

5GConnect @ Bi-Rex

Evento finale

25/03/2022

Franco Callegati, Daniele Rossi, Giacomo Tontini
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Francesco Casellato, Eugenio Balistri, Salvatore
Collura, Carlo Giannelli, Lorenzo Servadei,
Cesare Stefanelli

Università di Ferrara



5GCONNECT



Università
degli Studi
di Ferrara



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

5GCONNECT



Università
degli Studi
di Ferrara

Use-case 5G in ambito industriale: multi-connectivity e offloading

Francesco Casellato, Eugenio Balistri,
Salvatore Collura, Carlo Giannelli,
Lorenzo Servadei, Cesare Stefanelli,
Università di Ferrara



Attività Università di Ferrara

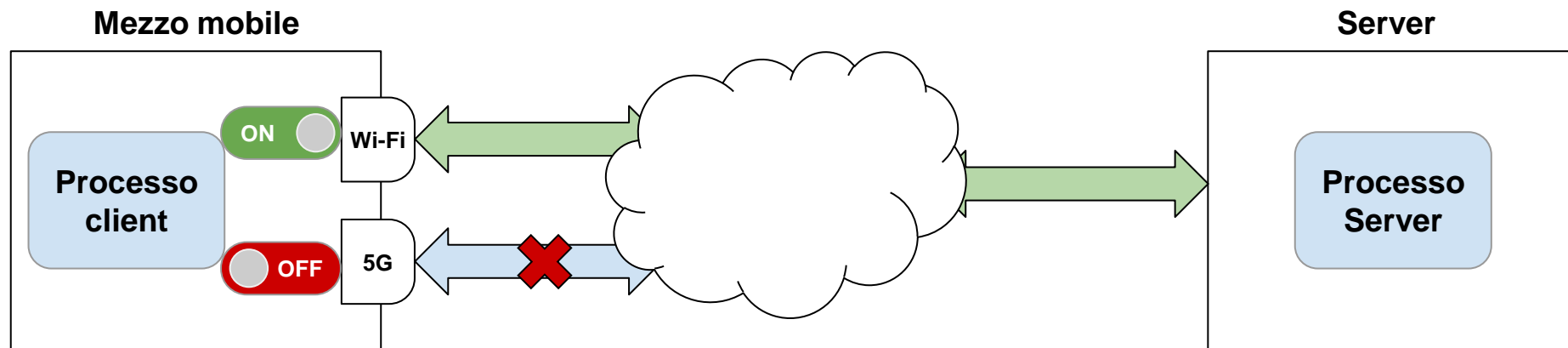
- Analisi e gestione di due use-case rilevanti in ambito IT/OT
 - Multi-connectivity per Sistemi a Guida Autonoma:
 - rerouting
 - duplicazione
 - Traffic offloading per ridirezione del traffico IT
- Studio e comparazione strumenti eterogenei per routing e dispatching
 - **iproute**: gestione tabelle di routing
 - **OVS**: Open vSwitch, switch virtualizzato
 - **Faucet**: Controller Software Defined Networking (SDN)
 - **RabbitMQ**: broker publish/subscribe

