PARTE 6
SOFTWARE DEFINED NETWORKS

Modulo 1
Introduzione

Nuove linee di evoluzione delle reti

- **I data center adottano tecniche di virtualizzazione delel risorse di calcolo**
- **Tale approccio si sta estendendo anche alle alle reti**
- **NFV: Network Function Virtualization**
- **SDN: Software Defined Networking**

NFV

- **Origine:**
  - Soluzione nata nelle reti di grossi ISP
- **Obiettivo:**
  - Rduzione di costi OPEX e CAPEX dei sistemi di rete
- **Metodologia:**
  - Uso di sistemi COTS per le funzioni di reti più sofisticate al posto di hardware dedicato
- **Area di interesse:**
  - Switch e router

SDN

- **Origine:**
  - Soluzione nata in reti limitate e maturata nell'ambito di data center
- **Obiettivo:**
  - Supporto per SDDC (Software Defined Data Center)
  - Migliorare orchestrazione in sistemi Cloud
- **Metodologia:**
  - Separazione funzioni di rete di basso livello da funzioni più sofisticate
  - Routing protocol vs. Packet forwarding

SDN

- **Area di interesse:**
  - Switch e router
- **Standard:**
  - ForCES
  - OpenFlow

→ Focus di questa lezione

Modulo 2
Motivazioni

Necessità di condividere risorse

- **Difficoltà nella gestione della rete a fronte di carichi di lavoro variabili**
  - Riconfigurazione: processo complesso
  - Scambio di messaggi tra dispositivi autonomi (es. router)
- **Infrastrutture di rete dimensionate su esigenze di picco**
  - Costi elevati
  - Risorse sotto-utilizzate (Google B4)

- **<u>Serve un meccanismo flessibile per implementare policy complesse</u>**

Performance isolation

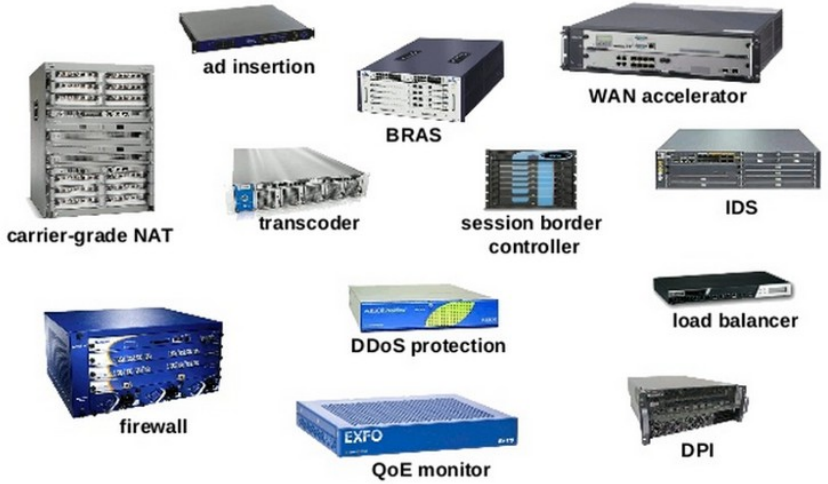
- **Flussi di traffico non dovrebbero interferire tra di loro**
- **Scenario critico: data center multi-tenant**
- **Soluzioni oggi disponibili**
  - VLAN + Switch managed
  - Traffic shaping
- **Difficile interoperabilità tra sistemi diversi**
  - Problema con policy complesse
  - Scenario critico: data center con migrazione di VM e riconfigurazione della rete
- **Serve un meccanismo flessibile per implementare policy complesse**

Supporto per la ridondanza

- **Ridondanza necessaria per fault tolerance**
- **Algoritmi per spanning tree**
- **Scarso supporto per altri algoritmi (e.g. load balancing)**
- **Scarsa interoperabilità con sistemi volti a gestire altre esigenze**
  - Resource sharing
  - Performance isolation
- **Serve un meccanismo flessibile per implementare policy complesse**

Supporto per funzioni aggiuntive

- **Funzioni aggiuntive**
  - Firewall
  - NIDS
  - NAT
  - Traffic shaping



- **Implementate con middleboxes**
- **Necessità di integrare tali funzioni con funzioni base di rete**
  - Routing
  - VLAN/Spaning tree
- **Funzioni non integrate**
- **<u>Serve un meccanismo flessibile per implementare policy complesse</u>**

