



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA

Laboratorio di RETI di TELECOMUNICAZIONE

Andrea Piroddi

Dipartimento di Ingegneria e Scienze Informatiche

MPLS



MPLS (MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING)

Cenni di Teoria



MPLS (MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING) – Cenni di Teoria

Tecnologia basata su etichette:

MPLS associa un'etichetta a ciascun pacchetto dati.

I router MPLS (chiamati *Label Switch Router*, LSR) prendono decisioni di inoltramento basandosi su queste etichette, anziché sull'intero header IP.



MPLS (MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING) – Cenni di Teoria

Supporto Multi-Protocollo:

MPLS è indipendente dal protocollo di rete sottostante, il che lo rende compatibile con IPv4, IPv6, Ethernet, Frame Relay e altre tecnologie.



MPLS (MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING) – Cenni di Teoria

Instradamento più veloce:

Grazie al *Label Switching*, i router MPLS evitano il complesso processo di lookup delle tabelle di routing IP, accelerando l'inoltro dei pacchetti.



MPLS (MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING) – Cenni di Teoria

Qualità del Servizio (QoS):

MPLS permette di assegnare priorità ai pacchetti, migliorando la gestione del traffico critico e fornendo supporto per SLA (Service Level Agreement) stringenti.



MPLS

Componenti principali



Componenti principali

Etichetta MPLS (Label):

L'etichetta è un numero di 20 bit che identifica un percorso specifico (Label Switched Path, LSP).

È inserita tra il livello 2 (dati) e il livello 3 (rete) nel pacchetto, rendendo MPLS spesso chiamato una tecnologia "layer 2.5".



Componenti principali

Router MPLS:

Label Edge Router (LER): Si trova ai bordi della rete MPLS e aggiunge/rimuove le etichette dai pacchetti.

Label Switch Router (LSR): Instrada i pacchetti all'interno della rete MPLS, commutando le etichette.



Componenti principali

Label Distribution Protocol (LDP):

Un protocollo utilizzato per distribuire le etichette MPLS tra i router, stabilendo gli LSP.



Componenti principali

Penultimate Hop Popping (PHP):

Una tecnica che permette di rimuovere l'etichetta sul penultimo router, riducendo il carico sul router finale.

Come funziona MPLS?



Come funziona MPLS?

Ingress Router:

Quando un pacchetto entra nella rete MPLS, l'Ingress Router lo analizza e gli assegna un'etichetta basata sulla destinazione.

Commutazione all'interno della rete:

I router interni (LSR) instradano il pacchetto basandosi esclusivamente sull'etichetta. Ogni router può modificare l'etichetta in base alla sua tabella MPLS (*Label Forwarding Information Base*, LFIB).

Egress Router:

L'ultimo router (Egress Router) rimuove l'etichetta e consegna il pacchetto alla rete di destinazione.



Vantaggi di MPLS

Prestazioni elevate:

L'inoltro basato su etichette è più rapido rispetto all'instradamento tradizionale.

Maggiore flessibilità:

MPLS supporta molteplici protocolli e tecnologie di accesso.

Ingegneria del traffico (Traffic Engineering):

MPLS consente di creare percorsi ottimizzati per bilanciare il carico della rete.

VPN MPLS:

È spesso utilizzato per costruire reti private virtuali sicure su infrastrutture condivise.



Applicazioni di MPLS

VPN (Virtual Private Network): MPLS viene usato per creare reti private su un backbone condiviso.

QoS e SLA: Garantisce il livello di servizio richiesto da applicazioni critiche come VoIP e video streaming.

Traffic Engineering: Ottimizza il flusso di traffico nelle reti complesse.