Use case 1

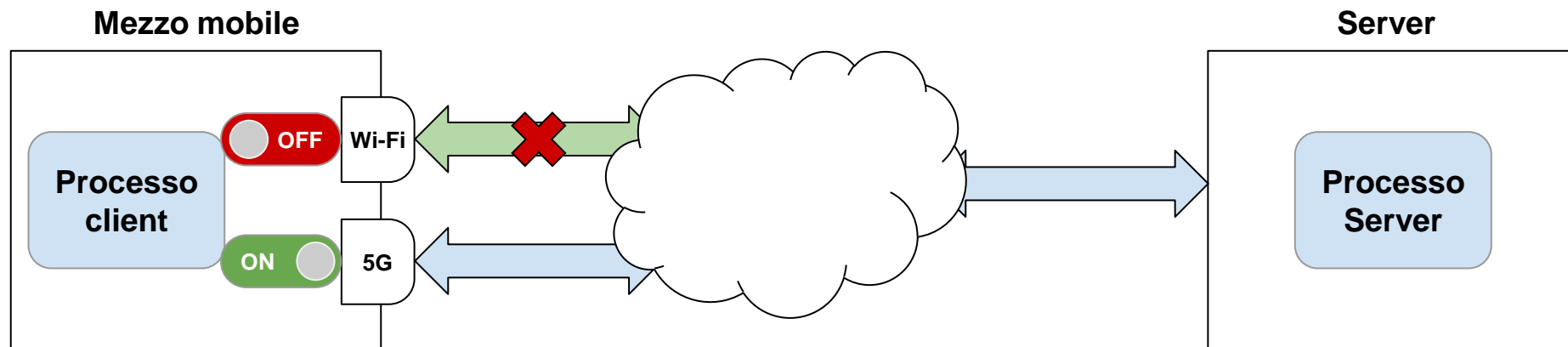
Multi-connectivity per Sistemi a Guida Autonoma:
rerouting vs. duplicazione