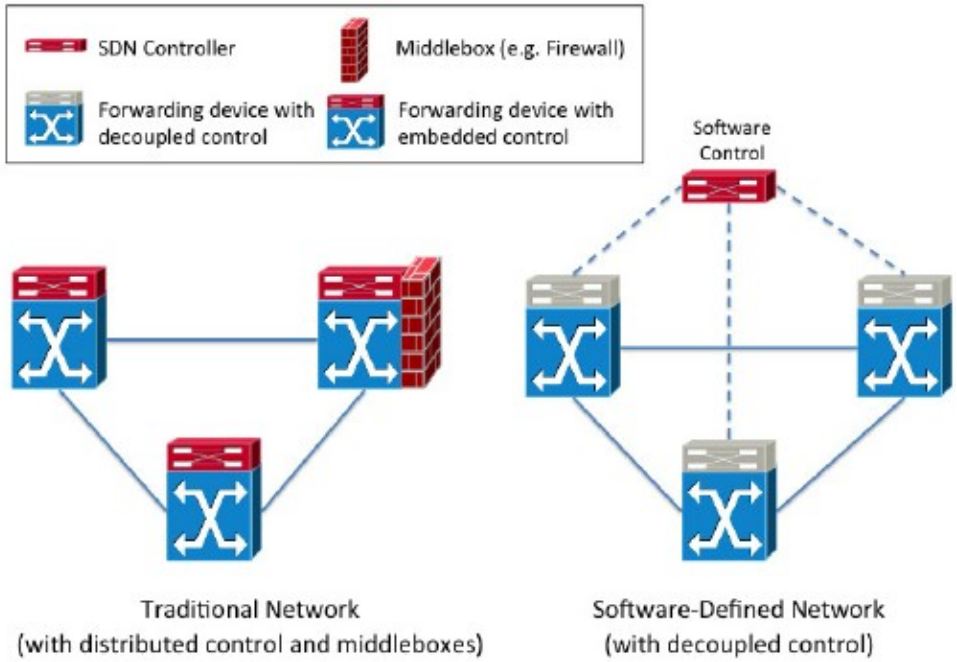
Il problema del management

- **Necessità:**
  - Adattarsi a scenari fortemente dinamici
  - Agire in modo rapido e automatico
- **Problema: Mancanza di integrazione**
  - Ogni dispositivo ha API/protocolli specifici di solito non interoperabili
- **Problema: Mancanza di stabilità**
  - Algoritmi distribuiti possono convergere a soluzioni di routing differenti a seguito di crash [Google B4]
- **Serve un meccanismo flessibile per implementare policy complesse**

Introducing…

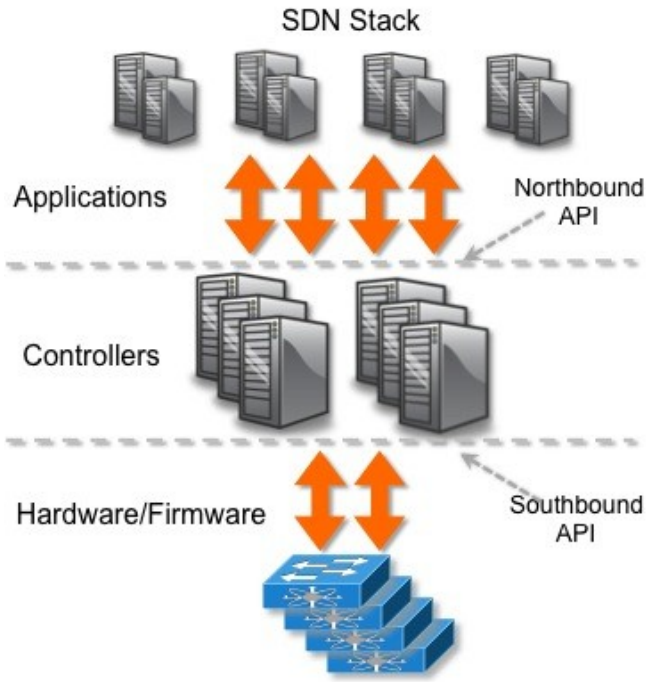
SDN: Funzioni

- **Funzioni di basso livello**
  - Data plane
  - Veloce
  - Distribuito
- **Funzioni di alto livello**
  - Control plane
  - Centralizzato
  - Flessibile
  - Supporta policy complesse



