



Politecnico di Milano

Dipartimento di Elettronica e Informazione



# RETI DI COMUNICAZIONE E INTERNET (MODULO 1)

LABORATORIO

5. Emulazione di Reti Locali

# Informazioni organizzative

2

- Responsabile di Laboratorio: *Ilario Filippini*
- Contatti
  - E-mail: [filippini@elet.polimi.it](mailto:filippini@elet.polimi.it)
  - Ufficio: *stanza 329 – Terzo Piano – DEI*
  - Ricevimento: *su appuntamento*
- Sito web del corso: [home.dei.polimi.it/filippini/teaching.htm](http://home.dei.polimi.it/filippini/teaching.htm)
- Date previste:
  - *19 Ott 2010*
  - *26 Ott 2010*
  - *2 Nov 2010*
  - *9 Nov 2010*
  - *23 Nov 2010*
- Aula: *S.2.1*
- Orario: *Martedì 15.15-17.15 le prime 4 date, 14.15-16.15 l'ultima*

# Agenda della lezione

3

- CISCO Packet Tracer
- Reti LAN
- Ethernet Spanning Tree
- Learning and Forwarding

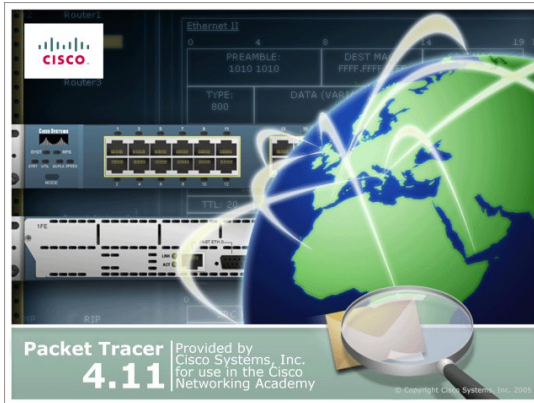
4

# Agenda

CISCO Packet Tracer

# Cisco Packet Tracer 4.1.1

5

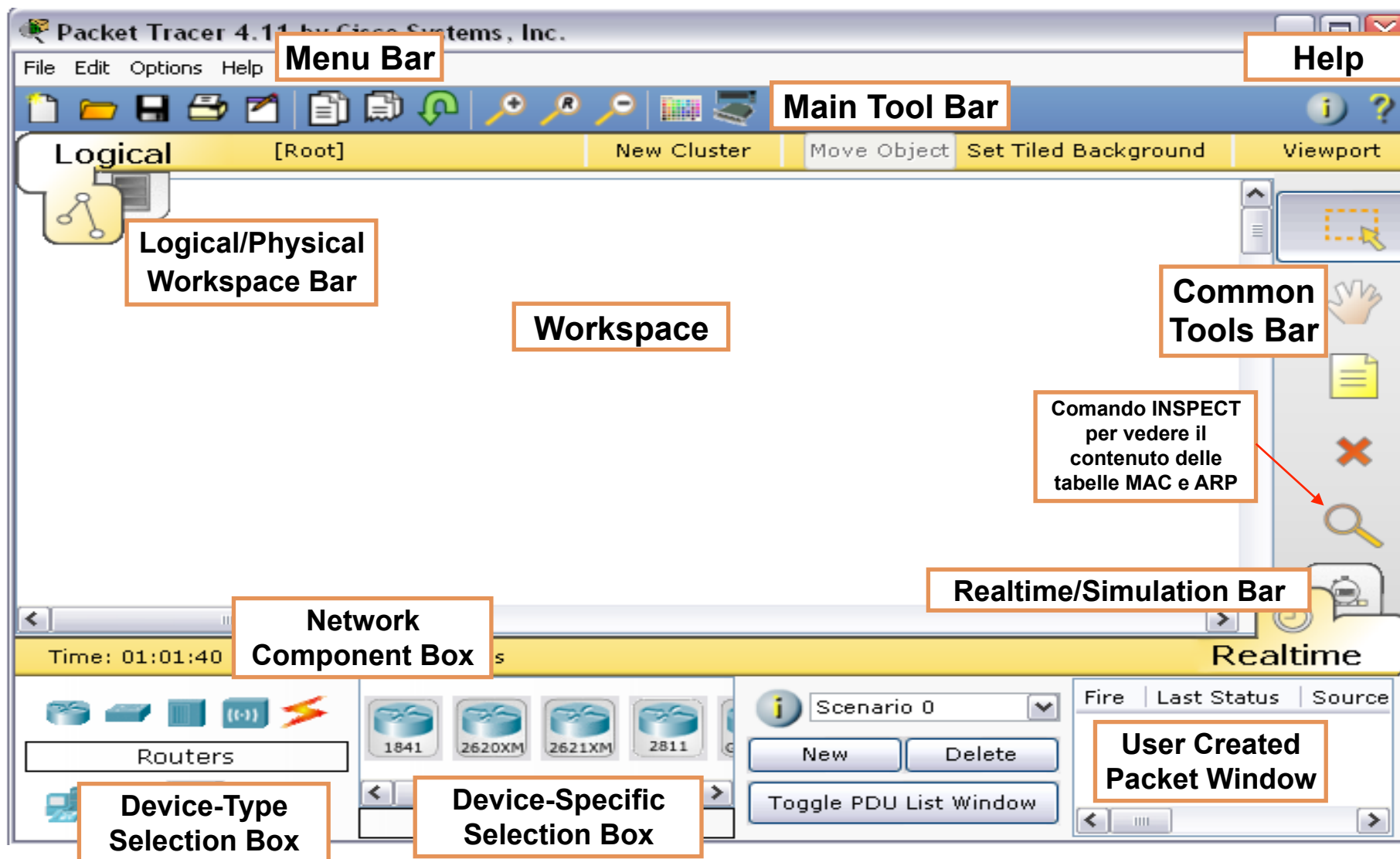


Cisco Packet Tracer è un software didattico distribuito agli studenti ed istruttori del Programma Cisco Networking Academy per l'emulazione di apparati di rete CISCO

- Permette di
  - ▣ Creare topologie di rete composte da apparati generici e/o proprietari di Cisco
  - ▣ Emulare la *Command Line Interface* del sistema operativo Cisco IOS (solo un sottoinsieme delle funzioni)
  - ▣ Configurare tramite GUI o Command Line gli apparati di rete e verificarne il loro funzionamento creando scenari di traffico ed osservando il corrispondente comportamento della rete
  - ▣ Ispezionare dinamicamente in ogni momento lo stato di ciascun dispositivo e il formato di ciascun pacchetto inviato sulla topologia di rete

# Interfaccia Grafica

6



# Aggiungere Dispositivi-Link

7

## □ Per aggiungere dispositivi

- ▣ Selezionare il tipo di dispositivo nel “Type-Specific Selection Box”
- ▣ Selezionare un dispositivo nel “Device-Specific Selection Box” e trascinarlo nell'area di lavoro con il classico meccanismo *Drag n' Drop*
- ▣ In alternativa è possibile posizionarlo nell'area di lavoro con un semplice click del mouse nel punto in cui lo si vuole inserire (*CTRL* per inserimenti multipli)

## □ Per collegare due dispositivi

- ▣ Selezionare il tipo “Link” nel “Type-Specific Selection Box”
- ▣ Selezionare un collegamento nel “Device-Specific Selection Box” e selezionare nell'area di lavoro i due capi del collegamento
- ▣ Quando si seleziona un capo del collegamento vengono mostrate le porte (interfacce) su cui è possibile attestare il link

# Logical vs. Physical Workspaces

8

## □ Logical Workspace:

- ▣ E' la sezione di Packet Tracer che permette di creare e configurare la rete da simulare
- ▣ Si crea la topologia di rete aggiungendo gli apparati di rete e le connessioni necessarie
- ▣ Si possono configurare i dispositivi di rete attraverso un'apposita interfaccia grafica e, per gli apparati Cisco, anche attraverso la linea di comando (CLI) di IOS
- ▣ E' inoltre possibile modificare gli apparati di rete aggiungendo e/o rimuovendo i moduli hardware disponibili

## □ Physical Workspace:

- ▣ Fornisce una visione fisica della rete mostrando dove si trovano geograficamente gli apparati che formano la topologia creata



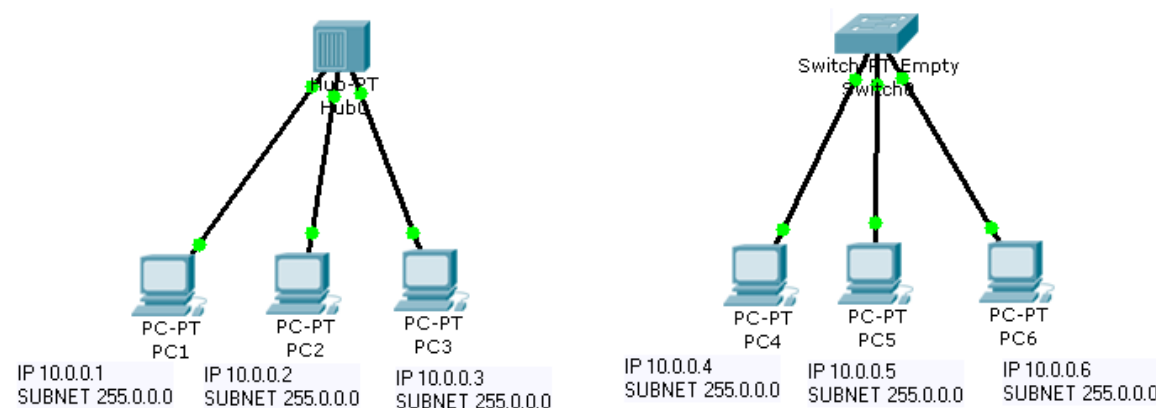
9

# Agenda

Reti LAN

# Un semplice esempio passo-passo

10



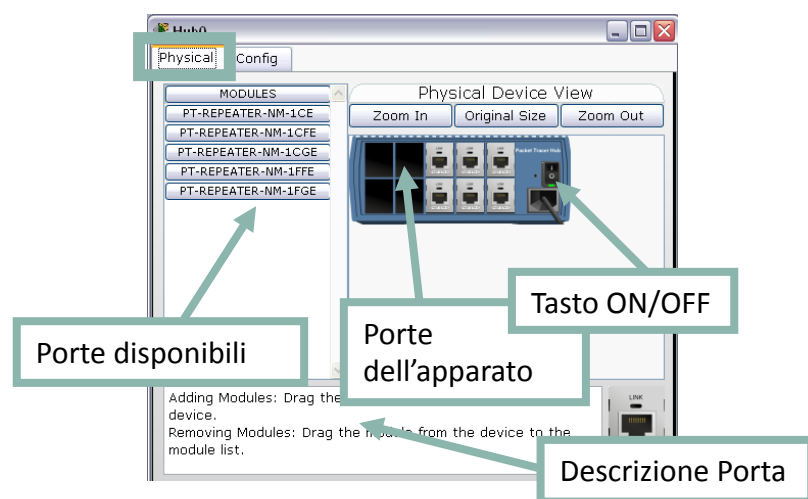
- Vogliamo vedere il diverso comportamento di queste 2 reti:
  - ▣ **Selezionare un Hub-PT**
  - ▣ Selezionare uno Switch-PT-Empty (attenzione questo switch di default non ha porte fisiche)
    - Cliccare sullo switch creato, spegnerlo, aggiungere 4 porte Fast Ethernet (PT-Switch-NM-1CFE) e riaccenderlo
  - ▣ Selezionare 6 PC
  - ▣ Collegare 3 PC all'hub con il cavo Copper Straight-through (attenzione in fase di collegamento a selezionare le porte Fast Ethernet) e 3 PC allo switch con lo stesso cavo

# Dispositivi utilizzati in questo corso

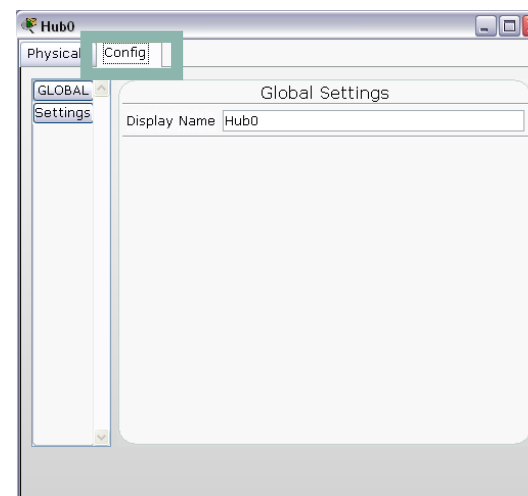
11



**Hub-PT:** Permette di creare un dominio di collisione tra più apparati. Funziona esclusivamente come repeater multiporta senza funzioni di livello 2