Strategia 1 - Rerouting del traffico

Veicolo sotto copertura WiFi



Copertura WiFi scarsa o assente

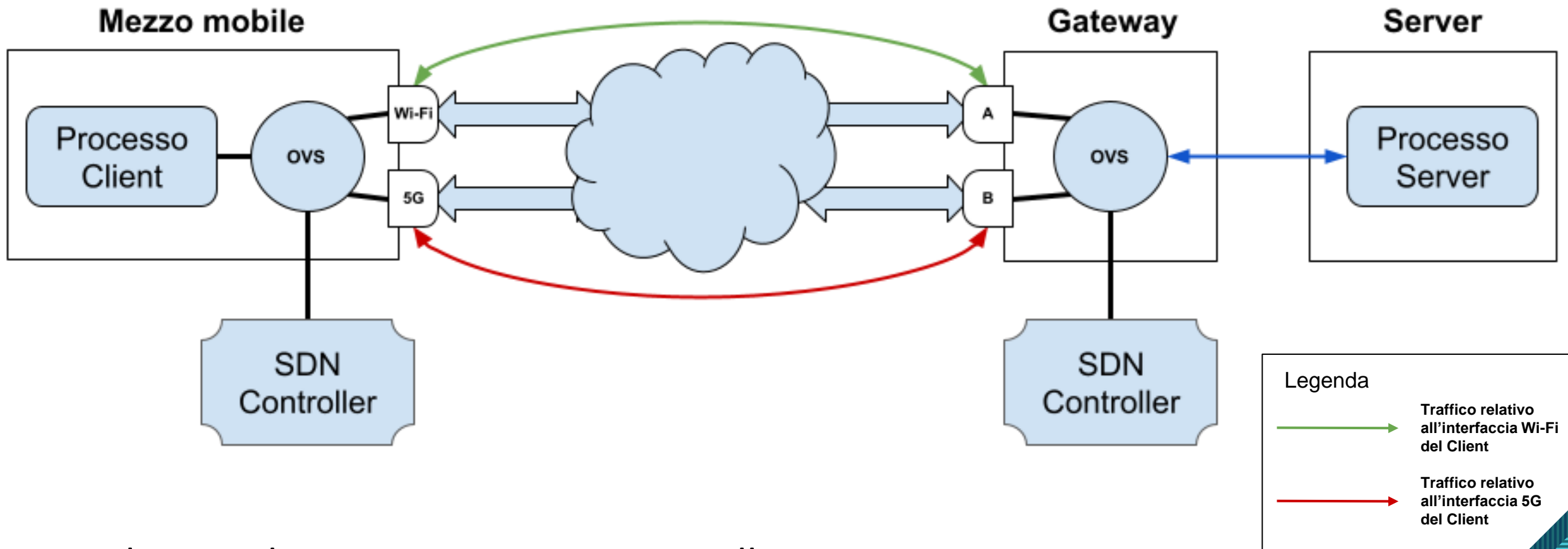


Open vSwitch (OVS) e SDN Controller Faucet

- Switch virtuale, si sta diffondendo come standard de facto
 - “Multi-Layer Virtual Switch”, livello 2, 3 e 4 dello stack OSI
 - Possibilità di identificazione dei flussi anche a livello IP
 - Grande flessibilità
 - Possibile utilizzo di controller SDN (gestione a più alto livello)
 - Possibile gestire e modificare flussi (grazie a OpenFlow)
-
- SDN Controller Open Source per la gestione delle reti
 - Basato su OpenFlow 1.3
 - Access Control List, mirroring delle porte e Policy-Based forwarding
 - Statistiche real-time su porte e flussi di rete
 - Configurazione tramite file yaml



Rerouting del traffico - Soluzione e tecnologie



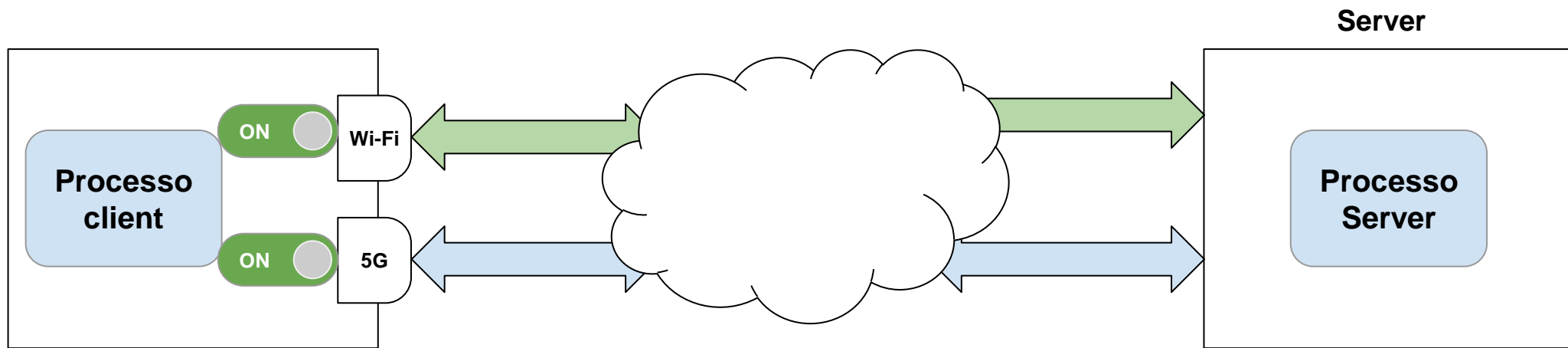
Tecnologia utilizzata: Faucet SDN Controller e OVS

Rerouting del traffico - Prestazioni

- Test effettuato con “**iPerf3**” in modalità **UDP** con throughput variabile
- Durante switch interfaccia: 1) % pacchetti persi, 2) variazione throughput
 - durata test 20 secondi, con switch interfaccia a metà test