SDN: Definizione di interfacce

- **Tra control plane e applicazioni**
  - Northbound interface
  - REST API
  - OSPF/BGP/...
- **Tra data plane e control plane**
  - Southbound interface
  - OpenFlow (standard de facto)
  - ForCES



Modulo 3
Data Plane

- **Il data plane in un router tradizionale**
  - Inoltro basato su tabelle di routing
  - Match su NetID e selezione next hop

Command Output

Route Display...

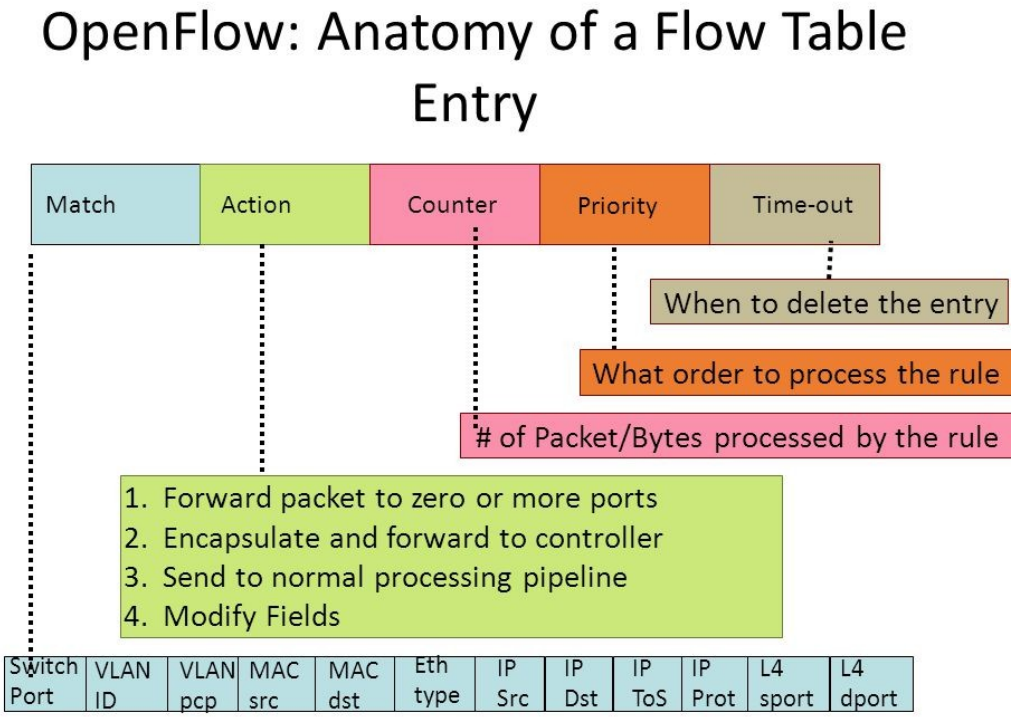
IPv4 Routing Table

Destination	Gateway	Genmask	Metric	Ref	Use	Interface	Type	Flags
127.0.0.1	127.0.0.1	255.255.255.255	1	0	0	lo	Static	UP,Gateway,Host
192.168.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	0	0	0	bdg34	Dynamic	UP
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	0	0	0	bdg1	Dynamic	UP
192.168.1.0	192.168.1.1	255.255.255.0	1	0	0	bdg1	Dynamic	UP,Gateway
172.16.15.0	0.0.0.0	255.255.255.0	0	0	0	eth1	Dynamic	UP
10.10.0.0	0.0.0.0	255.255.0.0	0	0	0	eth1	Static	UP
10.10.0.0	10.10.0.200	255.255.0.0	1	0	0	eth1	Static	UP,Gateway
127.0.0.0	0.0.0.0	255.0.0.0	0	0	0	lo	Dynamic	UP
0.0.0.0	10.10.1.1	0.0.0.0	0	0	0	eth1	Dynamic	UP,Gateway