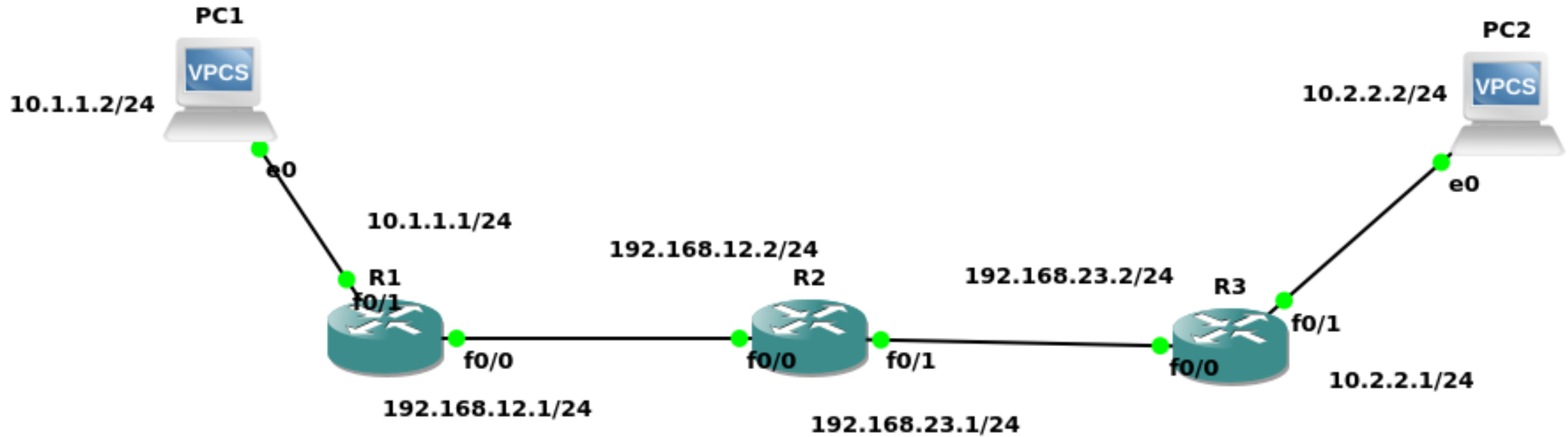
Carrier Networks: È utilizzato dai provider per gestire reti su larga scala.