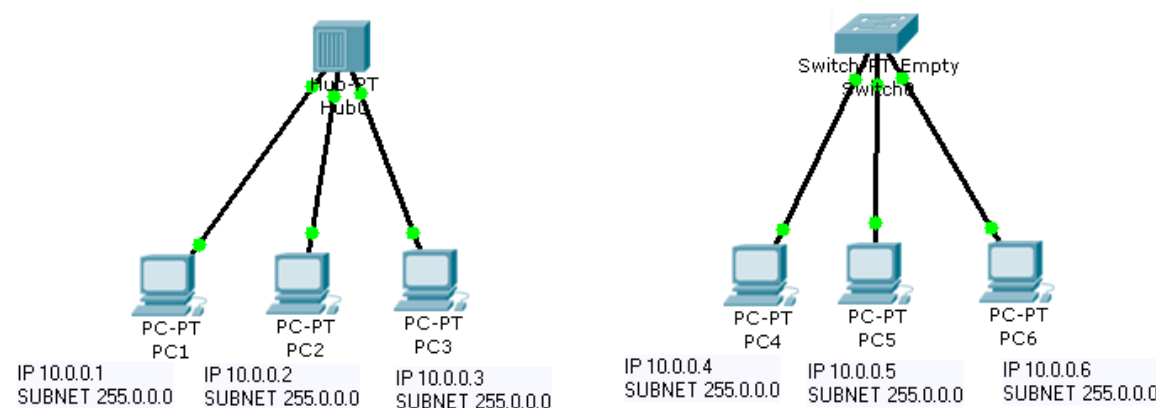
Per cambiare le porte all'hub è necessario spegnere il dispositivo, togliere la porta e aggiungere quella desiderata



Configurazione di base tramite interfaccia grafica. E' possibile modificare esclusivamente il nome dell'hub

# Un semplice esempio passo-passo

12



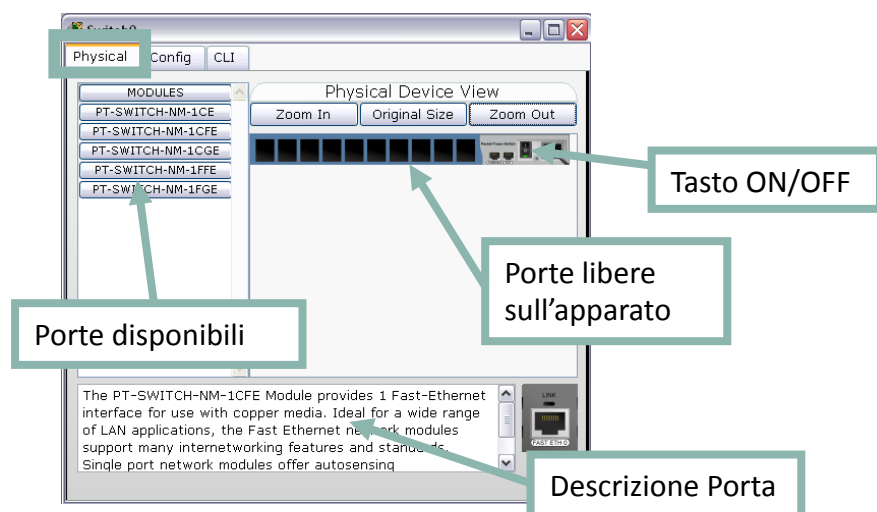
- Vogliamo vedere il diverso comportamento di queste 2 reti:
  - ▣ Selezionare un Hub-PT
  - ▣ Selezionare uno Switch-PT-Empty (attenzione questo switch di default non ha porte fisiche)
    - Cliccare sullo switch creato, spegnerlo, aggiungere 4 porte Fast Ethernet (PT-Switch-NM-1CFE) e riaccenderlo
  - ▣ Selezionare 6 PC
  - ▣ Collegare 3 PC all'hub con il cavo Copper Straight-through (attenzione in fase di collegamento a selezionare le porte Fast Ethernet) e 3 PC allo switch con lo stesso cavo

# Dispositivi utilizzati in questo corso

13

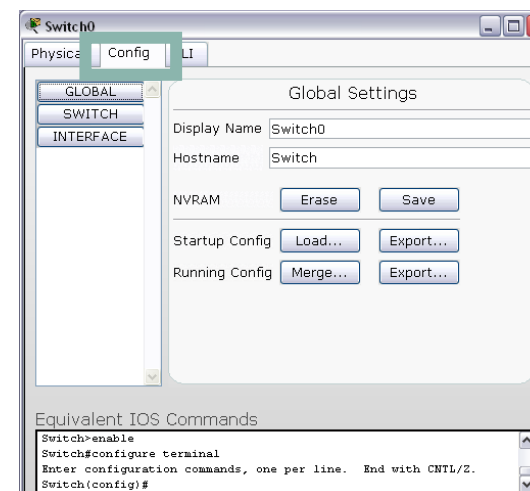


**Switch-PT-Empty:** Switch generico a cui è necessario aggiungere le porte necessarie al suo funzionamento.

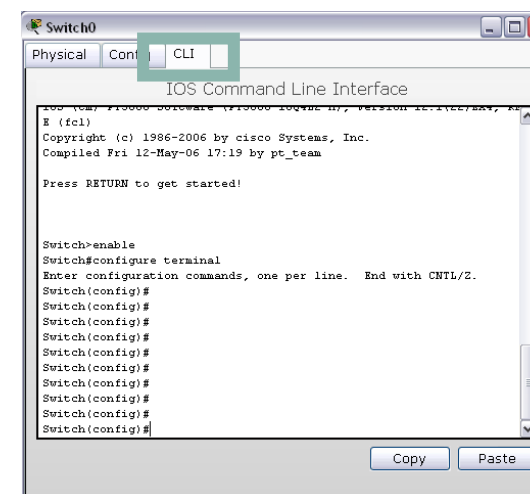


Per aggiungere nuove porte allo switch basta trascinarle negli appositi spazi vuoti ricordandosi prima di spegnere il dispositivo.

Configurazione di base tramite interfaccia grafica

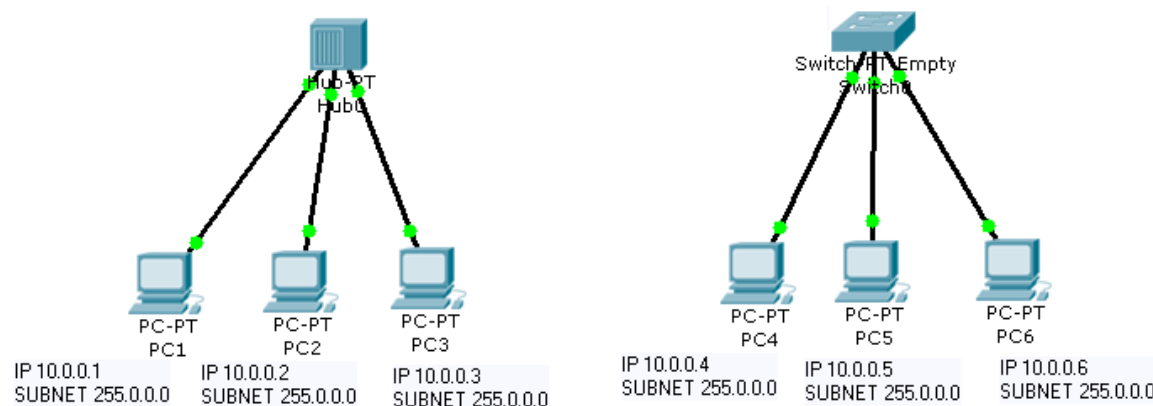


Configurazione avanzata mediante riga di comando con accesso al sistema operativo IOS



# Un semplice esempio passo-passo

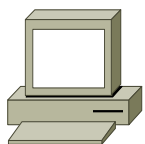
14



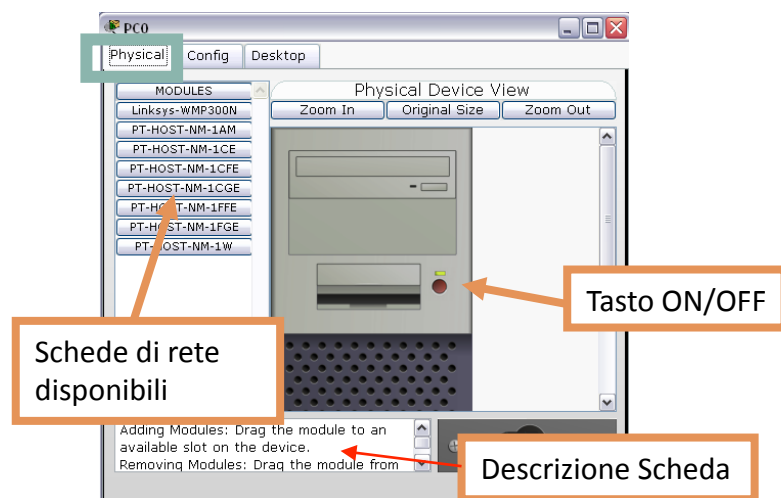
- Vogliamo vedere il diverso comportamento di queste 2 reti:
  - ▣ Selezionare un Hub-PT
  - ▣ Selezionare uno Switch-PT-Empty (attenzione questo switch di default non ha porte fisiche)
    - Cliccare sullo switch creato, spegnerlo, aggiungere 4 porte Fast Ethernet (PT-Switch-NM-1 CFE) e riaccenderlo
  - ▣ **Selezionare 6 PC**
  - ▣ Collegare 3 PC all'hub con il cavo Copper Straight-through (attenzione in fase di collegamento a selezionare le porte Fast Ethernet) e 3 PC allo switch con lo stesso cavo

# Dispositivi utilizzati in questo corso

15

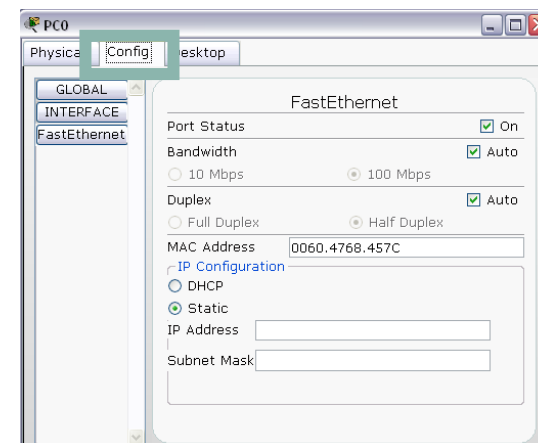


- **PC-PT:** Permette di creare un computer da aggiungere alla rete



Per cambiare le schede di rete è necessario spegnere il dispositivo, togliere la scheda e aggiungere quella desiderata

Configurazione di base tramite interfaccia grafica

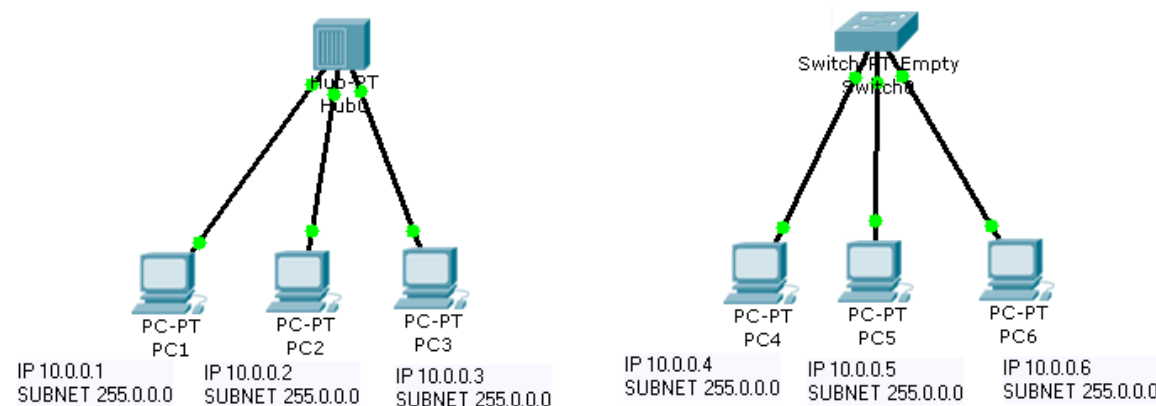


Configurazione avanzata e accesso ai terminali



# Un semplice esempio passo-passo

16



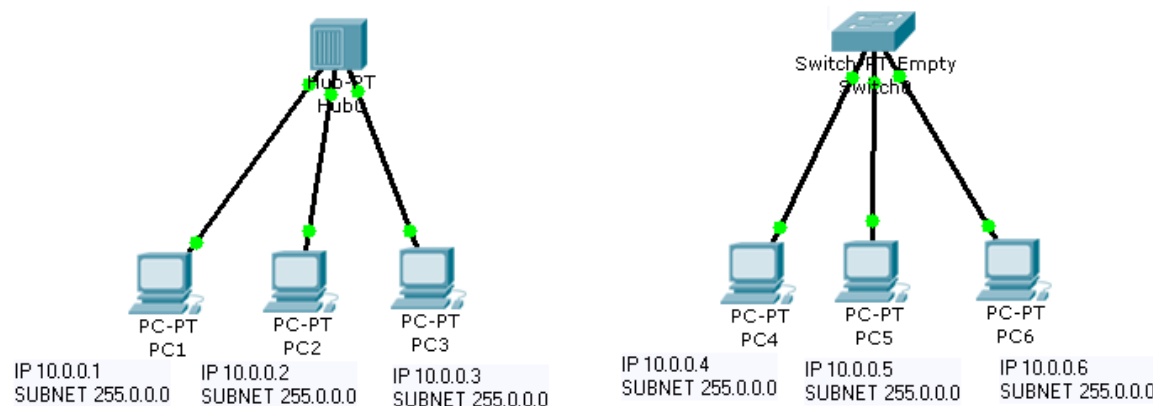
- Vogliamo vedere il diverso comportamento di queste 2 reti:
  - ▣ Selezionare un Hub-PT
  - ▣ Selezionare uno Switch-PT-Empty (attenzione questo switch di default non ha porte fisiche)
    - Cliccare sullo switch creato, spegnerlo, aggiungere 4 porte Fast Ethernet (PT-Switch-NM-1 CFE) e riaccenderlo
- ▣ **Selezionare 6 PC**
  - Configurare gli indirizzi IP e le subnet dei PC come in figura
    - Desktop e IP Configuration
    - la subnet 255.0.0.0 è di default

