Lezione 3:
Livello 2 - Bridge e Switch

Claudio Ardagna, Patrizio Tufarolo – Università degli Studi di Milano

Insegnamento di Laboratorio di Reti di Calcolatori

Introduzione - 1

- **Bridge** e **Switch** sono dispositivi che operano a **livello 2**
- Garantiscono la separazione dei **domini di collisione**, e sono in grado di gestire i **frame ethernet**

Introduzione - 2

- Bridge
  - Dispositivo di rete che fa da **ponte** tra due mezzi fisici, all'interno della stessa rete locale
  - È in grado di tradurre i segnali elettrici del mezzo trasmissivo in informazioni, logicamente organizzate in **frame ethernet**
  - Dispone di **porte** che lo mettono in collegamento con diversi **segmenti** di rete, attraverso i quali effettua il **forwarding** dei frame, servendosi di tabelle di indirizzi MAC
  - Problema: **gestione della ridondanza**

Introduzione - 3

- Switch
  - Ha un comportamento **trasparente** al pari di un hub
  - Rispetto a un hub
    - Lavorando a livello 2, come il bridge, garantisce la **separazione dei domini di collisione**, consentendo quindi di inviare frame solo alla porta destinataria
  - Rispetto a un bridge
    - Gode di un **maggior numero di porte** (è connesso direttamente ai singoli host)
    - Garantisce **performance migliori**
    - **Maggiore configurabilità** e supporto a protocolli avanzati (ad es., VLAN port tagging e trunking, regole per l'instradamento dei frame)
  - Può essere **managed** e **unmanaged**
    - Uno switch managed, rispetto a uno unmanaged, dispone di **una console di gestione** (grafica o CLI-based) che permette di regolarne il funzionamento da remoto

Terminologia - 1

- ISO/OSI (Open System Interconnection)
- Ethernet
- MAC Address

Terminologia - 1

- ISO/OSI (Open System Interconnection)
  - Standard de iure che organizza l'**architettura di una rete** di calcolatori in una struttura composta da **7 livelli** (stack di rete)
- Ethernet
  - Famiglia di tecnologie standardizzate per le reti che definisce specifiche tecniche per i **livelli 1 e 2** (fisico e datalink) dello stack ISO/OSI
- MAC Address
  - Media Access Control Address, o i**ndirizzo fisico**, indirizzo a 48 bit che **identifica univocamente un'interfaccia di rete**

Terminologia – 2

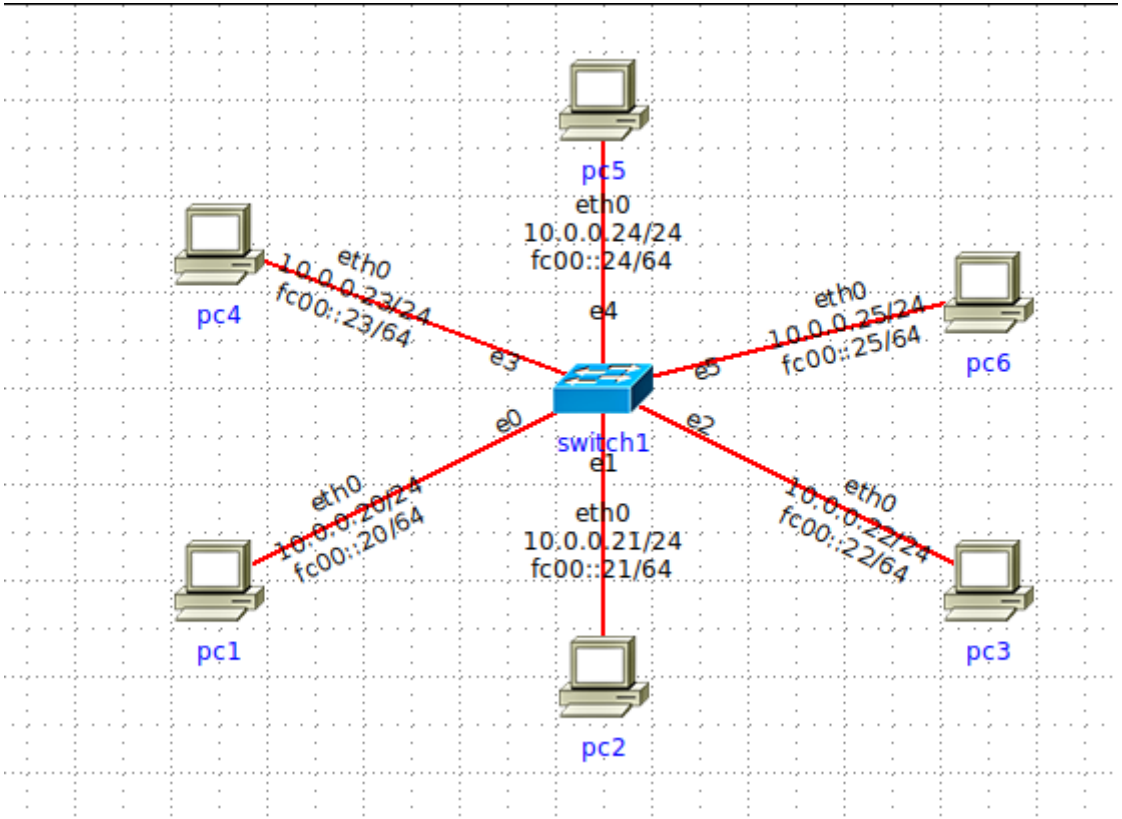
- VLAN
- VLAN Trunking
- Spanning tree protocol
- Modalità promiscua

Terminologia – 2

- VLAN
  - Virtual LAN: **Partizionamento logico** di un dominio di broadcast a livello 2, ottenuto mediante «**tagging**» dei pacchetti
  - Attenzione: non si confonda il concetto di virtualizzazione affrontato nelle scorse lezioni con quello di «Virtual» per le VLAN
- VLAN Trunking
  - **Trasporto sulla rete delle informazioni** relative alle VLAN
  - Può essere ottenuto con diversi protocolli
    - 802.1q
    - Cisco VLAN Trunking Protocol (VTP)
    - Multiple VLAN Registration Protocol
    - Shortest Part Bridging
- Spanning tree protocol
  - Protocollo per la realizzazione di una **topologia logica priva di loop** organizzata secondo un albero sulla base di una **topologia fisica ridondata**
- Modalità promiscua
  - Modalità che consente a un'interfaccia di ricevere tutto il traffico in transito su una rete, anche se non corrisponde al suo MAC address