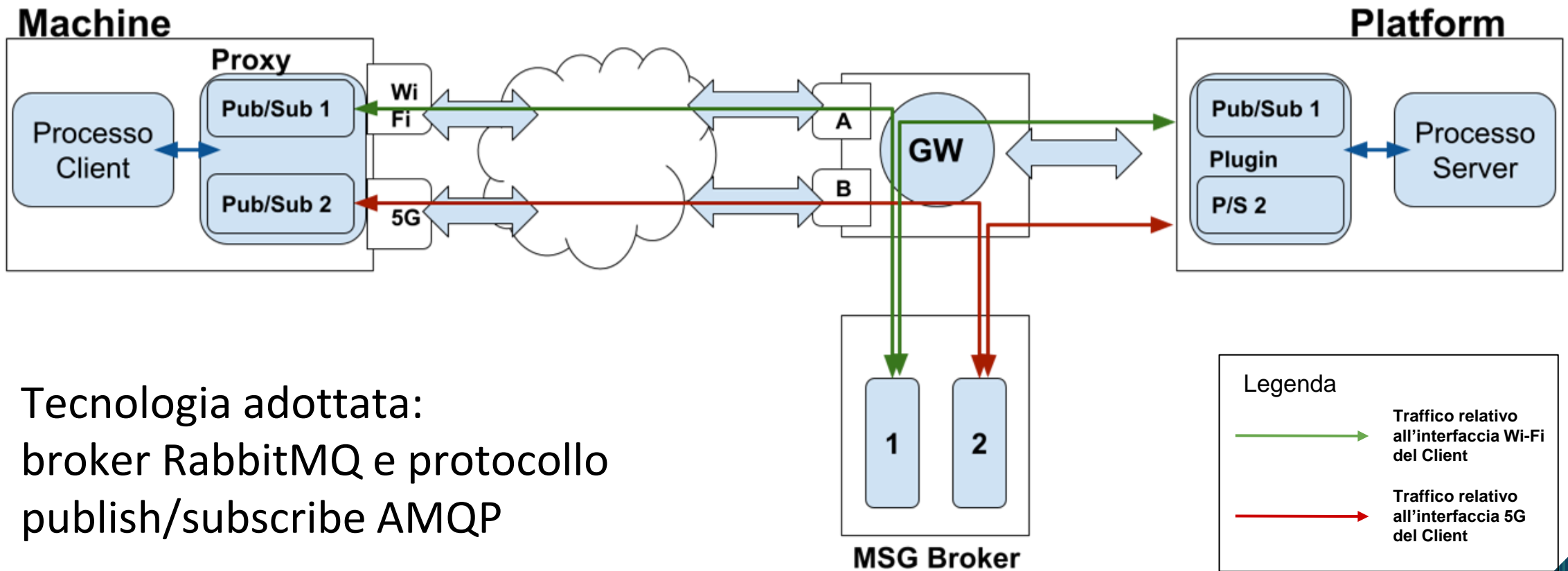
iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	400	550	700	950	1000
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	50	68.75	87.5	118.75	125
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	47.7	61.1	83.4	113	115
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	47.7	61.0	83.2	112	114
% Pacchetti UDP persi	< 0.001	0.024	0.39	0.85	1.02
% Pacchetti UDP persi attuazione switch (10.00-10.50s)	0.003	0.031	0.48	1.02	1.52

Strategia 2 - Duplicazione messaggi



Duplicazione messaggi - Soluzione e tecnologie

Utilizzo di un Proxy software per la selezione e l'inoltro dei messaggi duplicati



Tecnologia adottata:
broker RabbitMQ e protocollo
publish/subscribe AMQP

Duplicazione messaggi - Test sperimentali

Verifica sperimentalmente delle performance all'aumentare del numero di messaggi al secondo in termini di:

- **ritardo end-to-end** introdotto dai componenti di duplicazione dei messaggi e trasmissione via broker publish/subscribe
- **overhead CPU** per duplicazione messaggi e successiva eliminazione messaggi duplicati ricevuti

Duplicazione messaggi - Test sperimentali

Per rendere test realistici introdotto ritardo di:

- 5 ms sull'interfaccia 5G che collega client e broker
- 2 ms sull'interfaccia WiFi che collega client e broker
- 2 ms sull'interfaccia che collega broker e server