Refresh

Applicazione al caso SDN

- **Estendo e generalizzo la tabella di routing**
- **Il caso OpenFlow**
- **In OpenFlow ogni riga della tabella ha**
  - Predicato di match
  - Azione
  - Contatori
  - Priorità
  - Time-out



Predicato di match

- **Opera su numerosi campi (12-→ 41 campi a seconda delle versioni)**
  - Porta di ingresso del device
  - VLAN ID + priority (PCP)
  - MAC src + dst
  - Type Eth
  - IP src + dst
  - IP proto
  - IP ToS
  - TCP/UDP src + dst
  - …

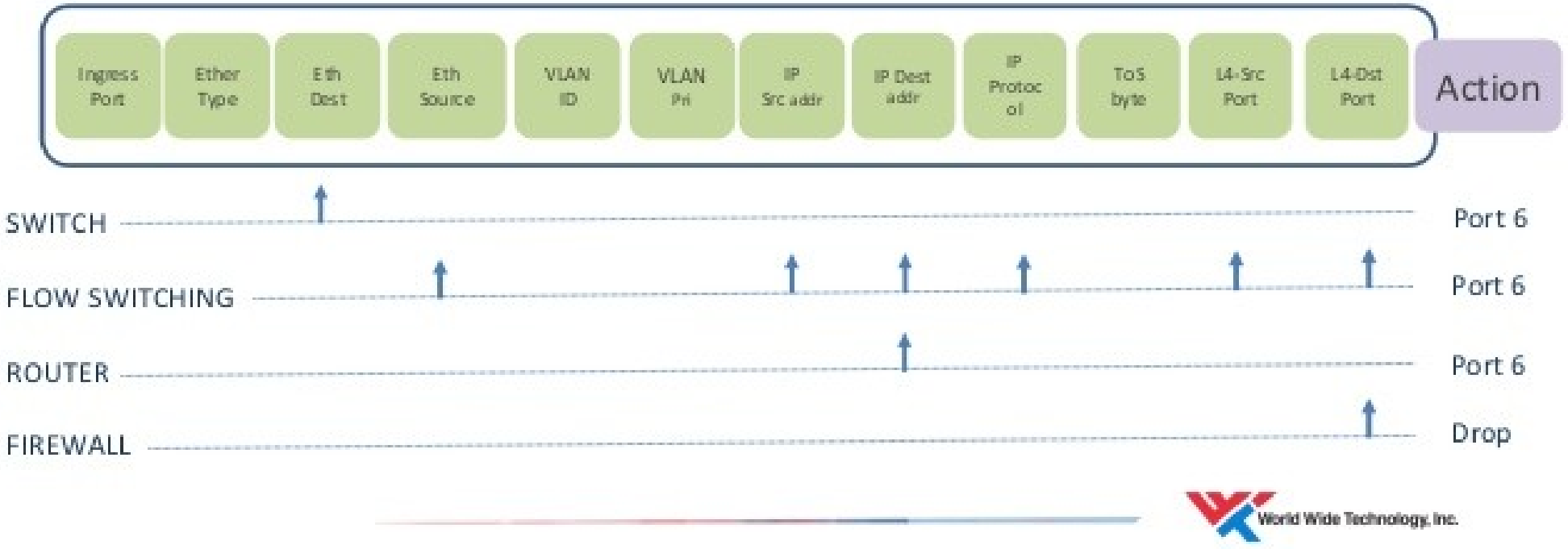
Predicato di match

- **Supporto per deep packet inspection**
  - Considera campi di livelli differenti dello stack
- **Grande flessibilità**
  - Match esatti ma anche di tipo range/prefix
  - Il numero di campi supportati cresce ad ogni versione dello standard
- **Possibili problemi di prestazioni**
  - Dimensione delle tabelle
  - Problemi in alcune operazioni di match
- **Emulazione software danneggia le prestazioni**

A cosa serve il matching

Flexibility in Matching

- The ability to match on Layer-1 through Layer-4 allows the switch to behave like a variety of network devices



Azioni

- **Azioni supportate**
  - Inoltro
  - Drop
  - Modifica di pacchetto
  - Invio al controller
  - Metering & shaping
  - Altro...
- **Inoltro**
  - Come azione di default di router
- **Drop**
  - Azione di default di un firewall