Switch

Switch su IMUNES



Switch su IMUNES: cosa c'è sotto? - 1

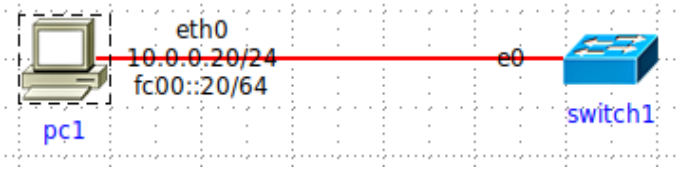
- Gli Switch di IMUNES sono gestiti da OpenvSwitch
- La denominazione usata da OpenvSwitch è *Bridge*
- A ogni *Bridge*
  - Sono associate più *Port*, che rappresentano le varie interfacce di rete (porte)
  - È associata una porta fake di tipo «internal» che consente di agire sul bridge stesso

Switch su IMUNES: cosa c'è sotto? - 2

- Al *namespace* di ogni host virtuale, è assegnata un'interfaccia simulata, collegata in software alla corrispondente porta del bridge tramite un link
- Questo **link simulato** può essere gestito tramite il comando *ip link* descritto nella scorsa lezione
- **Il bridge di OVS e l'host simulato** sono quindi i ***peer*** di questo link

Switch su IMUNES: cosa c'è sotto? - 3

IMUNES



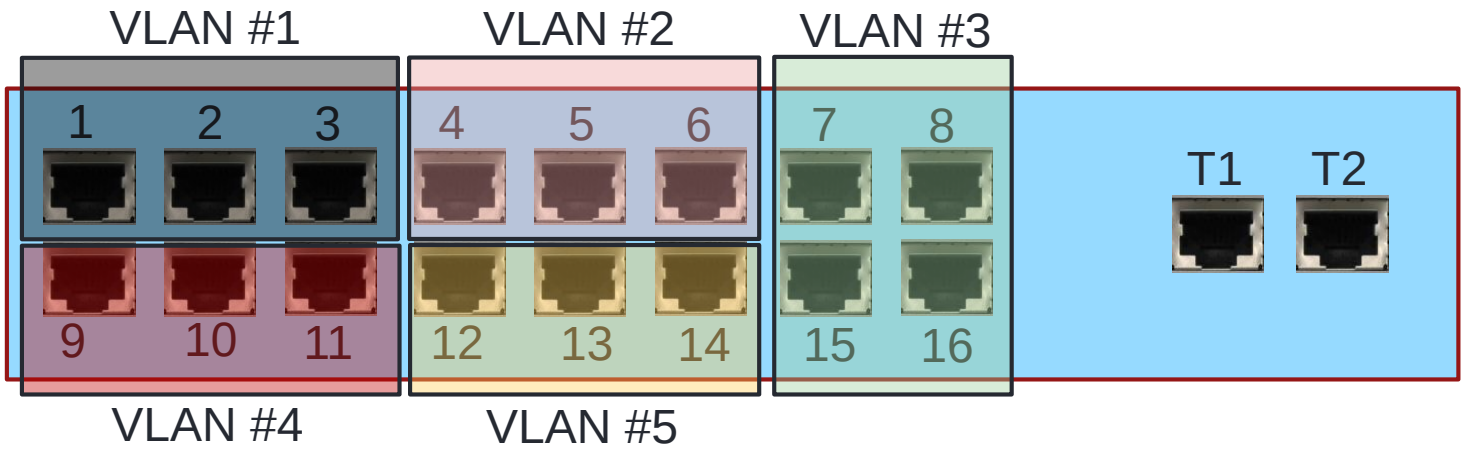
OVS

```
Bridge "i210c0.n0"
        Port "i210c0.n0.e0"
            Interface "i210c0.n0.e0"
        Port "i210c0.n0"
            Interface "i210c0.n0"
                type: internal
```

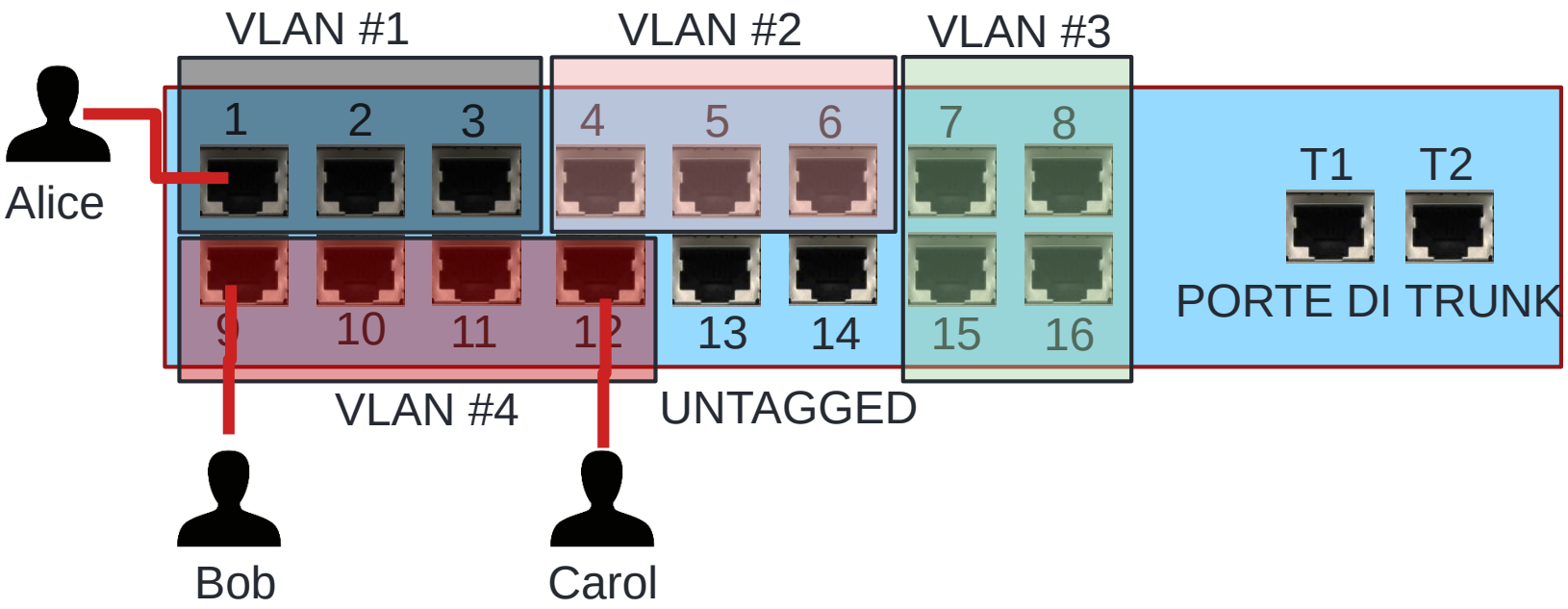
- I nomi di ogni risorsa (bridge o port) hanno come prefisso il **nome dell'esperimento corrente** (nell' es: *i210c0*)
- In OVS le risorse sono numerate **rispetto all'ordine di disegno** su IMUNES
  - La numerazione di OVS parte da 0 e non da 1: lo *switch1* è quindi il bridge *n0 (i210c0.n0)*
- La **denominazione delle porte**, invece, **è coerente con quella espressa in IMUNES**: la porta *e0* dello switch imunes corrisponde alla *i210c0.n0.e0*