*Necessario perchè in Paket Tracer lo scambio di trame (controllabile) a livello 2 avviene solo lanciando un applicativo che genera uno scambio di pacchetti a livello 3 (IP) tra PC*



# Un semplice esempio passo-passo

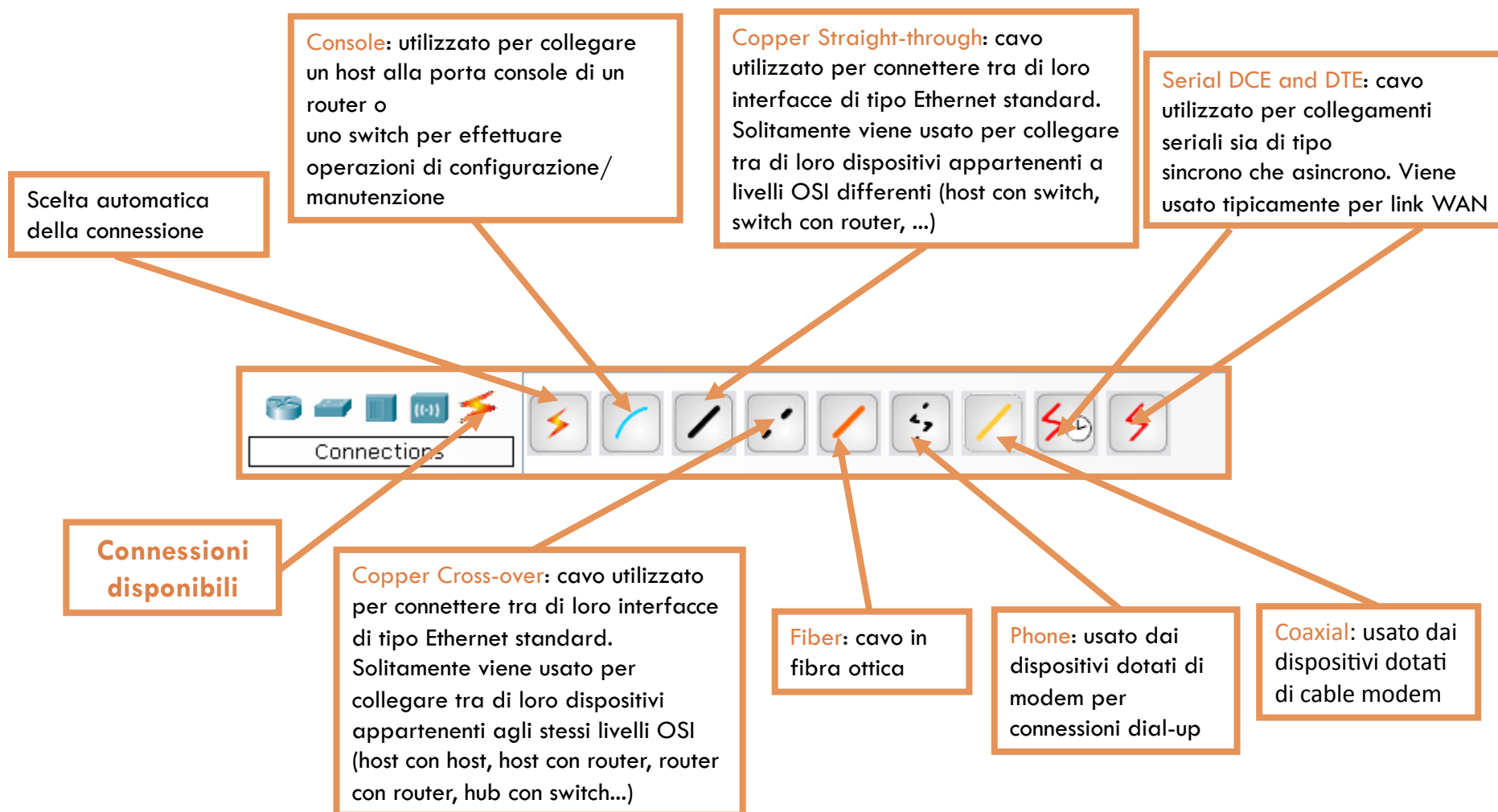
17



- Vogliamo vedere il diverso comportamento di queste 2 reti:
  - ▣ Selezionare un Hub-PT
  - ▣ Selezionare uno Switch-PT-Empty (attenzione questo switch di default non ha porte fisiche)
    - Cliccare sullo switch creato, spegnerlo, aggiungere 4 porte Fast Ethernet (PT-Switch-NM-1CFE) e riaccenderlo
  - ▣ Selezionare 6 PC
  - ▣ **Collegare** 3 PC all'hub con il cavo Copper Straight-through (attenzione in fase di collegamento a selezionare le porte Fast Ethernet) e 3 PC allo switch con lo stesso cavo

# Link tra apparati

18



# Link status

19



- E' possibile visualizzare il nome di ogni interfaccia posizionando lo strumento *Inspect* su ognuna di esse oppure sul link; dopo qualche secondo comparirà il nome in forma abbreviata (ad esempio FE 0/1 per la porta Fast Ethernet 0/1)
- Posizionando il puntatore sul link invece vengono mostrati i nomi delle due interfacce ai capi del link
- Ai capi di ogni link sono rappresentati dei “led” che indicano lo stato dell'interfaccia relativa. Possono essere di tre colori:
  - Verde: indica che l'interfaccia è UP
  - Verde lampeggiante: indica che l'interfaccia è UP e c'è attività sul link
  - Rosso: indica che l'interfaccia è DOWN
  - Ambra: l'interfaccia è “BLOCCATA” in attesa che termini il loop-breaking process; questo stato può manifestarsi solo sulle interfacce degli switch

# Un semplice esempio passo-passo

20



Provare ora con la modalità Simulation per verificare il comportamento dei singoli pacchetti

- In “Event List Filters” con “Edit Filters” disabilitare tutti i protocolli tranne ICMP
- Aggiungere  una Simple PDU (è il comando PING) tra il 1° e il 2° Pc (basta cliccare sui Pc coinvolti dallo scambio) sia nella rete con hub che con switch e lanciare 
  - Che differenze ci sono??
- Eliminare le precedenti Simple PDU (“Delete” sotto “scenario 0”) e questa volta aggiungere una Simple PDU tra il 1° e il 2° Pc e il 3° e il 2° sia nella rete con hub che con switch e lanciare auto/capture play.
  - Che differenze ci sono in questo caso??
- Si può provare a collegare lo switch all’hub (cavo cross) e provare a mandare la Simple PDU tra il 1° e il 2° Pc dell’hub.
  - Cosa succede in questo caso??