ESEMPIO MPLS



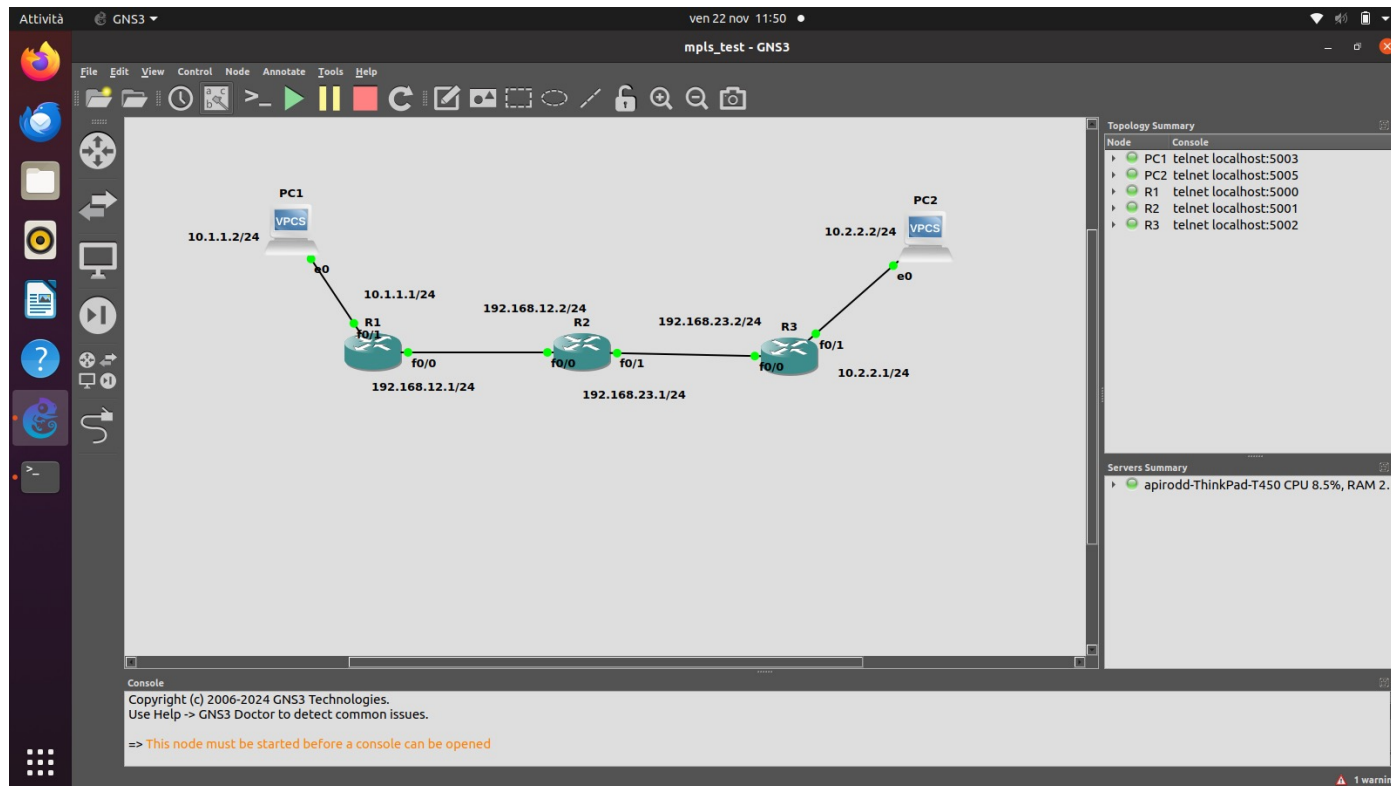
TOPOLOGIA - MPLS



TOPOLOGIA - MPLS

Esempio di Configurazione MPLS su GNS3: Scenario con Tre Router

In questo scenario, realizziamo una rete MPLS semplice con tre router. MPLS verrà configurato per instradare pacchetti tra due reti locali connesse ai bordi della rete MPLS. Usiamo indirizzi IP nella classe **10.x.x.x**.



TOPOLOGIA - MPLS

Topologia

- **R1 (Label Edge Router - LER)**

Rete locale: **10.1.1.0/24**

- **R2 (Label Switching Router - LSR)**

Core MPLS

- **R3 (Label Edge Router - LER)**

Rete locale: **10.2.2.0/24**

Interfacce di rete:

- **R1 ↔ R2: 192.168.12.0/24**

- **R2 ↔ R3: 192.168.23.0/24**



MPLS – Configurazione Router R1

```
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
 no shutdown
!
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
 no shutdown
!
router ospf 1
 network 10.1.1.0 0.0.0.255 area 0
 network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 0
!
mpls ip
mpls ldp router-id Loopback0 force
```



MPLS – Configurazione Router R1

```
R2      x      R3      x      R1      x      PC1      x      PC2      x
*Mar 1 00:00:04.495: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet2/0, changed state to down
R1#
R1#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#int f0/1
R1(config-if)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shut
R1(config-if)#int
*Mar 1 00:00:57.179: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:00:58.179: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R1(config-if)#int f0/0
R1(config-if)#ip address 192.168.12.1 255.255.255.0
      ^
% Invalid input detected at '^' marker.
R1(config-if)#no shut
R1(config-if)#route
*Mar 1 00:01:25.115: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:01:26.115: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R1(config-if)#exit
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#network 10.1.1.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)#network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)#exit
R1(config)#mpls ip
R1(config)#mpls ldp router-id Loopback0 force
R1(config)#
*Mar 1 00:02:39.503: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R1(config)#int f0/0
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#exit
R1(config)#exit
R1#sh
```



MPLS – Configurazione Router R2

```
interface GigabitEthernet0/0
  ip address 192.168.12.2 255.255.255.0
  no shutdown
!
interface GigabitEthernet0/1
  ip address 192.168.23.1 255.255.255.0
  no shutdown
!
router ospf 1
  network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 0
  network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0
!
mpls ip
mpls ldp router-id Loopback0 force
```