Port-based VLAN tagging - 1

- Gli switch possono effettuare una **separazione logica dei domini di broadcast** di una rete LAN
  - **Porte** di uno switch **raggruppate** mediante l'assegnazione di un **VLAN TAG**
  - VLAN TAG comprende nella maggior parte delle implementazioni un VLAN IDENTIFIER (VID) numerico



Port-based VLAN tagging - 2



- Alice è sulla VLAN #1, non può parlare con nessuno
- Bob può parlare con Carol e viceversa, entrambi sono sulla VLAN #4

Port-based VLAN tagging su IMUNES - 1

- IMUNES **non supporta il port-based VLAN tagging**

- Le uniche funzionalità di VLAN implementate da IMUNES riguardano le VLAN gestite dagli host
  - Nel caso di «port-based VLAN tagging» ci si riferisce **a VLAN gestite dagli switch**
  - Tagging e untagging dei **pacchetti viene fatto dallo switch**, il cui comportamento è **totalmente trasparente** rispetto agli altri dispositivi di rete ad esso collegati

Port-based VLAN tagging su IMUNES - 2

- Negli esercizi che lo richiederanno, potrete usare gli **strumenti grafici** messi a disposizione da IMUNES per indicare le varie VLAN

- Facoltativamente potrete fornire uno **script BASH** che, richiamando *ovs-vsctl*, imposti i VLAN tag in modo automatico (con i comandi presenti nelle prossime slide)

Port-based VLAN tagging con OVS

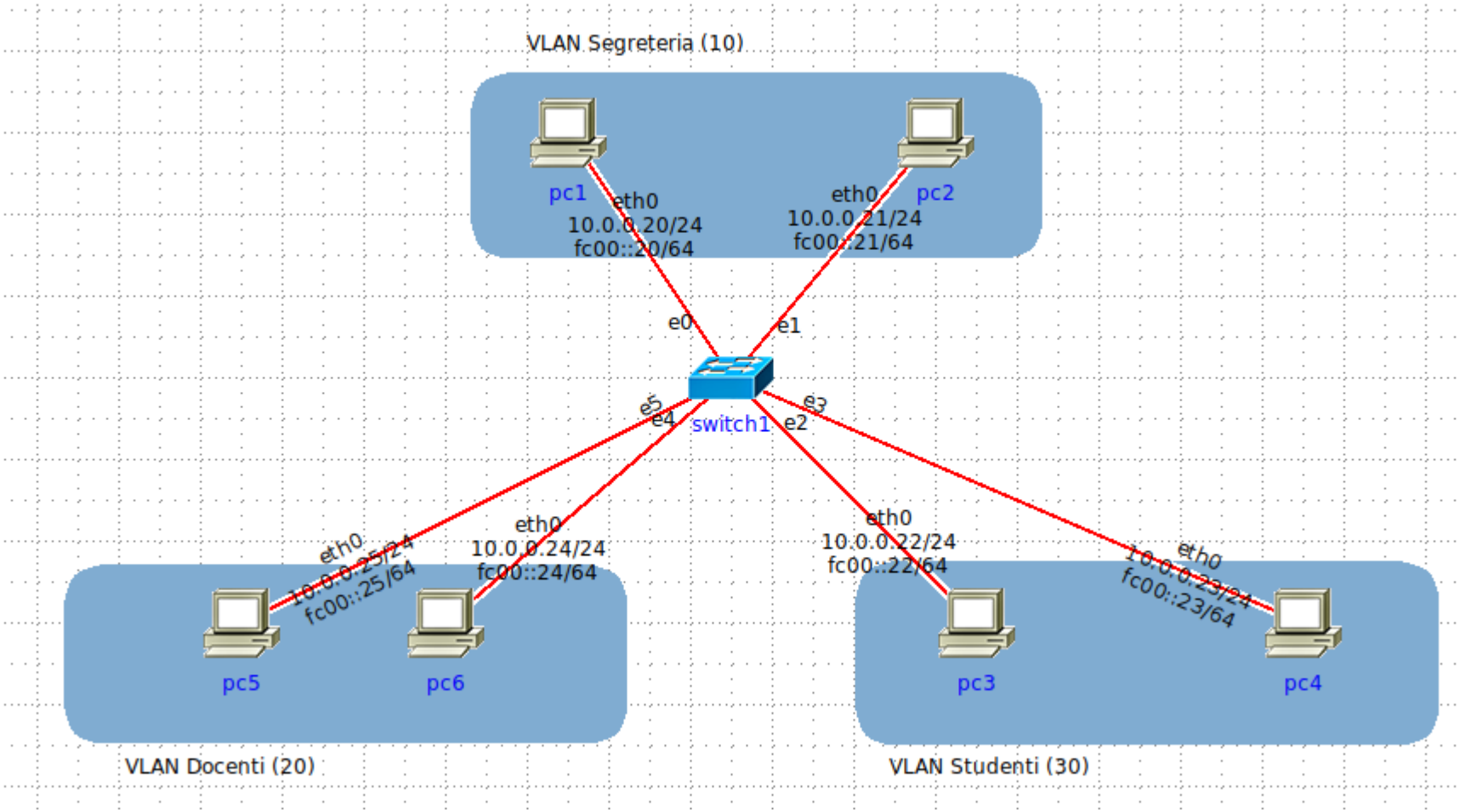
- Per usare questa funzionalità dovremo **agire quindi direttamente sui bridge** di OVS**, assegnando manualmente i VID** (VLAN Identifier) con il comando
  - `sudo ovs-vsctl set port <nomeporta> tag=<vid>`