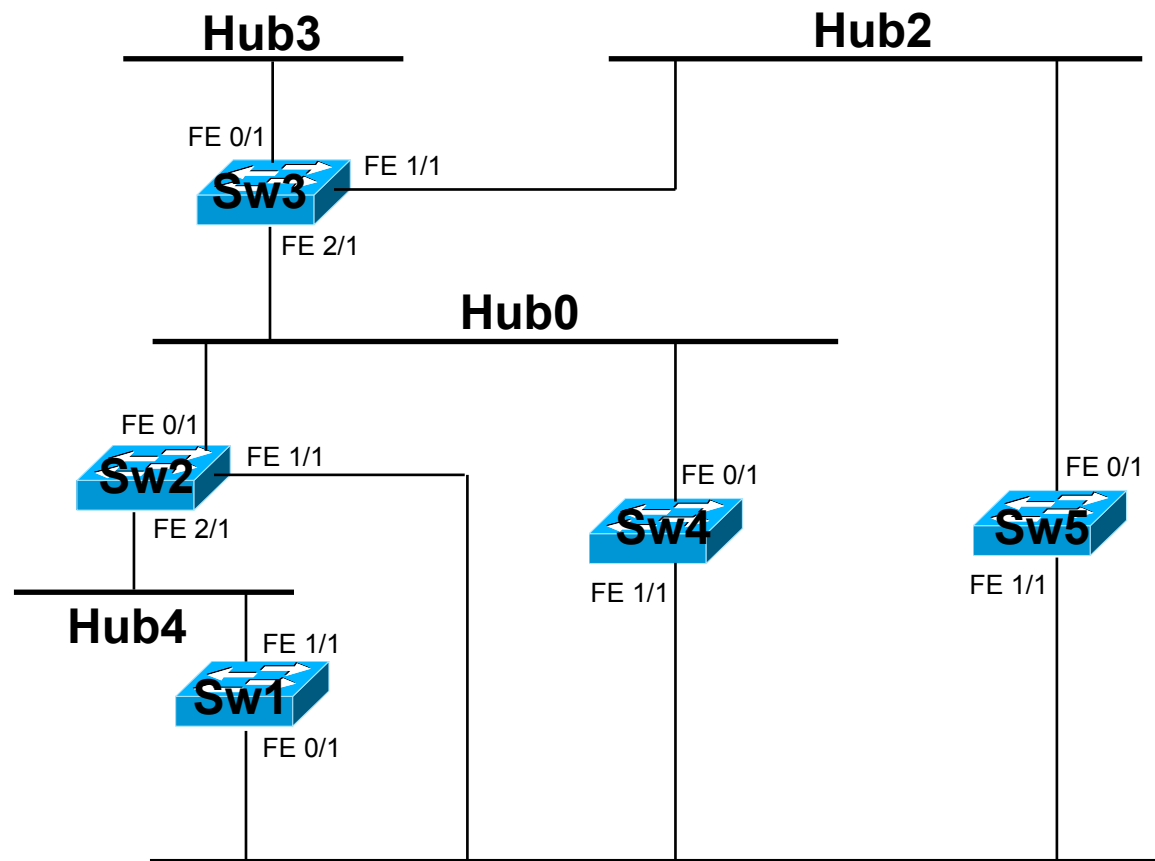
21

# Agenda

Ethernet Spanning Tree

# Interconnessione di reti locali

22



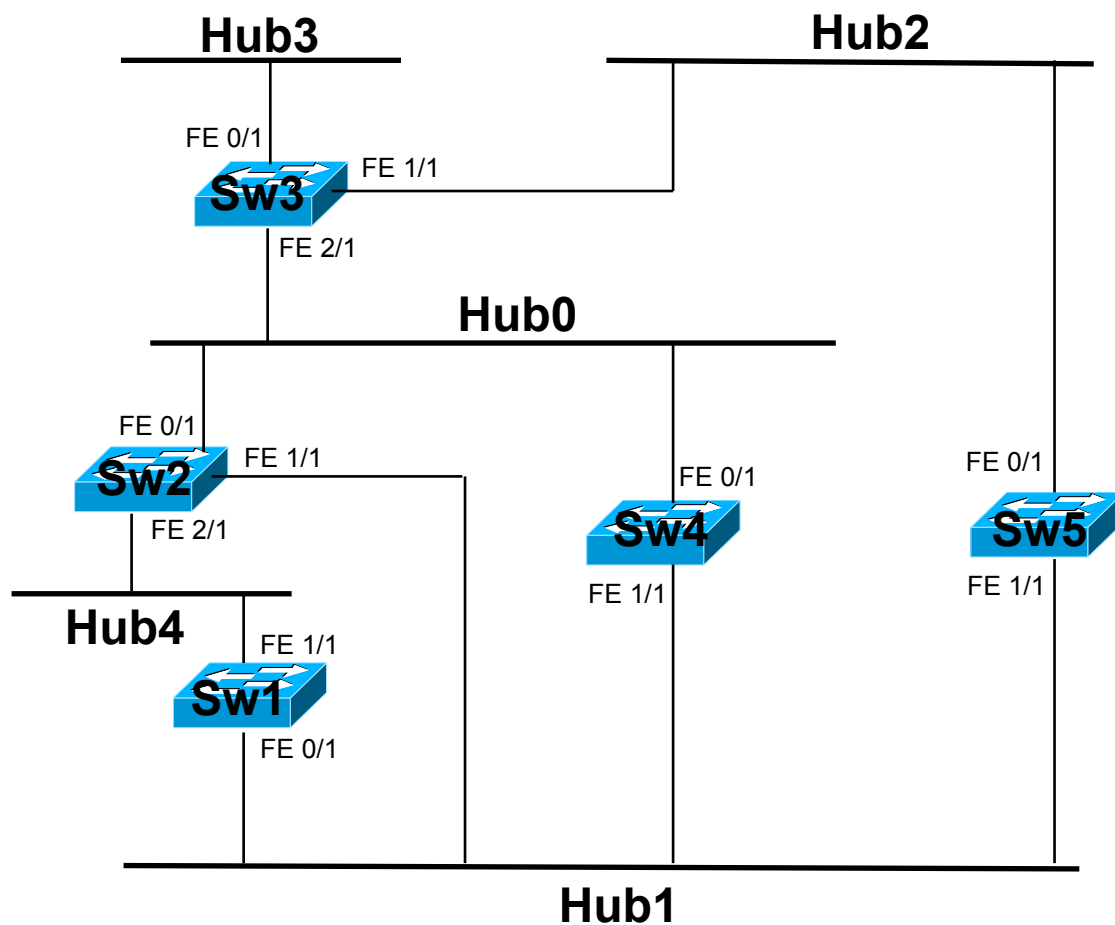
# Spanning Tree Protocol

23

- Serve per eliminare i loop da una rete magliata contenente dei cicli chiusi e ottenere una topologia ad albero.
- Avviene tramite 3 fasi
  - ▣ *Elezione del Root Bridge* (radice dell'albero)
  - ▣ *Selezione della Root Port* (porta per raggiungere il root bridge)
  - ▣ *Selezione della Designated Port* (stabilisce quale tra le porte dei vari switches collegati ad una LAN è designata a inoltrare e ricevere i pacchetti della LAN)
- Stato delle porte
  - ▣ Root Bridge: tutte le porte in stato *forwarding* (per inoltrare pacchetti) e dunque tutte sono contrassegnate come *designated ports*
  - ▣ Altri Switch: una *root port* e *designated ports* (si ha una *designated port* per ogni LAN della rete) in stato *forwarding* e le altre porte in stato di *blocking* (non inoltrano pacchetti)

# Esercizio

24



Data la rete in figura, costruirne il modello equivalente con il Packet Tracer.

Prestare attenzione al numero delle porte in fase di collegamento e al tipo di cavo da utilizzare (utilizzando il collegamento automatico non si ha il controllo del numero di porta da collegare).

Utilizzare lo Switch-Empty e aggiungere il numero appropriato di porte considerando che il dominio di collisione viene creato con un Hub

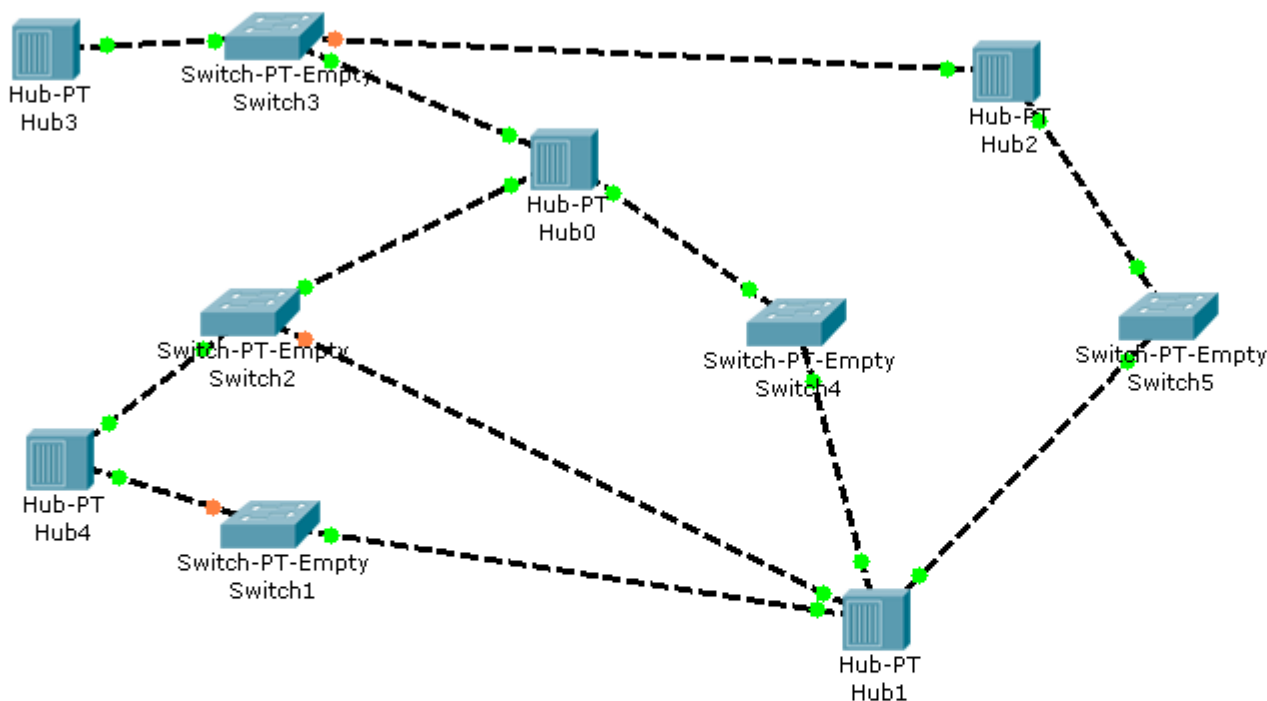


# Esercizio – Soluzione con PT

25

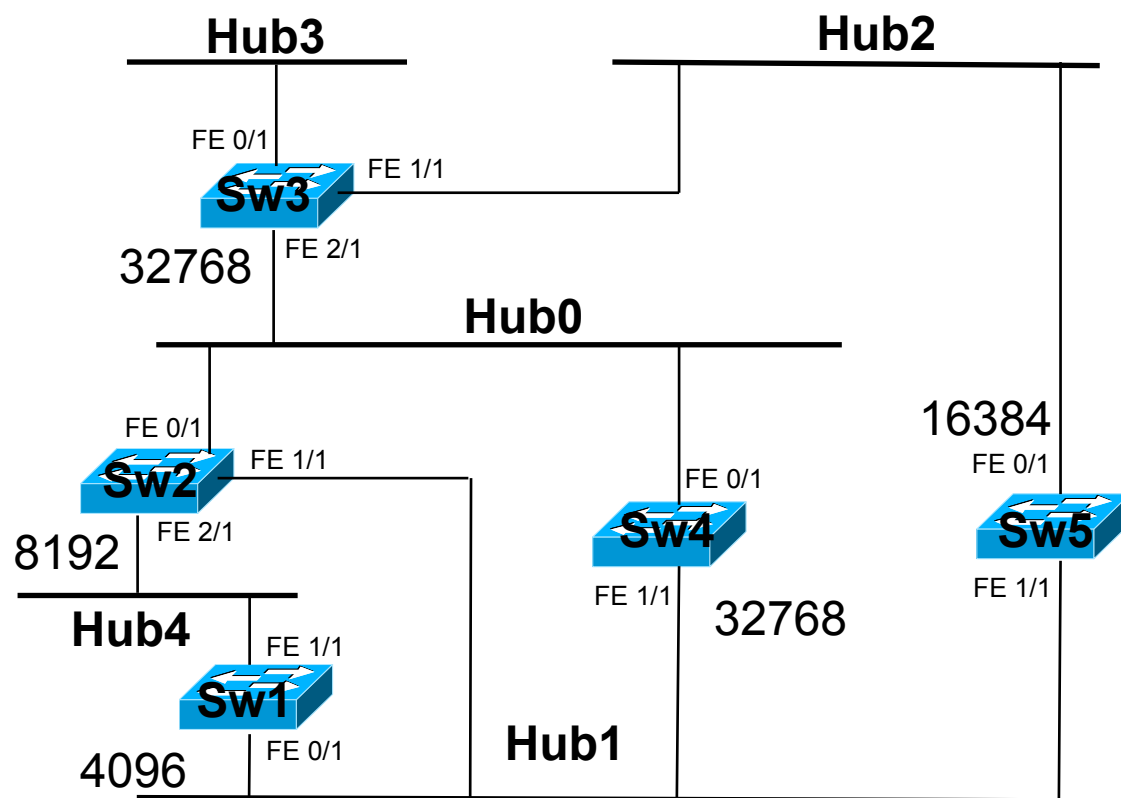
Una volta costruita la rete e definiti i parametri, il tool dopo una fase di transitorio (led lampeggianti) fornirà la soluzione dell'algoritmo STP come a lato (in RealTime Mode).

In arancione le porte in stato Blocked, in verde le porte in stato Designated. Domanda: qual è il ROOT BRIDGE?



# Esercizio

26



Assegnare i valori di priorità agli switch come riportato in figura.

Convenzionalmente le priorità assegnabili ai router CISCO sono {0, 4096, 8192, 16384, 32768, ...}

Minore è il numero e maggiore è la priorità dello switch.

(Il collegamento Fast Ethernet nella versione CISCO ha costo 19)

```
Switch(config)# spanning-tree vlan <ID> priority <NUMBER>
```

(ID di default è 1, NUMBER a scelta tra 0, 4096, 8192, 12288, 16384, 20480, 24576, 28672, 32768, 36864, 40960, 45056, 49152, 53248, 57344, 61440)

# Cisco IOS

27

- E' il sistema operativo installato su tutti i router Cisco e su molti Switch Cisco
- E' un sistema operativo proprietario
- E' ottimizzato per offrire funzionalità di routing e di switching
- Offre accesso affidabile e sicuro agli apparati di rete
- L'accesso al sistema operativo avviene tramite un'interfaccia a linea di comando (CLI, Command Line Interface): offre le funzionalità del terminale di linux con l'autocompletamento dei comandi mediante il TAB.

# Modalità Operative degli Switches

28

- **User EXEC Mode** [prompt **Switch>**]
  - ▣ Configurare le proprietà del terminal
  - ▣ Effettuare test di base
  - ▣ Mostrare informazioni di sistema
- **Privileged EXEC Mode** (or Enable Mode) [prompt **Switch#**]
  - ▣ Informazioni di sistema più dettagliate
  - ▣ Attivare/disattivare la modalità di debug
  - ▣ Salvare/ripristinare la configurazione di sistema
- **Global Configuration Mode** [prompt **Switch(config)#**]
  - ▣ Configurare parametri che riguardano l'intero sistema

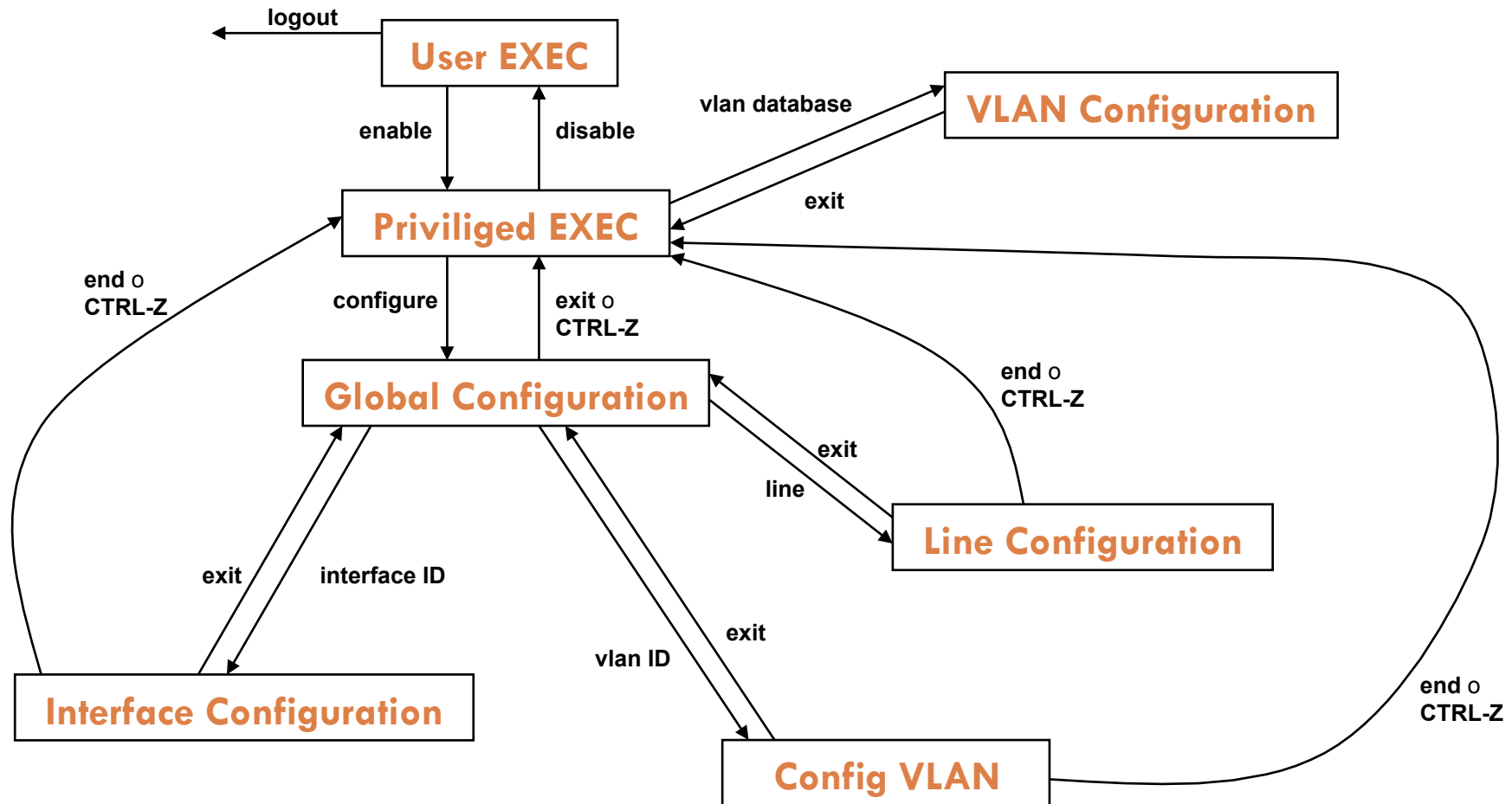
# Modalità Operative degli Switches

29

- **Interface Configuration Mode** [prompt **Switch(config-if) #**]
  - ▣ Configurare i parametri delle singole interfacce singole o insiemi di esse
- **Config-VLAN Mode** [prompt **Switch(config-vlan) #**]
  - ▣ Configurare i parametri delle VLAN
- **VLAN Configuration Mode** [prompt **Switch(vlan) #**]
  - ▣ Configurare i parametri del VLAN database
- **Line Configuration Mode** [prompt **Switch(config-line) #**]
  - ▣ Configurare i parametri del terminal line