Ritardo totale end-to-end via WiFi: 4 ms

Ritardo totale end-to-end via 5G: 7 ms

Caratteristiche delle macchine virtuali usate: 4 vCPU e 4 GB RAM

Duplicazione messaggi - Test sperimentali

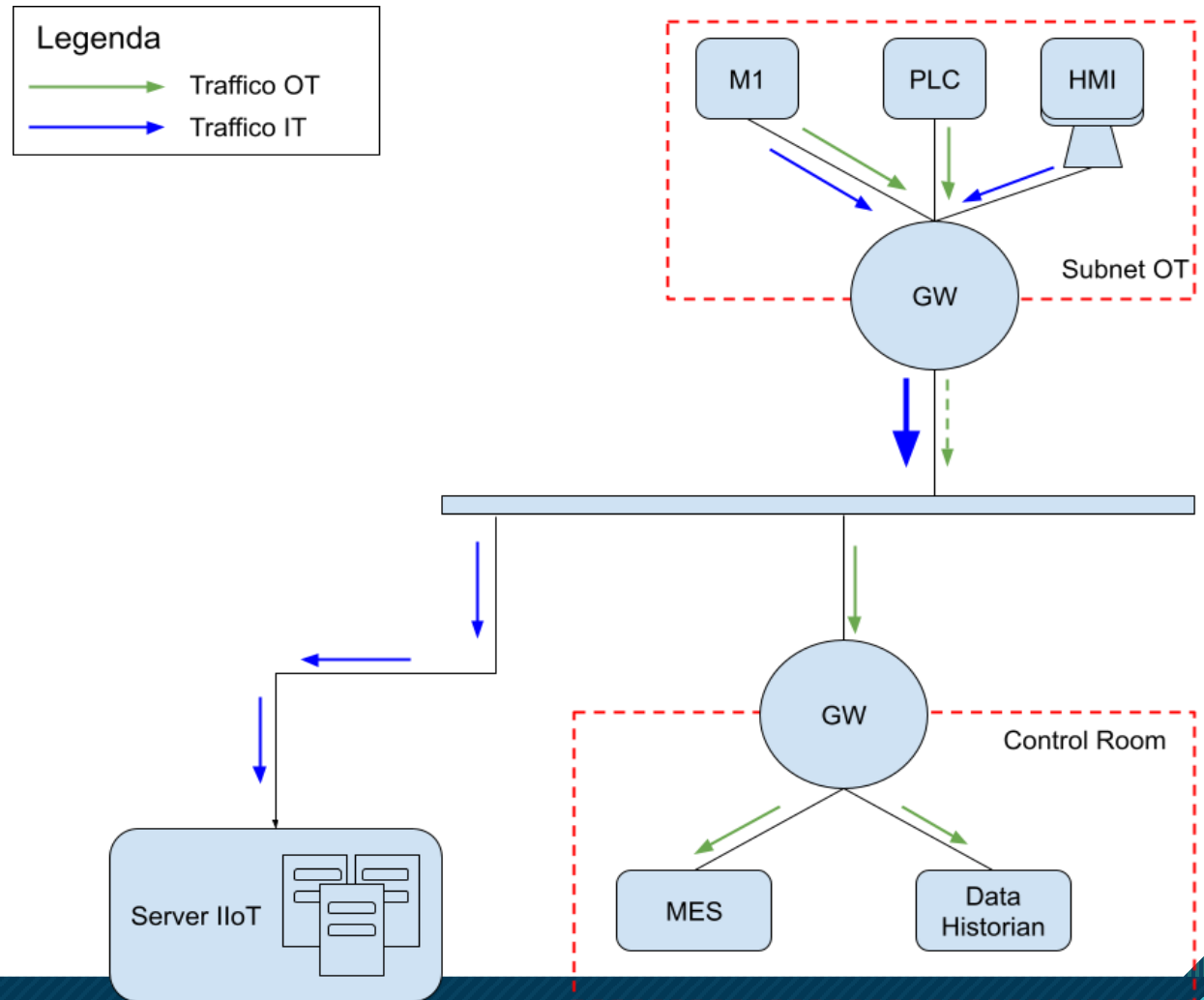
Periodo invio (ms)	Frequenza (pacchetti al secondo)	Latenza media end-to-end (ms)		Carico medio su 4 vCPU (%)		
		Wi-Fi	5G	Client	Broker	Server
10	100	4.63	7.64	2	2.75	3.5
1	1000	6.53	9.66	3	8.75	11
0.250	4000	7.16	10.16	3.75	15.75	15.27
0.150	6666	7.62	10.76	11.00	24.00	15.75
0.100	10000	8.02	12.00	12.5	35.25	34