- Per rimuovere un VID si può usare il comando
  - `sudo ovs-vsctl remove port <nomeporta> tag <vid>`

Esercizio 1 - VLAN

- Disegnare su IMUNES una possibile **topologia di rete di ateneo** per la sede di Crema dell'Università degli Studi di Milano. La topologia deve essere gestita **tramite un unico switch** e deve avere **3 VLAN completamente separate tra loro**
  - VLAN Segreteria (tag: 10)
  - VLAN Docenti (tag: 20)
  - VLAN Studenti (tag: 30)
- A ogni VLAN devono essere collegati **almeno due computer** (per effettuare i test sulla comunicazione).
- In fase di disegno, avvalersi degli strumenti grafici di IMUNES per raffigurare le VLAN
- Impostare i VLAN tag tramite OpenvSwitch

Esercizio 1 – VLAN – Soluzione - 1



Esercizio 1 – VLAN – Soluzione - 2

Comandi OVS

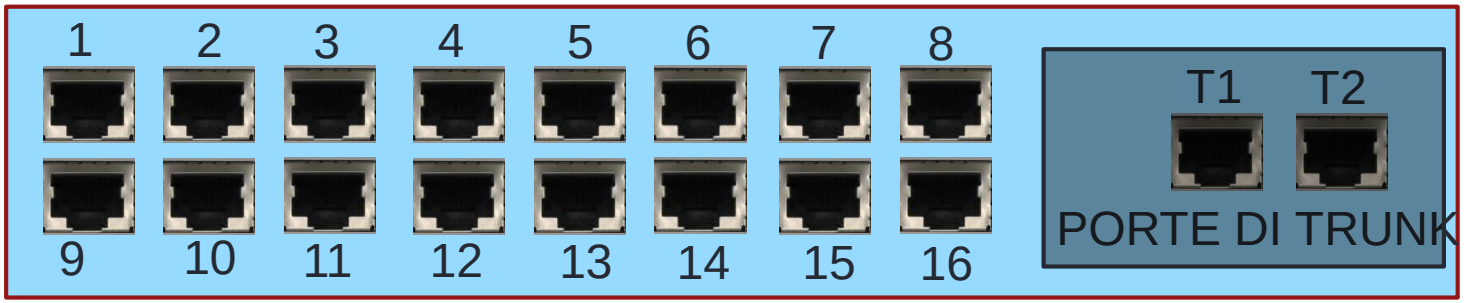
```
$ sudo ovs-vsctl set port i210c1.n0.e0 tag=10
$ sudo ovs-vsctl set port i210c1.n0.e1 tag=10
$ sudo ovs-vsctl set port i210c1.n0.e2 tag=30
$ sudo ovs-vsctl set port i210c1.n0.e3 tag=30
$ sudo ovs-vsctl set port i210c1.n0.e4 tag=20
$ sudo ovs-vsctl set port i210c1.n0.e5 tag=20
```

Configurazione OVS finale

```
Bridge "i210c1.n0"
        Port "i210c1.n0"
            Interface "i210c1.n0"
                type: internal
        Port "i210c1.n0.e4"
            tag: 20
            Interface "i210c1.n0.e4"
        Port "i210c1.n0.e0"
            tag: 10
            Interface "i210c1.n0.e0"
        Port "i210c1.n0.e3"
            tag: 30
            Interface "i210c1.n0.e3"
        Port "i210c1.n0.e2"
            tag: 30
            Interface "i210c1.n0.e2"
        Port "i210c1.n0.e5"
            tag: 20
            Interface "i210c1.n0.e5"
        Port "i210c1.n0.e1"
            tag: 10
            Interface "i210c1.n0.e1"
```

Trasporto delle VLAN: Trunking - 1

- Una porta può essere usata come «Trunk», ed essere adibita quindi al **trasporto di VLAN** per i **collegamenti inter-switch**



Trasporto delle VLAN: Trunking - 2

- Una porta può essere usata come «Trunk», ed essere adibita quindi al trasporto di VLAN per i collegamenti inter-switch
- Questo crea **notevoli problemi**, già affrontati nella parte di teoria, per cui è sorta la necessità di **introdurre dei protocolli** per il trunking
- Il protocollo standard di trunking, supportato anche da OpenvSwitch è **IEEE 802.1q**, che aggiunge **4 bytes all'header Ethernet del pacchetto** senza effettuare incapsulamento
  - 2 bytes per il Tag Protocol Identifier (0x8100)
  - 2 bytes per il Tag Control Information (VLAN Tag), che comprende anche un campo di 12 bit (VID) che è l'identificatore della VLAN
- Possiamo avere quindi **2^{12}=4096** VLAN differenti, nel range [0-4095]
  - VLAN 0 e VLAN 4095 sono riservate per usi interni: possiamo quindi usare VID che vanno da 1 a 4094.