# Modalità operative degli Switches

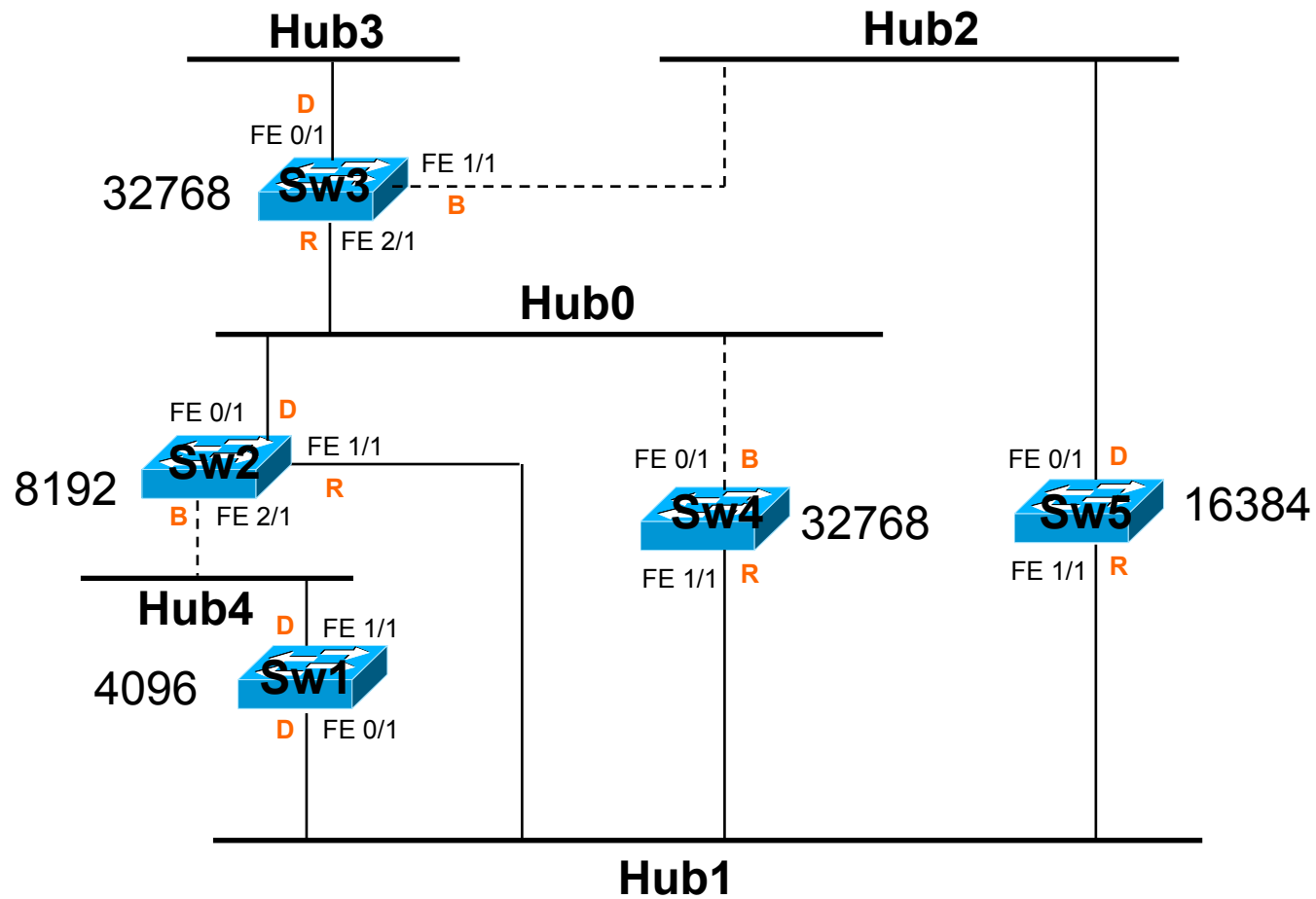
30



Per la lista dei comandi disponibili (che sono un sottoinsieme di quelli veri) vedere l'help del programma tramite F1 nel menù Switch IOS

# Esercizio - Soluzione

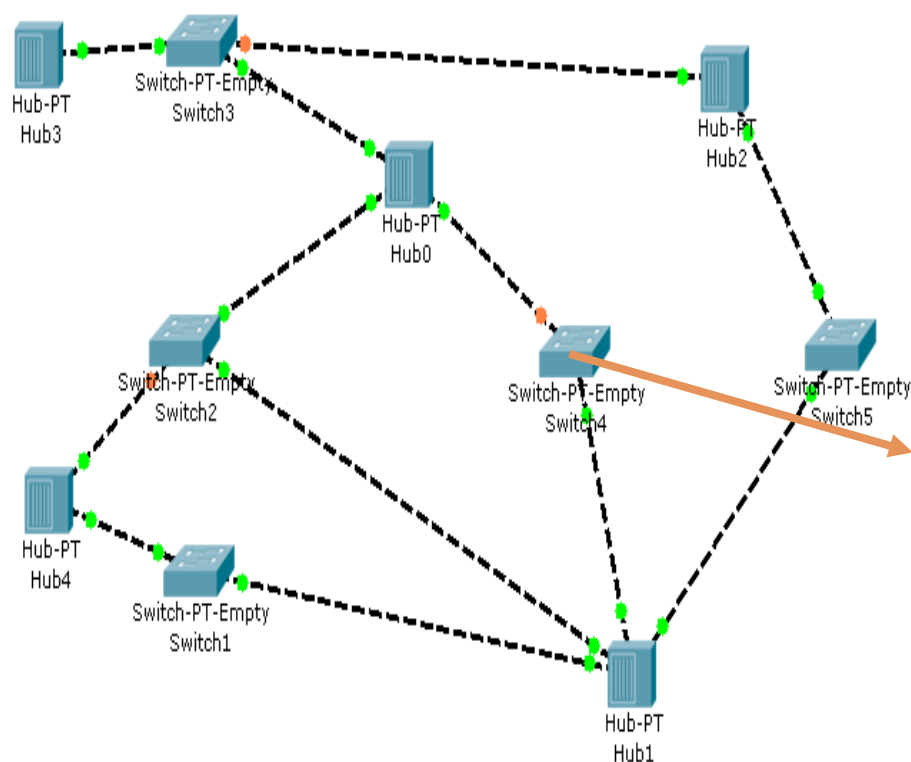
31



# Esercizio – Soluzione con PT

32

Una volta costruita la rete e definiti i parametri, il tool dopo una fase di transitorio (led lampeggianti) fornirà la soluzione dell'algoritmo STP come a lato (in RealTime Mode).



Per mostrare il singolo processo STP negli switch utilizzare il comando:

```
Switch# show spanning-tree
```

Le priorità sono aumentate di 1 che è il numero della VLAN di default. (Protocollo Per VLAN STP, crea un processo STP per ogni VLAN della rete)

I MAC address non sono riferiti ad una particolare interfaccia ma sono riferiti alla macchina. Questo MAC è presente nel sistema operativo dello switch ed è visualizzabile con il comando  
`Switch> show version`

```
Switch4#show spanning-tree
```

```
VLAN0001
```

```
Spanning tree enabled protocol ieee
```

```
Root ID    Priority    4097  
Address    0060.2F1E.AE40
```

```
Hello Time 2 sec Max Age 20 sec Forward Delay 15 sec
```

```
Bridge ID  Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)  
Address    0001.422E.0237
```

```
Aging Time 300
```

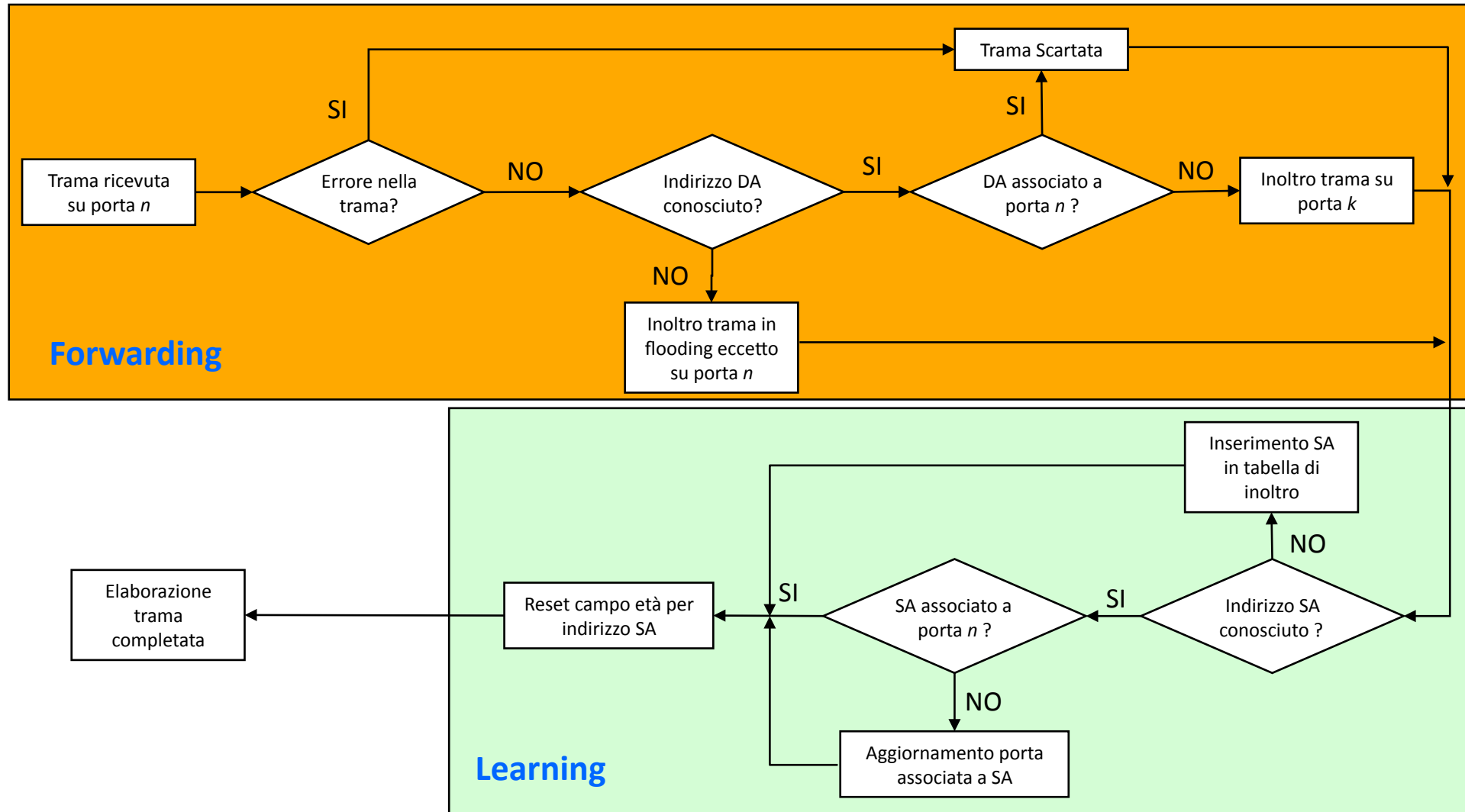
| Interface | Role | Sts | Cost | Prio. | Nbr | Type |
|-----------|------|-----|------|-------|-----|------|
| Fa0/1     | Altn | BLK | 19   | 128.3 |     | Shr  |
| Fal/1     | Root | FWD | 19   | 128.3 |     | Shr  |