Azioni

- **Modifica di pacchetto**
  - Gestione VLAN
  - Implementazione di NAT
  - Redirezione verso altri nodi
  - load balancing in cluster
  - transparent proxy
- **Invio al controller**
  - Usato per sollevare situazioni non previste dalle tabelle locali
  - Consente al controller di modificare le tabelle OpenFlow

Azioni

- **Metering & shaping**
  - Aggiornamento contatori
  - Pacchetti riordinati per non eccedere traffic rate o per garantire QoS
- **Altre azioni**
  - Gestione gerarchica delle tabelle
  - Azione: inoltro a tabella secondaria
  - Azioni meno probabili sono inserite in tabelle secondarie
  - Fatto per motivi prestazionali
  - Alcune tabelle secondarie sono implementate in SW

Statistiche

- **Per ogni regola sono considerati**
  - Numero di attivazioni
  - → Numero di pacchetti con match
  - Volume di dati associati alla regola
- **Le azioni possono essere usate per azzerare i contatori periodicamente**
  - Calcolo di frequenza di attivazioni

Southbound interface

- **Messaggi controller → switch**
- **Messaggi asincroni (switch → controller)**
- **Messaggi simmetrici**
- **Messaggi legati a operazioni di:**
  - Richiesta descrizione switch
  - Lettura/scrittura stato switch
  - Lettura/scrittura configurazione switch
  - Invio di pacchetti
  - Controllo connettività (ping)

Messaggi Controller → Switch

Message	Description
Features	Request the capabilities of a switch. Switch responds with a features reply that specifies its capabilities.
Configuration	Set and query configuration parameters. Switch responds with parameter settings.
Modify-State	Add, delete, and modify flow/group entries and set switch port properties.
Read-State	Collect information from switch, such as current configuration, statistics, and capabilities.
Packet-out	Direct packet to a specified port on the switch.
Barrier	Barrier request/reply messages are used by the controller to ensure message dependencies have been met or to receive notifications for completed operations.
Role-Request	Set or query role of the OpenFlow channel. Useful when switch connects to multiple controllers.
Asynchronous-Configuration	Set filter on asynchronous messages or query that filter. Useful when switch connects to multiple controllers.