Trunking con OpenvSwitch

- /!\ Attenzione: In OpenvSwitch **tutte le porte sono automaticamente dei Trunk** per tutti i VID.
- La conseguenza immediata è che se
  - Creiamo due switch su IMUNES e li colleghiamo tra di loro
  - Colleghiamo un PC a ciascuno switch
  - Impostiamo lo stesso VID sia sul link PC1←→Switch1 che sul link PC2 ←→Switch2

  i due pc saranno in grado di comunicare, qualunque sia il valore del VID.
- È possibile però limitare il trunking solo ad alcuni VID, tramite il comando
  - sudo ovs-vsctl set port <porta> trunk=<vid>
  - sudo ovs-vsctl set port <porta> trunks=<vid1>,<vid2>,…,<vidn>
- Per rimuovere dei VID da un trunk, analogamente al tagging
  - sudo ovs-vsctl remove port <porta> trunk <vid>

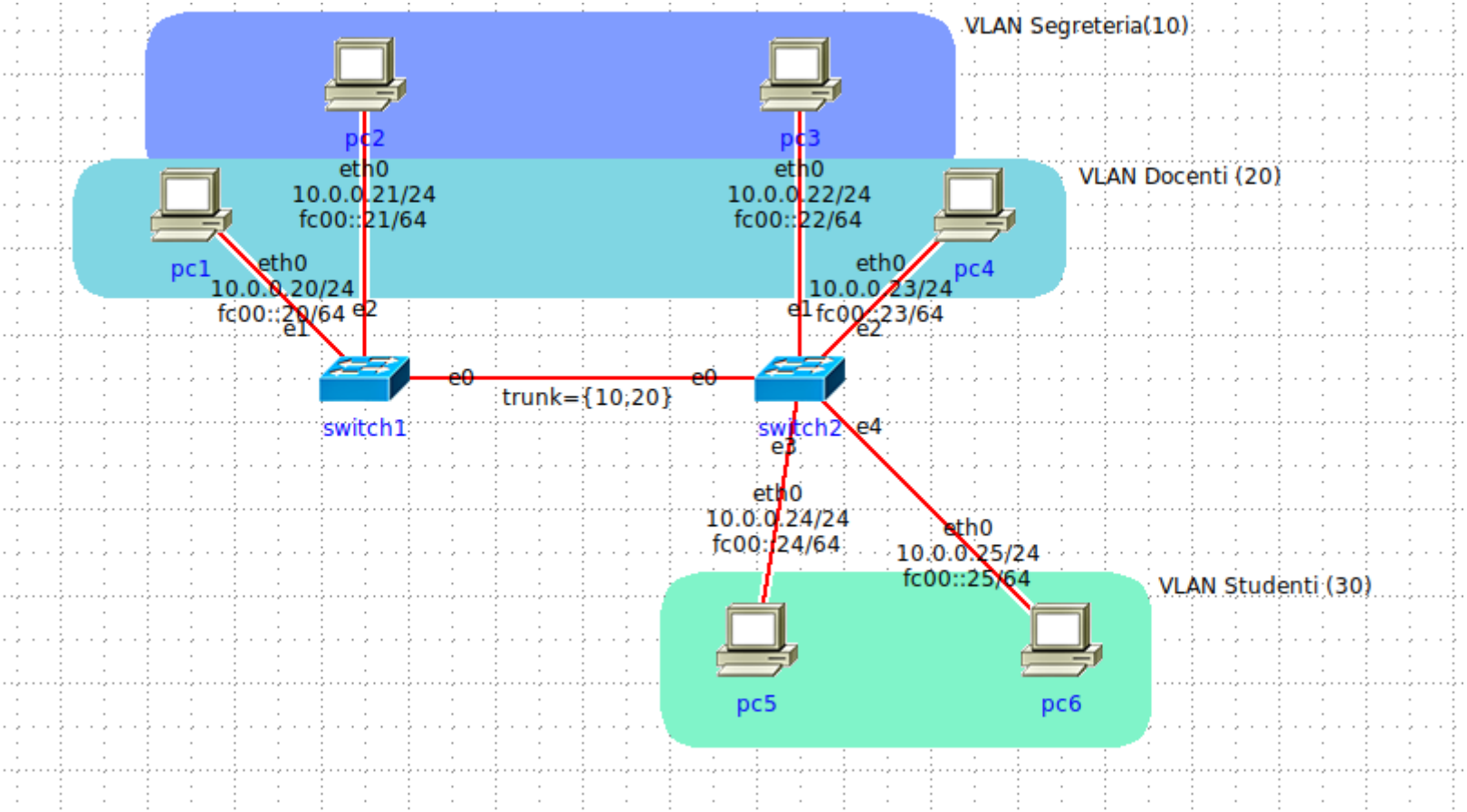
Esercizio 2 - Trunking

- Per risolvere alcuni problemi di carico sulla rete dell'Università, è stato acquistato un nuovo switch del quale faranno uso solamente la segreteria e i docenti, ma non gli studenti
- Disegnare una topologia di rete su IMUNES che abbia
  - Due switch interconnessi con un link
  - Su questi due switch sono definite tre VLAN: Segreteria (10), Docenti (20), Studenti (30)
  - Deve essere abilitato il trunking tra i due switch esclusivamente per le VLAN Segreteria e Docenti, ma NON per la VLAN Studenti
  - Sullo switch n. 1 devono essere collegati 2 PC
    - 1 PC assegnato alla VLAN Segreteria (pc1)
    - 1 PC assegnato alla VLAN Docenti (pc2)
  - Sullo switch n. 2 devono essere collegati 4 PC:
    - 1 PC assegnato alla VLAN Segreteria (pc3)
    - 1 PC assegnato alla VLAN Docenti (pc4)
    - 2 PC assegnati alla VLAN Studenti (pc5, pc6)

Esercizio 2 – Trunking – Risultato atteso

- PC1 e PC4 possono comunicare esclusivamente tra di loro
- PC2 e PC5 possono comunicare esclusivamente tra di loro
- PC6 e PC7 possono comunicare esclusivamente tra di loro

Esercizio 2 – Soluzione - 1



Esercizio 2 – Soluzione - 2

Comandi OVS

```
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n1.e0 trunks=10,20
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n0.e0 trunks=10,20
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n0.e1 tag=20
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n0.e2 tag=10
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n1.e1 tag=10
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n1.e2 tag=20
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n1.e3 tag=30
sudo ovs-vsctl set port i210c3.n1.e4 tag=30
```