**STP Timer**

**Stato singole  
interfacce**

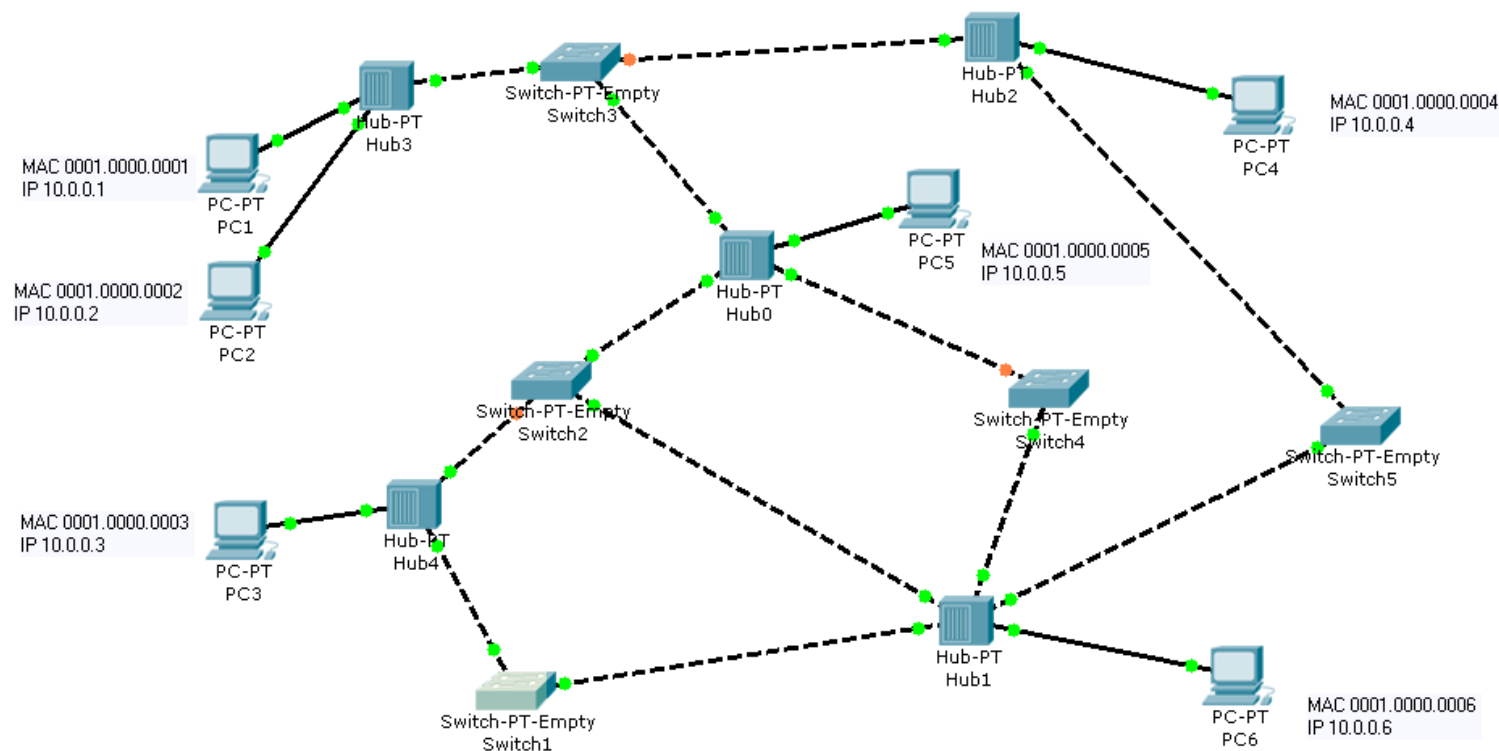


# Learning & Forwarding



# Esercizio

34



Alla rete costruita nell'esercizio precedente aggiungiamo i 6 Pc come in figura configurandoli con gli indirizzi MAC e gli indirizzi IP specificati mediante interfaccia grafica vista precedentemente. Risolvere prima manualmente e poi verificare lo stato delle tabelle MAC degli switch dopo aver instradato le seguenti trame: PC2 – PC6 , PC6 – PC2 , PC4 – PC3 , PC3 – PC4 , PC5 – PC1 , PC1 – PC5

# Un semplice esempio passo-passo

35

- ❑ Configurare gli indirizzi IP e le subnet dei PC come in figura (cliccare sul Pc e selezionare Desktop e IP Configuration)
- ❑ Configurare gli indirizzi MAC dello switch come in figura (da CLI andare in modalità Interface Configuration e usare il comando Switch(config-if)# mac-address NEW\_MAC)

Modifica MAC

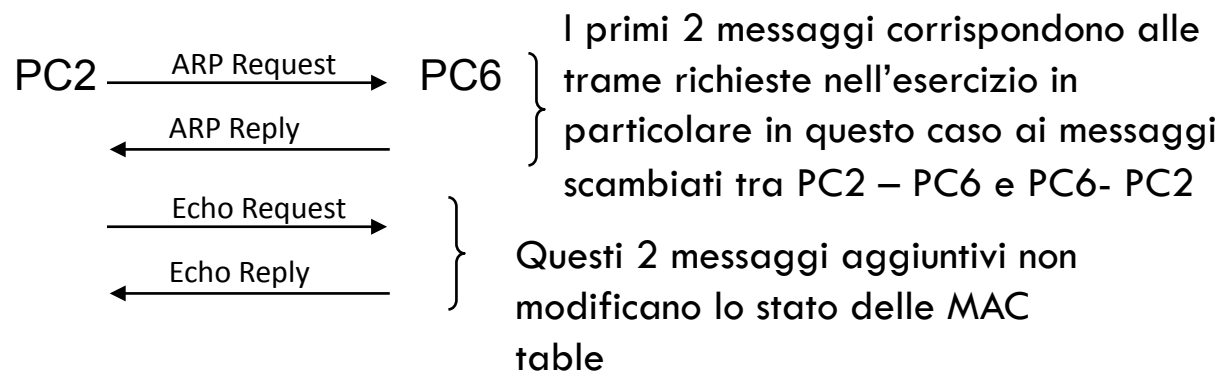
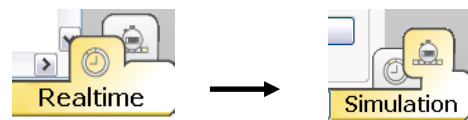
Verifico la modifica

```
Switch>enable
Switch#configure
Configuring from terminal, memory, or network [terminal]?
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#interface FastEthernet 0/1
Switch(config-if)#mac-address 0001.0c35.3eal
Switch(config-if)#exit
Switch(config)#exit
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
Switch#show interface FastEthernet 0/1
FastEthernet0/1 is up, line protocol is up (connected)
Hardware is Lance, address is 0001.0c35.3eal (bia 0000.0c36.3eab)
MTU 1500 bytes, BW 100000 Kbit, DLY 1000 usec,
    reliability 255/255 txload 1/255 rxload 1/255
```

# Esercizio – Soluzione con PT

36

- Per verificare le tabelle MAC degli switches in seguito alle trame inviate è necessario seguire i seguenti passi:
  - ▣ Utilizzare la rete costruita precedentemente tenendo la rete in modalità *Realtime* finché lo stato dell'algoritmo STP non è a regime.
  - ▣ Passare in modalità *Simulation*
  - ▣ Creare le trame di traffico. Per fare questo utilizziamo il protocollo ICMP che mette a disposizione il comando PING composto da:



# Esercizio – Soluzione con PT

37

## ■ Per creare un PING tra due PC sono necessari i seguenti passi

- Selezionare *Add Complex PDU*



- Cliccare sulla macchina che origina il comando PING e completare i campi (un solo comando PING simula le 2 trame nelle 2 direzioni)

Selezionare il protocollo PING

IP destinatario

Sequence Number = 1

Time = 0 per la coppia PC2,PC6 e viceversa

Time = 1 per la coppia PC4,PC3 e viceversa

Time = 2 per la coppia PC5,PC1 e viceversa

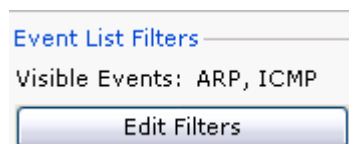
Questo evita eventuali collisioni di messaggi tra i PC


- Con lo strumento INSPECT controllare le ARP table dei PC. Se non sono vuote, svuotarle tramite il terminale mediante il comando `PC>arp -d`







# Esercizio – Soluzione con PT

38

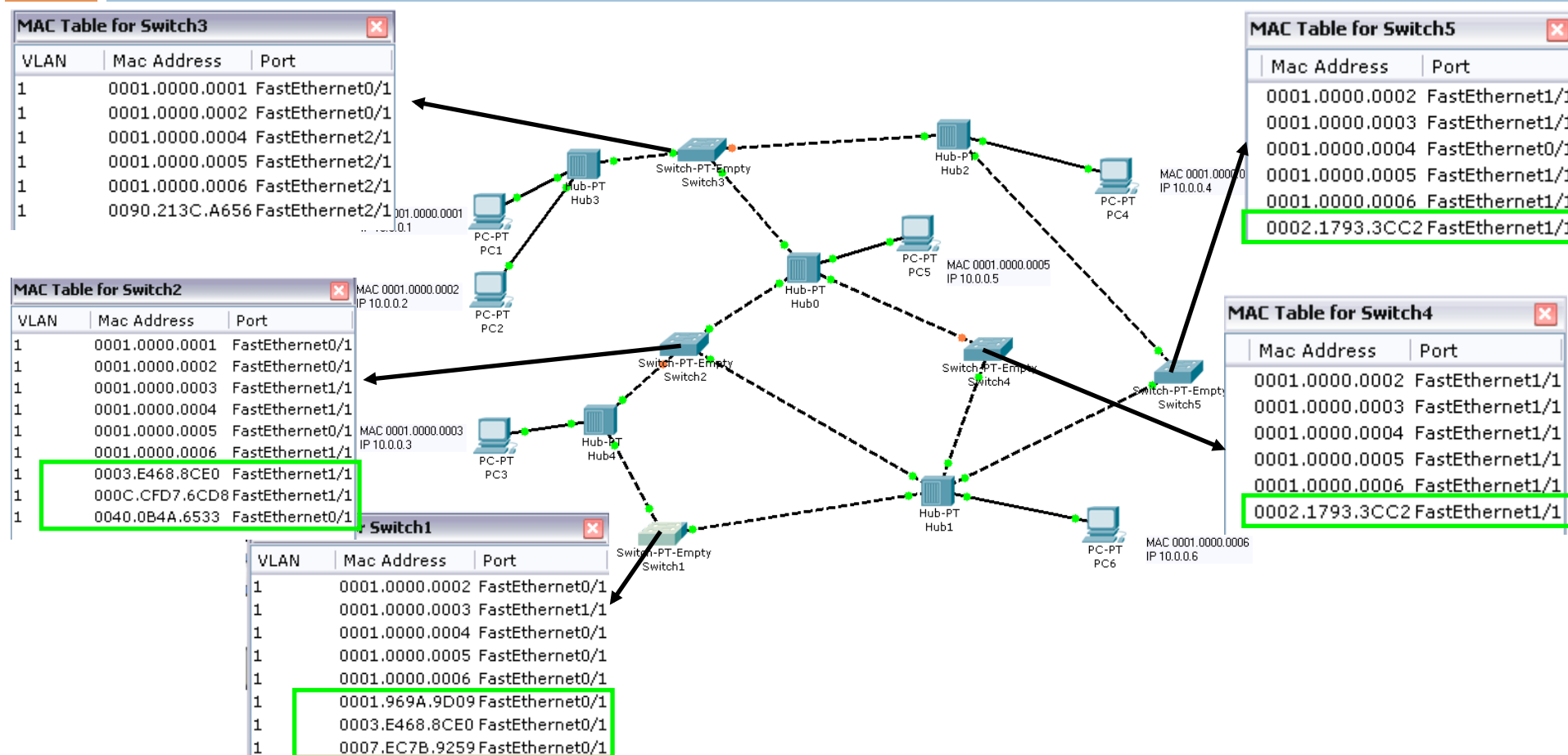
- Con lo strumento INSPECT controllare le MAC table degli switch. Se non sono vuote, svuotarle mediante il comando
  - Switch# clear mac-address-table dynamic
- Filtrare il traffico mostrato scegliendo solo i protocolli ARP e ICMP



- Lanciare la simulazione mediante il comando  che permette di vedere passo-passo i pacchetti in rete finché non si ottiene l'instradamento di tutti i pacchetti come in figura

| Fire  | Last Status | Source | Destination | Type | Color   | Time |
|---|-------------|--------|-------------|------|---|------|
|  | Successful  | PC2    | 10.0.0.6    | ICMP |  | 0.00 |
|  | Successful  | PC4    | 10.0.0.3    | ICMP |  | 1.00 |
|  | Successful  | PC5    | 10.0.0.1    | ICMP |  | 2.00 |