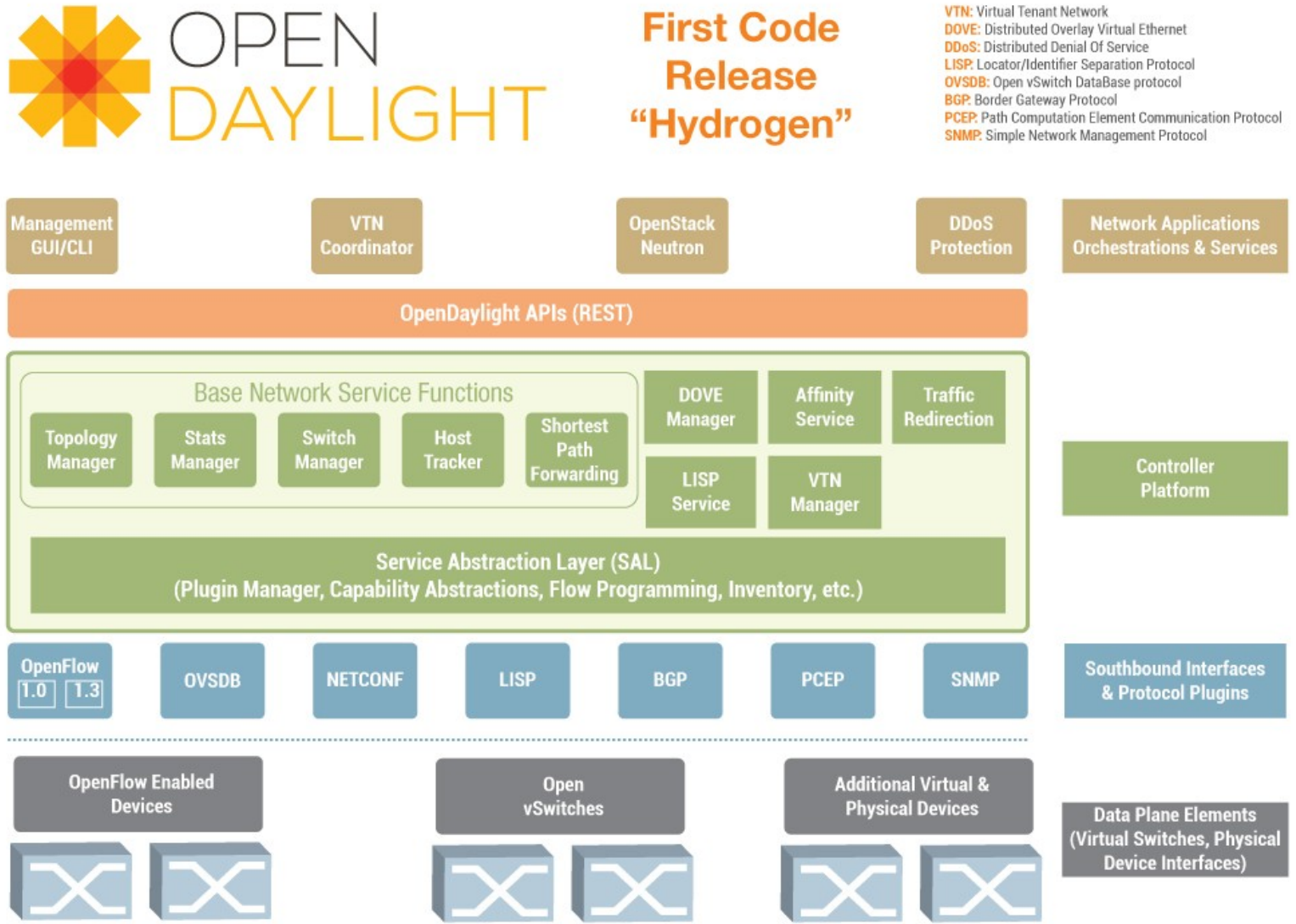
Messaggi Asincroni e Simmetrici

Message	Description
Packet-in	Transfer packet to controller.
Flow-Removed	Inform the controller about the removal of a flow entry from a flow table.
Port-Status	Inform the controller of a change on a port.
Error	Notify controller of error or problem condition.

Message	Description
Hello	Exchanged between the switch and controller upon connection startup.
Echo	Echo request/reply messages can be sent from either the switch or the controller, and they must return an echo reply.
Experimenter	For additional functions.

Modulo 4
Control Plane

Visione della rete



Controller

- **Sono disponibili diversi controller SDN**
  - Onos
  - Daylight
  - …
- **Caratteristiche architetturali comuni**
  - Livello comunicazione (southbound)
  - Interfaccia applicazioni (nothbound)
  - Gestione rete

Livello comunicazione

- **Gestione dell'interfaccia southbound**
- **Supporto protocolli per data plane**
  - Openflow
  - SNMP
  - …

Interfaccia con applicazioni

- **Gestione dell'interfaccia Northbound**
- **Tipicamente si usano API REST (Representational State Transfer)**
  - Basata su HTTP
  - Espone strutture dati che mostrano lo stato della rete e statistiche
  - Codifica dello spazio degli URL
  - Consente di manipolare tali strutture per inviare comandi all'infrastruttura

Interfaccia con applicazioni

- **Consente di integrare la gestione della rete nelle altre logiche di gestione di un data center**
  - Supporto per gestire la migrazione VM
  - Integrazione con OpenStack, vSphere
- **Possibile supporto per interazione con altri controller**
  - Federazione di enti diversi
  - Supporto per reti non-SDN
  - Gestione protocolli come OSPG, BGP, ...