MPLS – Configurazione Router R2

```
R2#  
R2#  
R2#conf t  
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.  
R2(config)#int f0/0  
R2(config-if)#ip address 192.168.12.2 255.255.255.0  
R2(config-if)#no shut  
R2(config-if)#  
*Mar 1 00:01:30.047: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up  
*Mar 1 00:01:31.047: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up  
R2(config-if)#int f0/1  
R2(config-if)#ip address 192.168.23.1 255.255.255.0  
R2(config-if)#no shut  
R2(config-if)#e  
*Mar 1 00:01:57.499: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up  
*Mar 1 00:01:58.499: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up  
R2(config-if)#exit  
R2(config)#router ospf 1  
R2(config-router)#network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 0  
R2(config-router)#network 192.168.  
*Mar 1 00:02:30.227: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.168.12.1 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done  
R2(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0  
R2(config-router)#exit  
R2(config)#mpls ip  
R2(config)#mpls ldp router-id Loopback0 force  
R2(config)#  
*Mar 1 00:03:08.255: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up  
R2(config)#  
*Mar 1 00:05:34.491: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.168.23.2 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done  
R2(config)#int f0/0  
R2(config-if)#mpls ip  
R2(config-if)#int f0  
*Mar 1 00:08:59.283: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.12.1:0 (1) is UP
```



MPLS – Configurazione Router R3

```
interface GigabitEthernet0/0
 ip address 192.168.23.2 255.255.255.0
 no shutdown
!
interface GigabitEthernet0/1
 ip address 10.2.2.1 255.255.255.0
 no shutdown
!
router ospf 1
 network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0
 network 10.2.2.0 0.0.0.255 area 0
!
mpls ip
mpls ldp router-id Loopback0 force
```



MPLS – Configurazione Router R3

```
R2  x  R3  x  R1  x  PC1  x  PC2  x
R3#
R3#conf t
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R3(config)#int f0/0
R3(config-if)#ip address 192.168.23.2 255.255.255.0
R3(config-if)#no shut
R3(config-if)#
*Mar 1 00:01:03.331: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:01:04.331: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R3(config-if)#int f0/1
R3(config-if)#ip address 10.2.2.1 255.255.255.0
R3(config-if)#no shut
R3(config-if)#
*Mar 1 00:01:32.231: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:01:33.231: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R3(config-if)#exit
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 10.2.2.0 0.0.
*Mar 1 00:02:06.571: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.168.23.1 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-router)#network 10.2.2.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#exit
R3(config)#mpls ip
R3(config)#mpls ldp router-id Loopback0 force
R3(config)#
*Mar 1 00:02:46.955: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R3(config)#int f0/0
R3(config-if)#mpls ip
R3(config-if)#
*Mar 1 00:05:56.475: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.168.23.1:0 (1) is UP
R3(config-if)#exit
R3(config)#exit
R3#
```



Abilitare MPLS

Aggiungete `mpls ip` su tutte le interfacce di collegamento tra router.

Router R1

```
interface f0/0  
mpls ip
```

Router R2

```
interface f0/0  
mpls ip  
  
interface f0/1  
mpls ip
```

Router R3

```
interface f0/0  
mpls ip
```



Testare la Configurazione - MPLS

Usate il comando `show mpls forwarding-table` su ogni router per verificare le etichette assegnate.

Esempio su R1:

```
R1# show mpls forwarding-table
```

Local	Outgoing	Prefix	Bytes	Label	Out	Intf
16	Pop Label	10.2.2.0/24	0		Gig0/1	

Testare la Configurazione – MPLS – R1

```
R1#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id    switched   interface
16     16        10.2.2.0/24     0          Fa0/0        192.168.12.2
17     Pop tag  192.168.23.0/24 0          Fa0/0        192.168.12.2
R1#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id    switched   interface
16     16        10.2.2.0/24     0          Fa0/0        192.168.12.2
17     Pop tag  192.168.23.0/24 0          Fa0/0        192.168.12.2
R1#wr mem
Building configuration...
[OK]
R1#
```



Testare la Configurazione - MPLS

Usate il comando `show mpls forwarding-table` su ogni router per verificare le etichette assegnate.