# Esercizio – Soluzione con PT



Gli indirizzi evidenziati in verde sono quelli delle interfacce MAC degli switches che comunicano tramite il protocollo STP, mentre il resto sono quelli dei PC dovuti allo scambio dei pacchetti del comando PING

# Esercizio – Switch MAC table

40

| Trama     | Switch 1       |       | Switch 2       |       | Switch 3       |       | Switch 4       |       | Switch 5       |       |
|-----------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|           | MAC            | PORTA | MAC            | PORTA | MAC            | PORTA | MAC            | PORTA | MAC            | PORTA |
| PC2 – PC6 | 0001.0000.0002 | FE0/1 | 0001.0000.0002 | FE0/1 | 0001.0000.0002 | FE0/1 | 0001.0000.0002 | FE1/1 | 0001.0000.0002 | FE1/1 |
| PC6 – PC2 | 0001.0000.0006 | FE0/1 | 0001.0000.0006 | FE1/1 | 0001.0000.0006 | FE2/1 | 0001.0000.0006 | FE1/1 | 0001.0000.0006 | FE1/1 |
| PC4 – PC3 | 0001.0000.0004 | FE0/1 | 0001.0000.0004 | FE1/1 | 0001.0000.0004 | FE2/1 | 0001.0000.0004 | FE1/1 | 0001.0000.0004 | FE0/1 |
| PC3 – PC4 | 0001.0000.0003 | FE1/1 | 0001.0000.0003 | FE1/1 | -              | -     | 0001.0000.0003 | FE1/1 | 0001.0000.0003 | FE1/1 |
| PC5 – PC1 | 0001.0000.0005 | FE0/1 | 0001.0000.0005 | FE0/1 | 0001.0000.0005 | FE2/1 | 0001.0000.0005 | FE1/1 | 0001.0000.0005 | FE1/1 |
| PC1 – PC5 | -              | -     | 0001.0000.0001 | FE0/1 | 0001.0000.0001 | FE0/1 | -              | -     | -              | -     |



41

## Slide di approfondimento

# Cisco Packet Tracer 4.1 1: caratteristiche

42

- **Apparati emulati**
  - Routers, Switches, Hubs (Repeaters), Wireless Devices (Access Point), End Devices (PCs, servers, printers, IPphone), WAN emulations (DSL e Cable Modem), apparati definiti dall'utente
- **Connessioni**
  - Collegamento automatico degli apparati, cavo di rete in rame, cavo di rete in rame cross, fibra ottica, cavo telefonico, coassiale, cavo seriale DCE e DTE
- **Protocolli LAN**
  - Ethernet (including CSMA/CD\*), 802.11 wireless\*
- **Protocolli di Switching**
  - VLANs, 802.1q, trunking, VTP (VLAN Trunk Protocol), DTP (Dynamic Trunk Protocol), STP\*
- **Protocolli TCP/IP**
  - HTTP, DHCP, Telnet, TFTP, DNS, TCP\*, UDP, IP, ICMP, and ARP
- **Routing**
  - static, default, RIPv1, RIPv2, EIGRP, and inter-VLAN routing
- **WAN**
  - Frame Relay\*, PPP, HDLC
- **Cisco Management (proprietario)**
  - CDP (Cisco Discovery Protocol)

(evidenziati gli argomenti trattati in questo modulo)

\* Modelli con limitazioni sostanziali

# Dispositivi utilizzati in questo corso

43

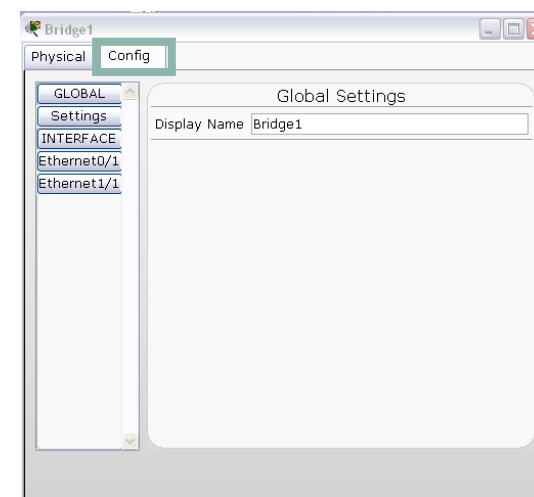


- **Bridge-PT:** Switch con solo 2 porte disponibili (sostituibili con le stesse porte disponibili sullo Switch-PT-Empty)



Configurazione di base tramite interfaccia grafica.

Il bridge non mette a disposizione l'accesso al sistema operativo IOS



Per cambiare le porte al bridge è necessario spegnere il dispositivo, togliere la porta e aggiungere quella desiderata

# Spanning Tree Protocol

44

- BPDUs (Bridge Protocol Data Units) trasmesse in broadcast a tutti gli switch attraverso l'indirizzo 0108.C200.0000
  - ▣ **Topology Change Notification** per notificare cambiamenti di rete. Vengono trasmessi sulla root port di un bridge che si accorge della modifica di rete e vengono trasmessi a monte fino al root bridge che risponde con un T.C. Ack; in questo modo tutti i bridge sul percorso vengono informati del cambiamento. Il bridge trasmette T.C.N. finché non riceve l'Ack dal root bridge. Alla ricezione imposta il timer *ageing time* al valore *forward delay timer* per eliminare velocemente le entry del database.
  - ▣ **Configuration** trasmessi periodicamente (ogni *hello time* sec, generalmente 2 sec). Sono pacchetti composti dai seguenti campi
    - **Root Identifier**: 2 byte di Bridge Priority impostati dall'amministratore + 6 byte di indirizzo MAC del root bridge. Indica il root bridge per chi emette la BPDU.
    - **Root Path Cost**: costo amministrativo per raggiungere il root bridge
    - **Bridge ID**: 2 byte di bridge Priority impostati dall'amministratore + 6 byte di indirizzo MAC del bridge che emette la BPDU (o il MAC della porta inferiore o nel caso degli switch CISCO è un MAC relativo alla macchina e non ad una specifica porta ed è visualizzabile tramite il comando `Switch> show version`)
    - **Port Identifier**: 1 byte di Port Priority + 1 byte di numero porta
    - **Message Age**: numero di hop dal root bridge
    - **Max Age**: limite di tempo intercorso dalla ricezione dell'ultima BPDU oltre il quale questa non viene più considerata valida
    - **Hello Time**: periodicità di invio BPDU
    - **Forward Delay Timer**: per ritardare o anticipare il cambiamento di stato delle porte da learning e forwarding.

# Spanning Tree Protocol

45

## □ Elezione del Root Bridge e della Root Port

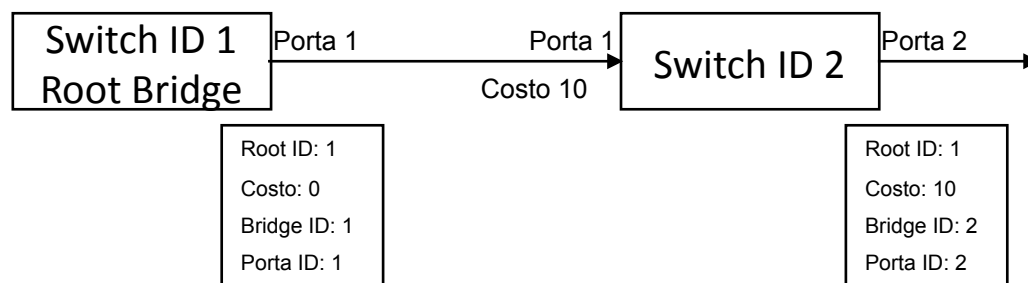
- All'accensione ogni switch emette BPDU su tutte le porte considerandosi Root Bridge
- Se uno switch riceve BPDU con Root ID maggiore del proprio Bridge ID allora continua ad emettere le proprie BPDU considerandosi Root Bridge
- Se uno switch riceve da una porta BPDU con Root ID minore del proprio Bridge ID allora interrompe la trasmissione delle proprie BPDU e manda in flooding la BPDU ricevuta su tutte le altre porte aggiornandone il contenuto. In questo caso il Root Bridge è un altro switch e la porta di ricezione della BPDU diventa Root Port.

# Spanning Tree Protocol

46

## □ Selezione della Root Port

- Nel caso si ricevano più BPDU da più porte con lo stesso valore di Root ID (significa che ci sono più percorsi per raggiungere il Root Bridge), allora la Root Port viene scelta secondo questo criterio
  - Si aggiornano i *root path cost* delle BPDU ricevute con il costo della porta di ricezione e si seleziona la BPDU con *root path cost* minore
  - Se 2 BPDU hanno lo stesso *root path cost*, si sceglie quella proveniente dal minor Bridge ID
  - Nel caso di uguaglianza dei valori sopra si sceglie quella con *Port Identifier* minore
- Un bridge che riceve una BPDU prima di ritrasmetterla, deve aggiornarne i campi:
  - Somma il valore *path cost* associato alla porta di ricezione (lo standard raccomanda  $20 \cdot 10^9$  / velocità in kbit/s) al valore contenuto nel campo *root path cost* del pacchetto (se proviene direttamente dal root bridge il costo iniziale è 0)
  - Inserisce il proprio *Bridge ID* nell'opportuno campo
  - Inserisce il *Port ID* su cui sta ritrasmettendo la BPDU



# Spanning Tree Protocol

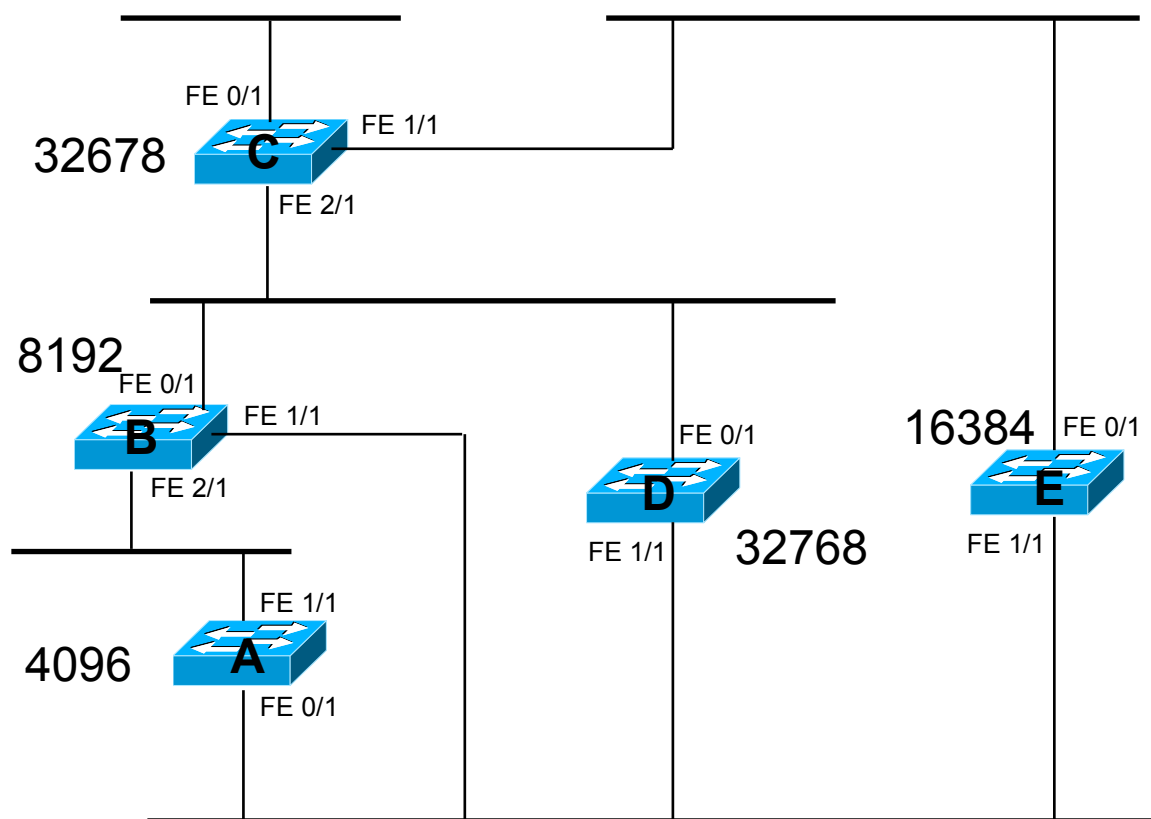
47

## □ Selezione della Designated Port

- Ogni bridge ritrasmette le BPDU ricevute dalla Root Port su tutte le altre porte. Su tali porte possono avvenire delle ricezioni di altre BPDU:
  - Se una BPDU ricevuta da una porta non root ha priorità più bassa di quella trasmessa (in questo caso il confronto avviene non aggiornando il campo relativo al costo di ricezione) allora la porta viene selezionata come *designated*.
  - Se una BPDU ricevuta da una porta non root ha priorità più alta di quella trasmessa (in questo caso il confronto avviene non aggiornando il campo relativo al costo di ricezione) allora la porta viene selezionata come *blocked*.
  - Le porte che non ricevono pacchetti BPDU vengono selezionate come *designated*