Esercizio 2 – Soluzione - 3

Configurazione OVS finale

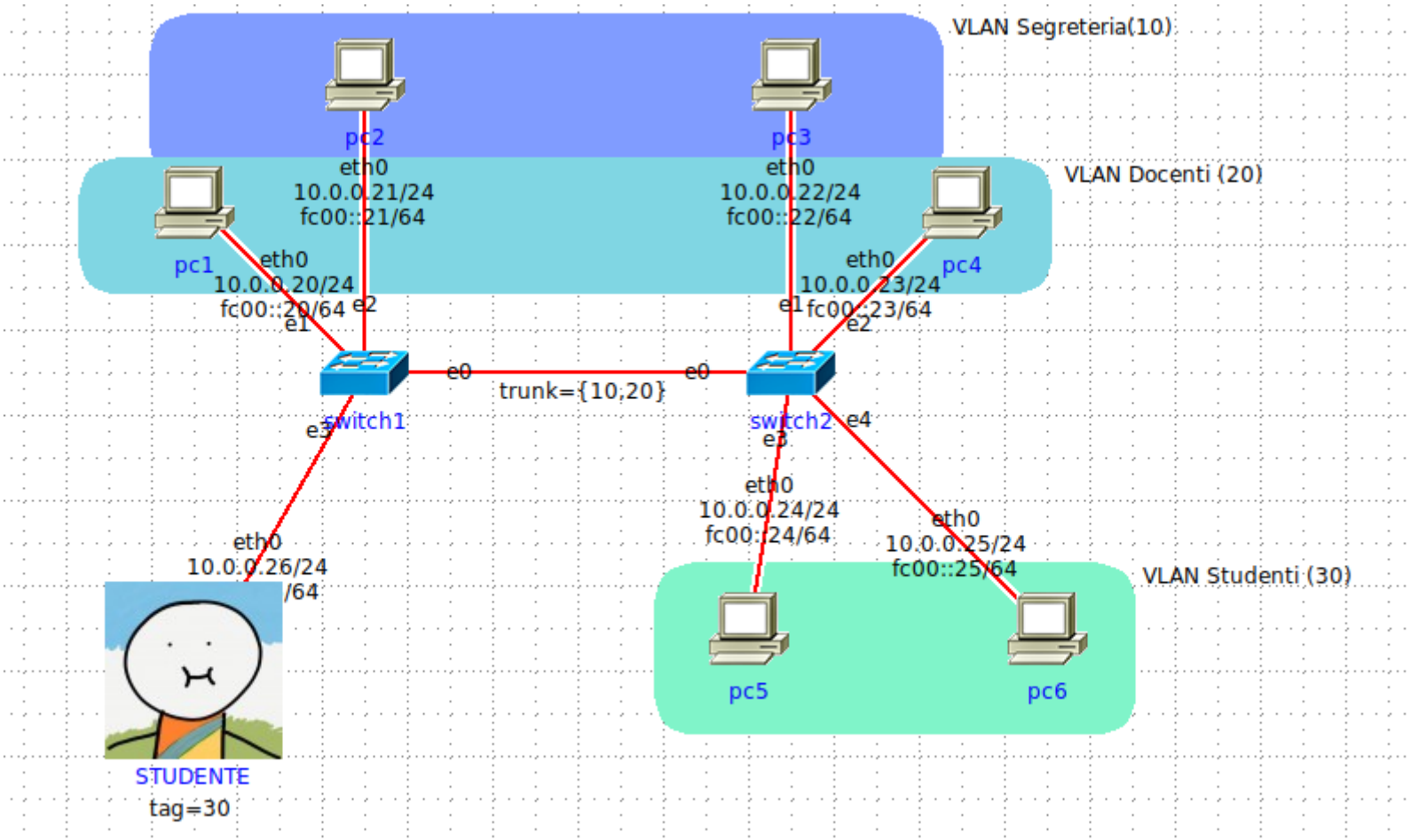
```
Bridge "i210c3.n0“
        Port "i210c3.n0"
            Interface "i210c3.n0"
                type: internal
        Port "i210c3.n0.e0"
            trunks: [10, 20]
            Interface "i210c3.n0.e0"
        Port "i210c3.n0.e1"
            tag: 20
            Interface "i210c3.n0.e1"
        Port "i210c3.n0.e2"
            tag: 10
            Interface "i210c3.n0.e2"
```

```
Bridge "i210c3.n1“
        Port "i210c3.n1"
            Interface "i210c3.n1"
                type: internal
        Port "i210c3.n1.e0"
            trunks: [10, 20]
            Interface "i210c3.n1.e0"
        Port "i210c3.n1.e3"
            tag: 30
            Interface "i210c3.n1.e3"
        Port "i210c3.n1.e1"
            tag: 10
            Interface "i210c3.n1.e1"
        Port "i210c3.n1.e2"
            tag: 20
            Interface "i210c3.n1.e2"
        Port "i210c3.n1.e4"
            tag: 30
            Interface "i210c3.n1.e4"
```

Esercizio 3 – Trunking – Parte 2

- Immaginiamo uno scenario in cui l'assegnazione dei VLAN tag venga effettuata in modo dinamico, al momento dell'**autenticazione dell'utente**
- Gli **studenti**, **inserendo le proprie credenziali**, verranno **assegnati alla VLAN Studenti**; i docenti alla VLAN Docenti; i dipendenti della segreteria alla VLAN Segreteria. La loro porta verrà taggata dopo l'autenticazione
- Uno **studente si collega allo switch1** autenticandosi con le sue credenziali

Esercizio 3 – Trunking – Parte 2, Scenario



Esercizio 3 – Trunking – Parte 2, Domanda

- Riuscirà a comunicare con pc6 e pc7 sullo switch 2?

Esercizio 3 – Trunking – Parte 2, Risposta

- Riuscirà a comunicare con pc6 e pc7 sullo switch 2?

