.0.0/24	172.16.0.254	1
D	172.16.2.88/30	172.16.2.89	1
D	172.16.2.96/30	172.16.2.98	1
D	172.16.2.100/30	172.16.2.102	1
D	172.16.2.104/30	172.16.2.106	1
D	172.16.2.108/30	172.16.2.110	1

Gateway disponibili

- R_{MI} → 172.16.2.90
- R_{GE} → 172.16.2.97
- R_{AO} → 172.16.2.101
- R_{MV} → 172.16.2.105
- R_{VC} → 172.16.2.109

Soluzione

Tabella di routing di R_{TO}

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	0.0.0.0/0	172.16.2.90	2
S	172.16.1.128/26	172.16.2.109	2
S	172.16.1.224/27	172.16.2.105	2
S	172.16.2.0/27	172.16.2.101	2
S	172.16.2.32/28	172.16.2.105	2
S	172.16.2.48/28	172.16.2.101	2

Non ho nulla da aggregare. I gateway sono diversi!

Soluzione

Router Genova

Route dirette

D	172.16.1.0/25	172.16.1.127	1
D	172.16.2.92/30	172.16.2.93	1
D	172.16.2.96/30	172.16.2.97	1
D	172.16.2.112/30	172.16.2.114	1
D	172.16.2.116/30	172.16.2.118	1
D	172.16.2.120/30	172.16.2.122	1

Gateway disponibili

- R_{MI} → 172.16.2.94
- R_{TO} → 172.16.2.98
- R_{IM} → 172.16.2.113
- R_{SV} → 172.16.2.117
- Fornitore → 172.16.2.121

Soluzione

Tabella di routing di R_{GE}

Tipo	Rete dest.	Gateway	Metrica
S	0.0.0.0/0	172.16.2.94	2
S	172.16.2.64/28	172.16.2.113	2
S	172.16.2.80/29	172.16.2.117	2
S	192.168.1.0/24	172.16.2.121	2

Soluzione

Route di backup

- Si vuole utilizzare la punto-punto tra Torino e Genova per aumentare la resistenza ai guasti della rete. Se cade un link (TO-MI o GE-MI) si vuole accedere ad Internet e far comunicare tra loro le due sedi.

- Presso R_{TO} si inserisce la route

```
# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.2.97 8
```

- Presso R_{GE}

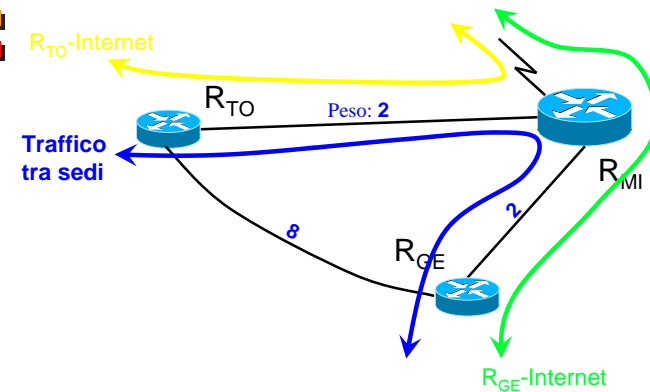
```
# ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 172.16.2.98 8
```

- Presso R_{MI} si configurano tutte le route verso un gateway anche per l'altro, ma a peso maggiore
 - Ovvero: se un link non funziona, allora usa l'altro...

- Funziona? **NO!!**

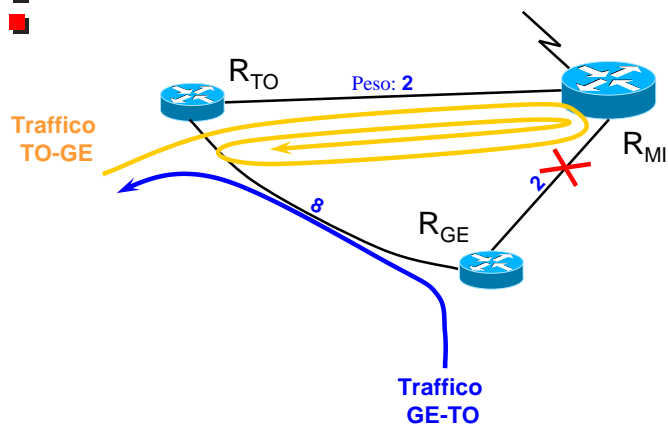
Soluzione

Route di backup: situazione normale



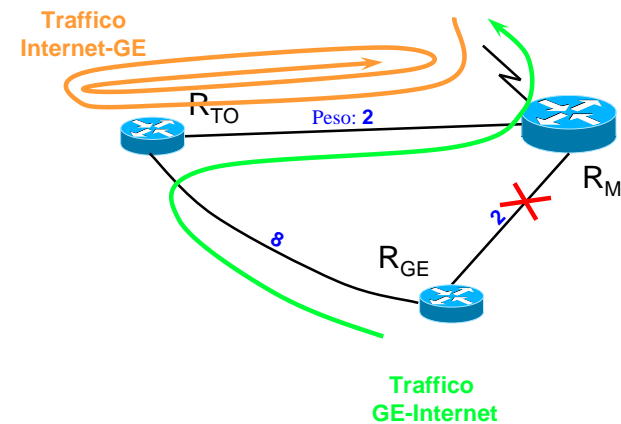
Soluzione

Route di backup: guasto (1)



Soluzione

Route di backup: guasto (2)



Soluzione

- Utilizzando il routing statico le route di backup funzionano bene solo se
 - I link di backup duplicano esattamente il percorso dei link ridondati
 - Il rilevamento del guasto è affidabile ad entrambi i capi del link
- La presenza del link TO-GE non offre particolari vantaggi in termini di resistenza ai guasti della rete
 - Eliminare il link per risparmiare
 - Impostare le tabelle di routing in modo che il link sia utilizzato (magari per applicazioni particolari che richiedano ritardi e perdite bassi? Es: VoIP)