Esempio su R2:

```
R2#show mpls forwarding-table
Local   Outgoing   Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag     tag or VC  or Tunnel Id switched   interface
16      Pop tag    10.2.2.0/24  0          Fa0/1        192.168.23.2
17      Pop tag    10.1.1.0/24  0          Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```



Testare la Configurazione - MPLS

Usate il comando `show mpls forwarding-table` su ogni router per verificare le etichette assegnate.

Esempio su R3:

```
R3#show mpls forwarding-table
```

Local tag	Outgoing tag or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes tag switched	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop tag	192.168.12.0/24	0	Fa0/0	192.168.23.1
18	17	10.1.1.0/24	0	Fa0/0	192.168.23.1



Simulazione del Traffico

Configurate i due PC:

PC1 nella rete **10.1.1.0/24** (ad esempio, con IP **10.1.1.2**).

PC2 nella rete **10.2.2.0/24** (ad esempio, con IP **10.2.2.2**).

Verificate la connettività con **ping** da PC1 a PC2:



Configurazione PC1

IP 10.1.1.2 255.255.255.0 10.1.1.1

```
Trying 127.0.0.1...
Connected to localhost.
Escape character is '^['.

Welcome to Virtual PC Simulator, version 0.8.3
Dedicated to Daling.
Build time: Sep  9 2023 11:15:00
Copyright (c) 2007-2015, Paul Meng (mirnshi@gmail.com)
All rights reserved.

VPCS is free software, distributed under the terms of the "BSD" licence.
Source code and license can be found at vpcs.sf.net.
For more information, please visit wiki.freecode.com.cn.

Press '?' to get help.

Executing the startup file

PC1> ip 10.1.1.2 255.255.255.0 10.1.1.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 10.1.1.2 255.255.255.0 gateway 10.1.1.1

PC1> sh ip

NAME      : PC1[1]
IP/MASK    : 10.1.1.2/24
GATEWAY    : 10.1.1.1
DNS        :
MAC        : 00:50:79:66:68:00
LPORT     : 20020
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20021
MTU        : 1500
```



Configurazione PC2

IP 10.2.2.2 255.255.255.0 10.2.2.1

```
Press '?' to get help.  
Executing the startup file  
  
PC2> ip 10.2.2.2 255.255.255.0 10.2.2.1  
Checking for duplicate address...  
PC2 : 10.2.2.2 255.255.255.0 gateway 10.2.2.1  
  
PC2> sh ip  
  
NAME      : PC2[1]  
IP/MASK    : 10.2.2.2/24  
GATEWAY    : 10.2.2.1  
DNS        :  
MAC        : 00:50:79:66:68:01  
LPORT      : 20022  
RHOST:PORT : 127.0.0.1:20023  
MTU        : 1500  
  
PC2> save  
Saving startup configuration to startup.vpc  
. done
```



Simulazione del Traffico

Da PC1 pingare il PC2

```
PC1> ping 10.2.2.2  
  
10.2.2.2 icmp_seq=1 timeout  
84 bytes from 10.2.2.2 icmp_seq=2 ttl=61 time=48.890 ms  
84 bytes from 10.2.2.2 icmp_seq=3 ttl=61 time=49.492 ms  
84 bytes from 10.2.2.2 icmp_seq=4 ttl=61 time=49.969 ms  
84 bytes from 10.2.2.2 icmp_seq=5 ttl=61 time=49.748 ms  
  
PC1> save  
Saving startup configuration to startup.vpc  
. done  
  
PC1> 
```

Simulazione del Traffico

Da PC2 pingare il PC1

```
PC2> ping 10.1.1.2

84 bytes from 10.1.1.2 icmp_seq=1 ttl=61 time=59.952 ms
84 bytes from 10.1.1.2 icmp_seq=2 ttl=61 time=49.633 ms
84 bytes from 10.1.1.2 icmp_seq=3 ttl=61 time=49.607 ms
84 bytes from 10.1.1.2 icmp_seq=4 ttl=61 time=50.293 ms
84 bytes from 10.1.1.2 icmp_seq=5 ttl=61 time=48.996 ms

PC2> 
```



Risultati Attesi

Connettività:

I pacchetti attraversano la rete MPLS utilizzando etichette anziché IP.

Tabella di Forwarding MPLS:

Potete vedere l'uso delle etichette MPLS sui router intermedi.

Esempio su R2:

```
R2# show mpls forwarding-table
```

Local	Outgoing	Prefix	Bytes	Label Out	Intf
16	17	10.1.1.0/24	0	Gig0/0	
17	Pop Label	10.2.2.0/24	0	Gig0/1	



Spiegazione dei Campi

```
R2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id switched   interface
16     Pop tag    10.2.2.0/24  0          Fa0/1        192.168.23.2
17     Pop tag    10.1.1.0/24  0          Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```

Local:

Mostra l'etichetta assegnata localmente dal router per una specifica destinazione.