- **NO**! Infatti la VLAN Studenti **non viene trasportata** nel trunk tra i due switch

Reti ridondate: Spanning Tree Protocol

- In scenari avanzati potremmo incontrare situazioni nelle quali è necessario costruire una **topologia di rete ridondata**
- Una prerogativa importante delle reti ethernet è quella di **avere topologie prive di loop**
  - In caso contrario i pacchetti **si moltiplicherebbero all'infinito**, causando **flooding** sulla rete e conseguente **disservizio**
  - Nelle lezioni di teoria si è già visto come la soluzione a questo problema può essere quella di realizzare **una topologia logica priva di loop** organizzata secondo un albero, realizzato tramite il protocollo di **Spanning Tree**
- Andremo quindi a vedere come questo algoritmo può risolvere il problema delle reti ridondate, utilizzando IMUNES e OpenvSwitch

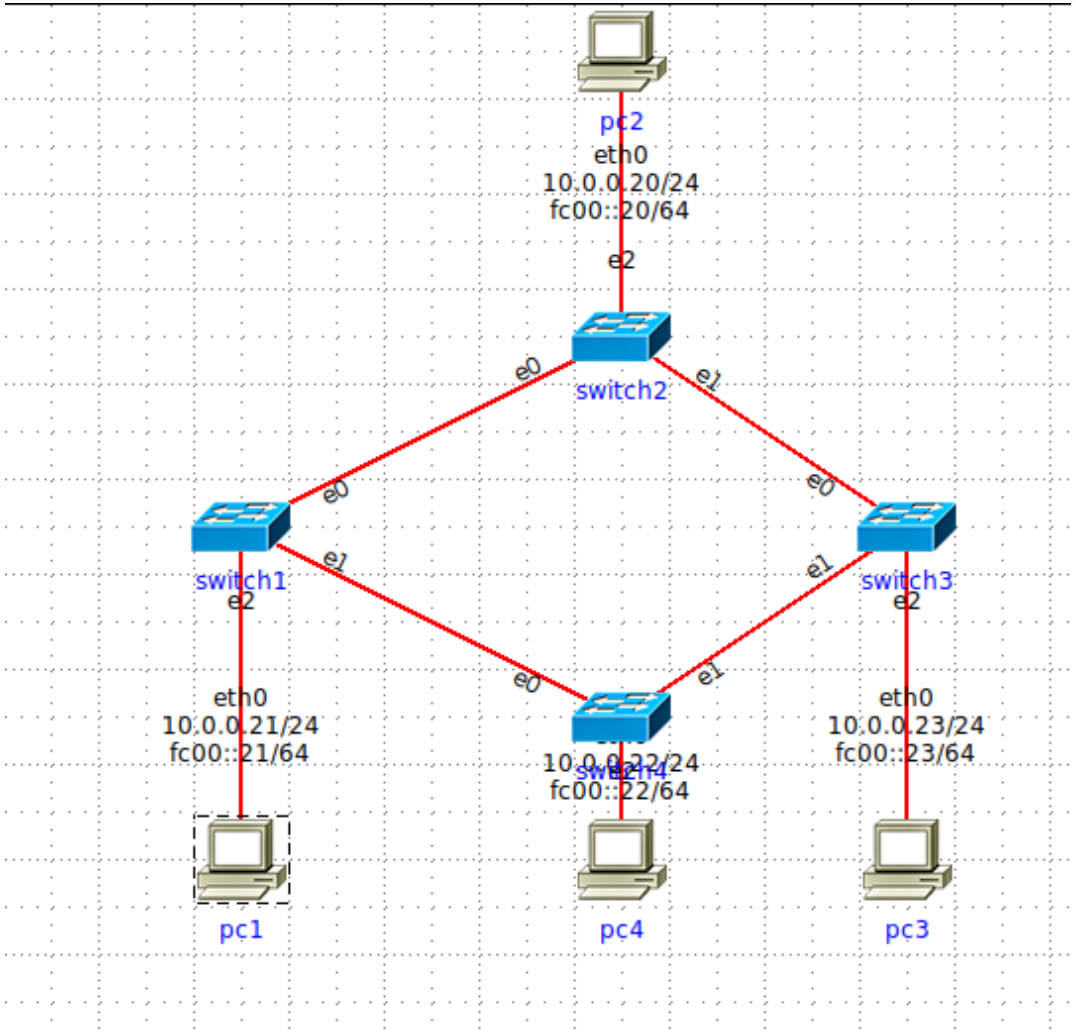
STP in OpenvSwitch

- STP Può essere abilitato su un *Bridge* tramite il comando:
  - `ovs-vsctl set bridge <bridge> stp_enable=true`
- Per disabilitarlo
  - `ovs-vsctl set bridge <Bridge> stp_enable=false`
- Per impostare la priorità di un Bridge
  - `ovs-vsctl set bridge <Bridge> \`
    `other_config:stp-priority=<priority>`
- Per impostare il costo di un Path
  - `ovs-vsctl set port <Port> \`
    `other_config:stp-path-cost=<cost>`

Esercizio su Spanning Tree Protocol

- Realizzare una topologia ridondante formata da
  - Quattro switch, collegati tra di loro come vertici di un quadrato
  - Quattro pc, ognuno collegato a uno switch
- Avviare la topologia e lanciare TCPDump su uno dei pc
- Lanciare un ping tra due degli altri pc e osservare tramite tcpdump il flooding sulla rete, con conseguente malfunzionamento del ping
- Abilitare STP su OpenvSwitch, attenderne la convergenza
- Osservare il corretto funzionamento della rete ridondata

Esercizio su Spanning Tree Protocol - Topologia



La modalità promiscua e le sonde di rete - 1

- Per specifica del protocollo Ethernet, ogni dispositivo partecipante ad una rete **riceve esclusivamente il traffico destinato al suo indirizzo fisico** (MAC address)

- Un'interfaccia può essere però configurata per lavorare in «**modalità promiscua**», ovvero può **ricevere tutto il traffico** in transito su una rete, anche se non corrisponde al suo MAC address