# Esercizio

48



Data la rete in figura con accanto agli switch le rispettive priorità, risolvere manualmente lo STP attribuendo alle porte l'appropriato stato (Root, Designated, Blocking). Considerare collegamenti Fast Ethernet (nella versione CISCO questo collegamento ha costo 19 e non 10). Per le priorità degli switch considerare prima la priorità configurata e poi le lettere (A ha maggiore priorità rispetto a B)

Ripetere l'esercizio verificando il risultato con il Packet Tracer prestando attenzione al numero delle porte in fase di collegamento e al tipo di cavo da utilizzare (utilizzando il collegamento automatico non si ha il controllo del numero di porta da collegare). Utilizzare lo Switch-Empty e aggiungere il numero appropriato di porte considerando che il dominio di collisione viene creato con un Hub



# Esercizio – Root Election

| PORTE SWITCH    | A0                               | A1       | B0                   | B1                               | B2       | C0      | C1       | C2                   | D0                   | D1                               | E0       | E1                               |
|-----------------|----------------------------------|----------|----------------------|----------------------------------|----------|---------|----------|----------------------|----------------------|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| STATO-1         | D                                | D        | D                    | D                                | D        | D       | D        | D                    | D                    | D                                | D        | D                                |
| TX              | A,0,A,0                          | A,0,A,1  | B,0,B,0              | B,0,B,1                          | B,0,B,2  | C,0,C,0 | C,0,C,1  | C,0,C,2              | D,0,D,0              | D,0,D,1                          | E,0,E,0  | E,0,E,1                          |
| RX              | B,0,B,1<br>D,0,D,1<br>E,0,E,1    | B,0,B,2  | C,0,C,2<br>D,0,D,0   | A,0,A,0<br>D,0,D,1<br>E,0,E,1    | A,0,A,1  | -       | E,0,E,0  | B,0,B,0<br>D,0,D,0   | B,0,B,0<br>C,0,C,2   | A,0,A,0<br>B,0,B,1<br>E,0,E,1    | C,0,C,1  | A,0,A,0<br>B,0,B,1<br>D,0,D,1    |
| RX cost updated | B,19,B,1<br>D,19,D,1<br>E,19,E,1 | B,19,B,2 | C,19,C,2<br>D,19,D,0 | A,19,A,0<br>D,19,D,1<br>E,19,E,1 | A,19,A,1 | -       | E,19,E,0 | B,19,B,0<br>D,19,D,0 | B,19,B,0<br>C,19,C,2 | A,19,A,0<br>B,19,B,1<br>E,19,E,1 | C,19,C,1 | A,19,A,0<br>B,19,B,1<br>D,19,D,1 |

Ogni switch si annuncia agli altri come Root

Priorità maggiore

Switch ID:

A : 4096 . MAC ADDRESS

B : 8192 . MAC ADDRESS

C : 32768 . MAC ADDRESS

D : 32768 . MAC ADDRESS

E : 16384 . MAC ADDRESS

Minore è il numero e maggiore è la priorità dello switch

Formato messaggi: [Root ID, Costo, Bridge ID, Porta]

# Esercizio – Porte Blocked/Designated

| PORTE SWITCH    | A0      | A1       | B0       | B1       | B2       | C0       | C1       | C2                   | D0       | D1       | E0       | E1       |
|-----------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| STATO-2         | D       | D        | D        | R        | D        | D        | D        | R                    | D        | R        | D        | R        |
| TX              | A,0,A,0 | A,0,A,1  | A,19,B,0 | -        | A,19,B,2 | B,19,C,0 | B,19,C,1 | -                    | A,19,D,0 | -        | A,19,E,0 | -        |
| RX              | -       | A,19,B,2 | A,19,D,0 | A,0,A,0  | A,0,A,1  | -        | A,19,E,0 | A,19,B,0<br>A,19,D,0 | A,19,B,0 | A,0,A,0  | B,19,C,1 | A,0,A,0  |
| RX cost updated | -       | A,38,B,2 | A,38,D,0 | A,19,A,0 | A,19,A,1 | -        | A,38,E,0 | A,38,B,0<br>A,38,D,0 | A,38,B,0 | A,19,A,0 | B,38,C,1 | A,19,A,0 |

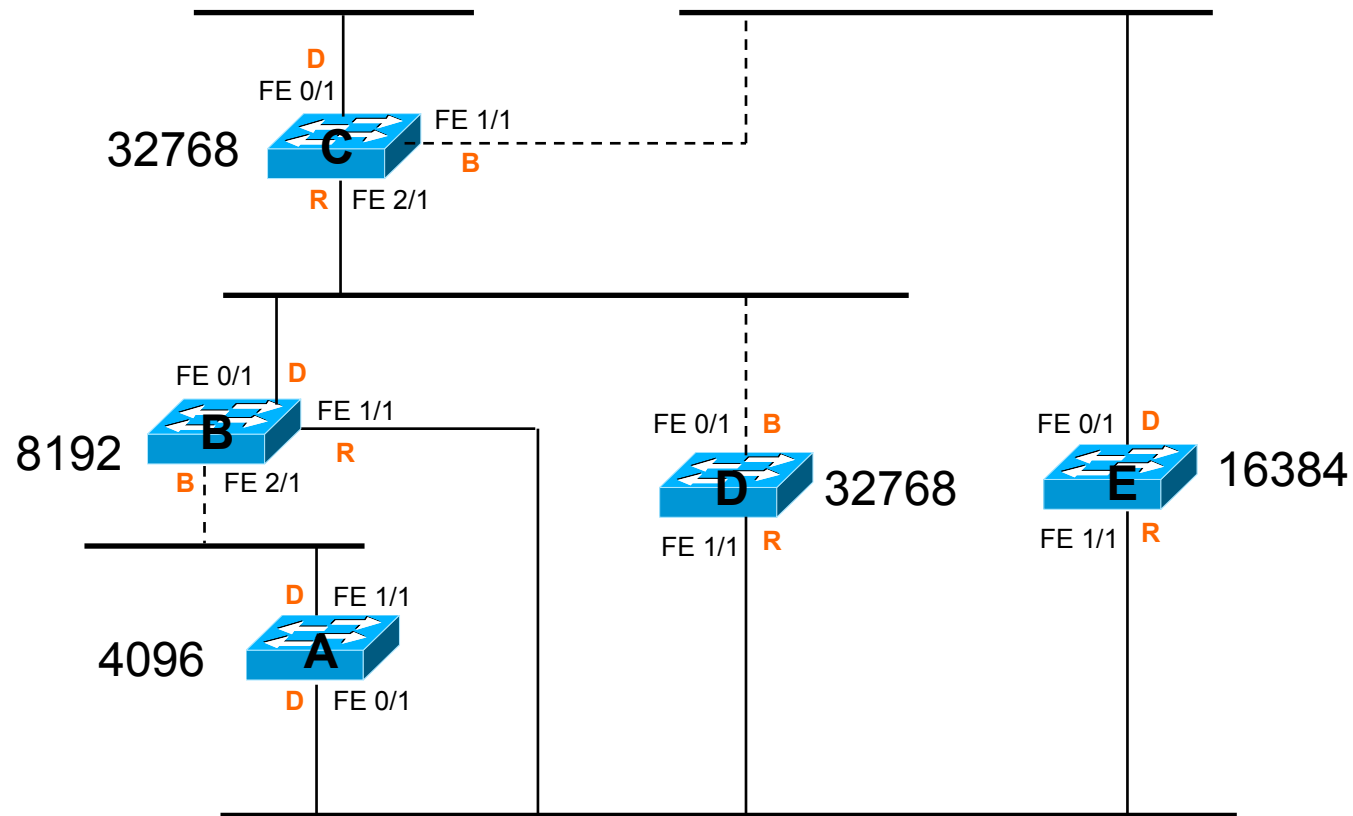
| PORTE SWITCH | A0      | A1      | B0       | B1 | B2 | C0       | C1 | C2 | D0 | D1 | E0       | E1 |
|--------------|---------|---------|----------|----|----|----------|----|----|----|----|----------|----|
| STATO-3      | D       | D       | D        | R  | B  | D        | B  | R  | B  | R  | D        | R  |
| TX           | A,0,A,0 | A,0,A,1 | A,19,B,0 | -  | -  | A,38,C,0 | -  | -  | -  | -  | A,19,E,0 | -  |
|              |         |         |          |    |    |          |    |    |    |    |          |    |

In verde i messaggi per la determinazione del root bridge e i costi per raggiungerlo

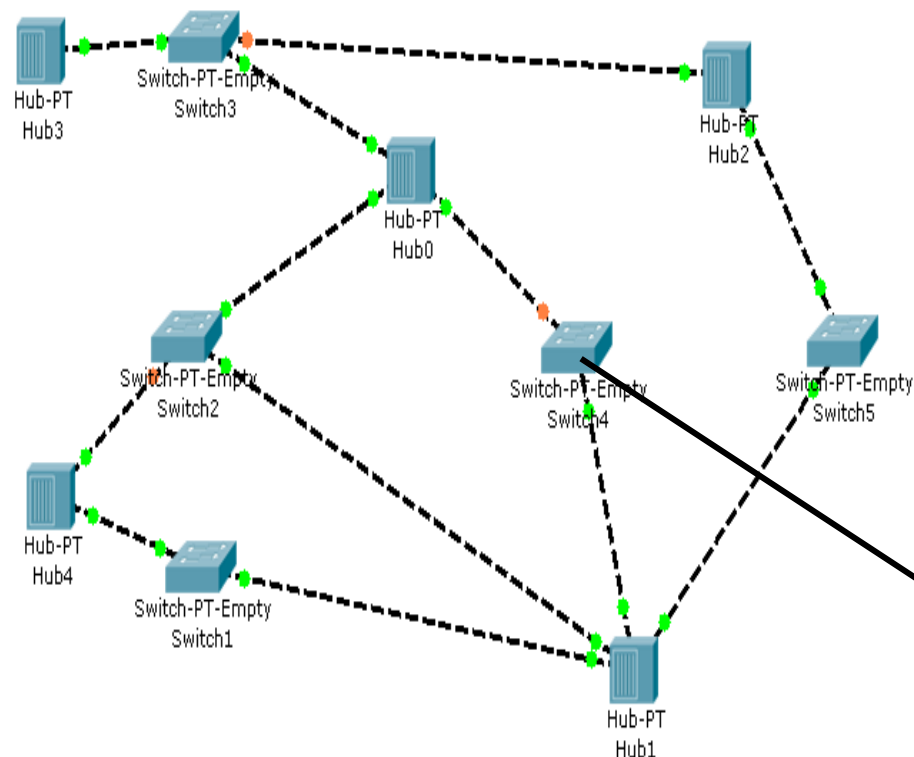
In rosso, per ogni porta non root si determina se la porta è blocked o designated

# Esercizio - Soluzione

51



# Esercizio – Soluzione con PT



Una volta costruita la rete e definiti i parametri, il tool dopo una fase di transitorio (led lampeggianti) fornirà la soluzione dell'algoritmo STP come a lato (in RealTime Mode).

Per mostrare il singolo processo STP negli switch utilizzare il comando

Switch# show spanning-tree

Le priorità sono aumentate di 1 che è il numero della VLAN di default. (Protocollo Per VLAN STP, crea un processo STP per ogni VLAN della rete)

I MAC address non sono riferiti ad una particolare interfaccia ma sono riferiti alla macchina. Questo MAC è presente nel sistema operativo dello switch ed è visualizzabile con il comando Switch> show version

STP Timer

Stato singole interfacce

```
Switch4#show spanning-tree

VLAN0001
  Spanning tree enabled protocol ieee
  Root ID    Priority    4097
            Address    0060.2F1E.AEA0
  Hello Time  2 sec    Max Age 20 sec    Forward Delay 15 sec
  Bridge ID   Priority    32769 (priority 32768 sys-id-ext 1)
            Address    0001.422E.0237
  Aging Time  300

Interface Role Sts Cost Prio.Nbr Type
-----
Fa0/1    Altn BLK 19    128.3 Shr
Fa1/1    Root FWD 19    128.3 Shr
```

# Comandi utili

53

## □ PC

- `arp -d` : display arp table
- `arp -a` : svuota la arp table

## □ Switch

- `Switch> show mac-address-table` : per mostrare il contenuto della MAC table
- `Switch> show interfaces` : per mostrare le informazioni sulle interfacce
- `Switch# clear mac-address-table dynamic` : per svuotare la MAC table
- `Switch# show spanning-tree vlan ID` : per mostrare la tabella e i timer del protocollo STP (ID di default è 1)
- `Switch(config-if)# mac-address NEW_MAC` : modifica del MAC address della porta
- `Switch(config-if)# shutdown` : per disabilitare l'interfaccia specifica
- `Switch(config-if)# no shutdown` : per abilitare l'interfaccia specifica
- `Switch>show version` : mostra le info di sistema tra cui il Bridge ID che non è legato alle porte installate (Base ethernet MAC Address)
- `Switch(config)# spanning-tree vlan ID priority NUMBER` : per modificare la priorità di uno switch (ID di default è 1, NUMBER a scelta tra 0 4096 8192 12288 16384 20480 24576 28672 32768 36864 40960 45056 49152 53248 57344 61440)