In questo esempio:

16 è l'etichetta locale associata al prefisso **10.1.1.0/24**.

17 è l'etichetta locale associata al prefisso **10.2.2.0/24**.



Spiegazione dei Campi

```
R2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id switched    interface
16     Pop tag    10.2.2.0/24  0          Fa0/1        192.168.23.2
17     Pop tag    10.1.1.0/24  0          Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```

Outgoing:

Mostra l'etichetta che il router deve utilizzare quando inoltra il pacchetto verso il prossimo router.

Valori tipici:

17: Etichetta da inviare al prossimo router per il prefisso **10.1.1.0/24**.

Pop Label (o Tag): Indica che il router deve rimuovere l'etichetta (operazione di *penultimate hop popping* o PHP).



Spiegazione dei Campi

```
R2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id switched   interface
16     Pop tag    10.2.2.0/24  0          Fa0/1        192.168.23.2
17     Pop tag    10.1.1.0/24  0          Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```

Prefix:

Mostra il prefisso IP associato a ogni etichetta.

In questo esempio:

10.1.1.0/24 è la rete remota raggiungibile tramite MPLS.

10.2.2.0/24 è un altro prefisso nella tabella di routing.



Spiegazione dei Campi

```
R2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id switched    interface
16     Pop tag    10.2.2.0/24  0           Fa0/1        192.168.23.2
17     Pop tag    10.1.1.0/24  0           Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```

Bytes:

Indica il numero di byte inoltrati per quel prefisso.
È un valore cumulativo utile per analisi di traffico.

Spiegazione dei Campi

```
R2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id switched    interface
16     Pop tag    10.2.2.0/24  0          Fa0/1        192.168.23.2
17     Pop tag    10.1.1.0/24  0          Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```

Label:

Mostra l'etichetta associata all'instradamento.

Label 16 e 17 sono etichette MPLS specifiche utilizzate nella commutazione.



Spiegazione dei Campi

```
R2#show mpls forwarding-table
Local  Outgoing  Prefix      Bytes tag  Outgoing     Next Hop
tag    tag or VC  or Tunnel Id switched   interface
16     Pop tag   10.2.2.0/24  0          Fa0/1        192.168.23.2
17     Pop tag   10.1.1.0/24  0          Fa0/0        192.168.12.1
R2#
```

Out Intf (Outgoing Interface):

Mostra l'interfaccia di uscita utilizzata per inviare i pacchetti verso la destinazione.

In questo esempio:

f0/0 è l'interfaccia di uscita per raggiungere **10.1.1.0/24**.

f0/1 è l'interfaccia per **10.2.2.0/24**.



Analisi del Comportamento

Rete 10.1.1.0/24:

```
R1# show mpls forwarding-table
Local      Outgoing  Prefix          Bytes Label Out Intf
16         Pop Label  10.2.2.0/24     0      Gig0/1
```

Quando un pacchetto etichettato arriva su R2 con etichetta **16**, il router lo inoltra con l'etichetta **17** attraverso l'interfaccia **f0/1**.

Rete 10.2.2.0/24:

```
R2#show mpls forwarding-table
Local      Outgoing  Prefix          Bytes tag  Outgoing   Next Hop
tag        tag or VC or Tunnel Id switched interface
16         Pop tag    10.2.2.0/24     0         Fa0/1      192.168.23.2
17         Pop tag    10.1.1.0/24     0         Fa0/0      192.168.12.1
R2#
```

Quando un pacchetto etichettato arriva con etichetta **17**, R2 esegue l'operazione **Pop Label**(rimuove l'etichetta) e invia il pacchetto senza etichetta sull'interfaccia **Gi0/1**.

Questo accade perché **R3**, essendo il router finale, non necessita di ulteriori etichette per instradare il pacchetto.