La modalità promiscua e le sonde di rete - 2

- Ciò può avvenire in tre scenari principali:
  - Scenario di **attacco**: un malintenzionato **vuole intercettare i pacchetti destinati agli altri utenti della rete**, effettuando lo «**sniffing**» del traffico (attenzione: l'intercettazione fraudolenta costituisce **reato penale**)
  - Scenario di **monitoraggio**: si può posizionare un dispositivo sulla rete detto «**sonda**» in grado di **analizzare il traffico in transito**, per determinare l'insorgere di minacce o per misurare la capacità della rete (Intrusion Detection System, Intrusion Prevention System, Network usage profiling)
  - Scenario **di virtualizzazione/cloud**: generalmente un hypervisor di virtualizzazione dispone di **poche schede di rete**, rispetto alle macchine virtuali che ospita. Le **schede di rete virtuali** hanno un **MAC address fittizio**, ed **utilizzano tutte la stessa NIC fisica**, posta in modalità promiscua
- Attenzione:
  - Gestire il traffico di rete richiede notevole **potenza computazionale**; l'host in modalità promiscua deve **essere in grado di gestirlo**.

La modalità promiscua e le sonde di rete - 3

- Ma:
  - La modalità promiscua **può essere individuata**: il sistemista o il network administrator può accorgersi se un dispositivo è posto in modalità promiscua **con un certo grado di confidenza**
  - Alcuni **hypervisor** di virtualizzazione possono **impedire il funzionamento della modalità promiscua** in modo da non permettere agli utenti delle macchine virtuali di compiere attività malevole sulla propria rete

Sonda di rete con IMUNES - 1

- Andiamo quindi a posizionare una **sonda di rete** su una topologia realizzata con **IMUNES**
- Per far funzionare la sonda bisogna **convogliare tutto il traffico** di rete di uno switch sulla porta alla quale la sonda è collegata
- Questa operazione prende il nome di «**mirroring**» della porta di rete

Sonda di rete con IMUNES - 2

- Il comando per **OpenVSwitch** per impostare un **mirror** è il seguente:

```
ovs-vsctl -- --id=@p get port <portaDellaSonda> \
          -- --id=@m create mirror name=<nomeAPiacere> select-all=true output-
port=@p \
          -- set bridge <nomeDelBridge> mirrors=@m
```

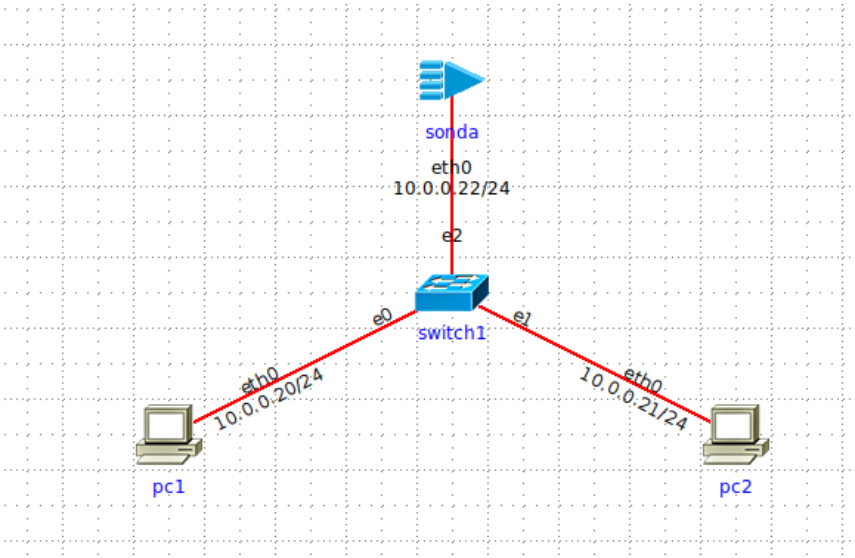
- Cosa stiamo facendo in questo modo?
  - Riga 1: **Stiamo ottenendo l'identificatore della porta scelta** e lo stiamo memorizzando nella variabile temporanea @p
  - Riga 2: Stiamo **creando un mirror** (memorizzandone l'identificatore in @m) che **cattura il traffico da tutte le porte** e **lo riversa nella porta @p** definita in riga1
  - Riga 3: Stiamo **attivando il mirror** @m sul bridge br0
- Risultato:
  - La porta della sonda diventa una porta «mirror» di tutto il traffico.
  - La **sonda è in grado di vedere tutto il traffico di rete**
  - Tutto **il traffico destinato direttamente a quella porta viene scartato** (la sonda è esclusa dalla rete).

Sonda di rete con IMUNES - Esercizio

- Creare una topologia IMUNES composta da:
  - Uno switch
  - 3 PC chiamati:
    - PC1
    - PC2
    - Sonda
- Avviare l'esperimento
- Impostare la porta alla quale è collegata la sonda come porta «mirror» di tutto il traffico di rete passante per lo switch
- Porre l'interfaccia eth0 della Sonda in modalità promiscua (comando nel primo set di slide!) avviando tcpdump
- Effettuare un ping da PC1 a PC2 ed osservare, tramite tcpdump avviato sulla Sonda, il traffico di rete
- Interrompere tcpdump, riavviarlo in background con redirezione dell'output su un file di testo, e monitorare i cambiamenti al file di testo con `tail` in tempo reale

Sonda di rete con IMUNES - Soluzione

Topologia IMUNES



Comando per il mirroring

```
you@lab$ sudo ovs-vsctl -- --id=@p \
          get port i71263.n0.e2 \

          -- --id=@m \
          create mirror name=m0 \
 select-all=true output-port=@p \

          -- set bridge i71263.n0 \
          mirrors=@m


-----------------------------------
root@sonda# tcpdump > outSonda.txt &
root@sonda# tail -f outputSonda.txt
root@pc1#   ping 10.0.0.21
```

Conclusioni

- Abbiamo visto
  - Funzionamento degli switch su IMUNES
  - Port-based VLAN tagging in pratica, con IMUNES e OpenvSwitch
  - Trunking 802.1q, con IMUNES e OpenvSwitch
  - Realizzazione di topologie di rete ridondanti a livello datalink basate sul protocollo STP (Spanning Tree Protocol)
  - Modalità promiscua e sonde di rete