Gestione dello stato globale della rete

- **Repository dello stato della rete SDN**
  - Informazioni di stato su Switch, Host, …
  - Informazioni su flussi gestiti
- **Visione globale della rete, non limitata ai singoli dispositivi**
  - Supporto per approccio centralizzato
  - es, uso algoritmo di Dijkstra per routing
  - Tali decisioni possono essere esternalizzate mediante interfaccia northbound

Modulo 5
Conclusioni e Sfide Aperte

Sfide aperte

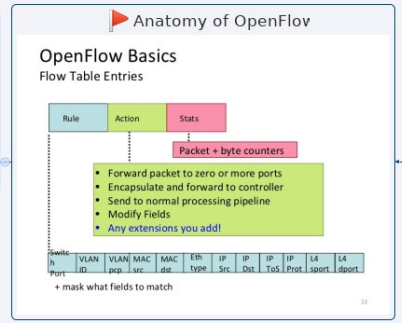
- **Problemi prestazionali nelle interazioni con il controller**
  - Ogni pacchetto inoltrato al controller è soggetto ad alta latenza
  - Problema in presenza di numerosi flussi di piccole dimensioni
- **Problemi prestazionali nel data plane**
  - Emulazione software in caso di predicati di matching particolari
  - Emulazione software in caso di overflow nelle tabelle
  - Prestazioni: Switch 10 Gb/s → 20 Mb/s

Sfide aperte

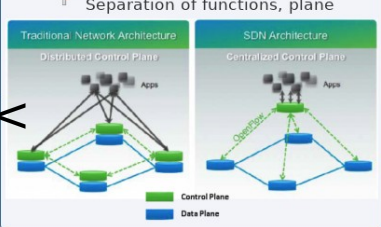
- **Complessità del controller**
  - Grande capacità di implementare policy molto complesse
  - Difficoltà nel garantire prestazioni elevate
  - Controller potenziale Single Point of Failure
- **Controller ridondato/parallelizzato**
  - Fault tolerance
  - Scalabilità

SDN

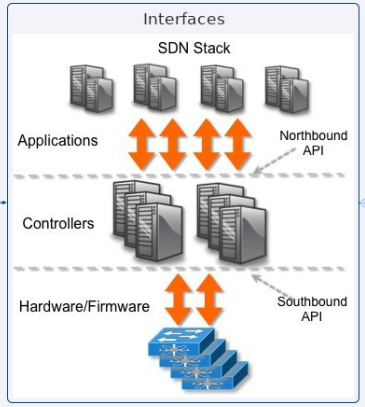
- Motivations
  - Sharing resources
  - Performance isolation
    - VLAN
    - Bridges
  - Redundancy
    - Easy to implement spanning tree
    - Supports more complex reconfiguration policies
  - Dynamic management
    - Can adapt to changes in demands
    - Automatically
    - Quickly
  - Simplified managment
    - No need for distributed algorithms
    - Can easily implement complex policies
    - No need for middleboxes
      - Firewalls
      - NIDS
      - NAT boxes
    - One protocol for multiple uses
      - OSPF
      - SNMP
      - IEEE 802.1Q (VLAN)
- Some challenges
  - Memory issues in handling table sizes
    - Can place together VM that needs similar actions
  - Latency issues when forwarding packets to controller
    - Our solution should use proactive approach for table management
- Anatomy of OpenFlow



  - Elements of a Table
    - Rule (matching)
      - IPv4, IPv6 addresses
      - MAC addresses
      - Transport data
      - VLAN
      - ...
    - Action (packet handling)
      - Forward to port
      - Forward to controller
      - Modify header fields
      - Drop
    - Statistics (data collection)
      - Packets
      - Bytes
      - Duration
      - ...
  - OpenFlow switches manages Tables
  - Controller: sends openflow messages to OpenFlow Client on Network devices (Switches)
- Key concept: Separation of functions, plane



  - Data plane
    Manages actual data (Packet forwarding)
    - Complex packet matching capabilities (like a firewall)
    - Typically implemented in HW
    - There are sowtware emulation systems (not for production)
  - Control Plane
    Defines rules for data plane actions
    - Typically centralized
    - Can be distributed
  - Interaction between planes
    - Reactive:
      A packet for every new flow is sent to control plane, Control plane reply with actions
    - Proactive:
      Actions are sent in a proactive way from control do data plane
    - Hybrid:
      Distringuish between Ant and Elephant flows
- Interfaces



  - Nothbound
    - Offers services for SDN operations to clients
    - Many available solutions
    - Balkanization risk
  - Southbound
    - Offers mechanism for Control plane / Data plane interaction
    - Standard de facto: Open Flow
    - Standard de iure (not popular): ForCES