Use case 2

Traffic offloading per ridirezione
del traffico IT

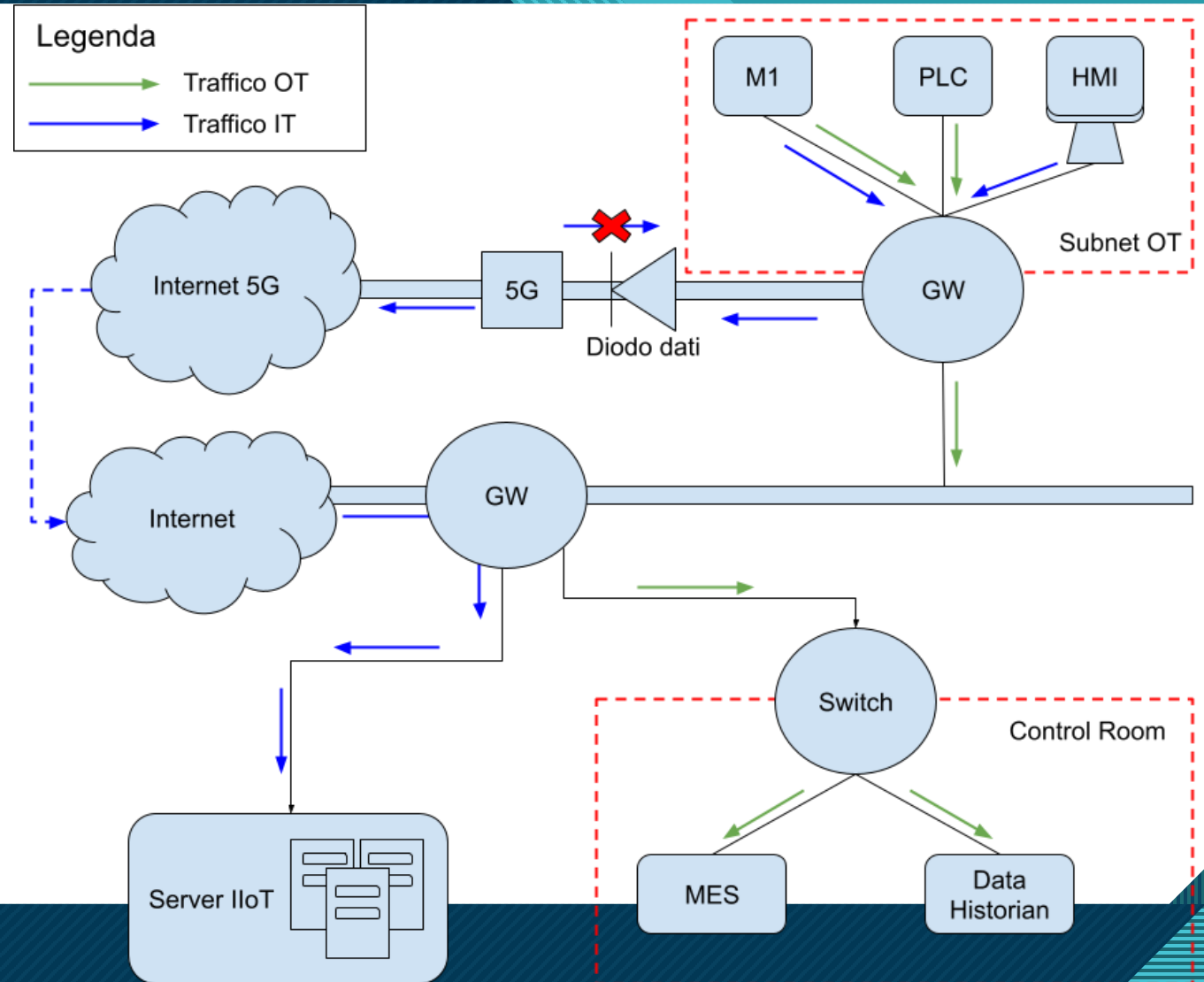
Rete senza gestione dell'offloading

- Traffico OT time-critical
- Traffico IT delay-tolerant
- Traffico IT non deve causare problemi al traffico OT
 - no ritardi
 - no pacchetti persi



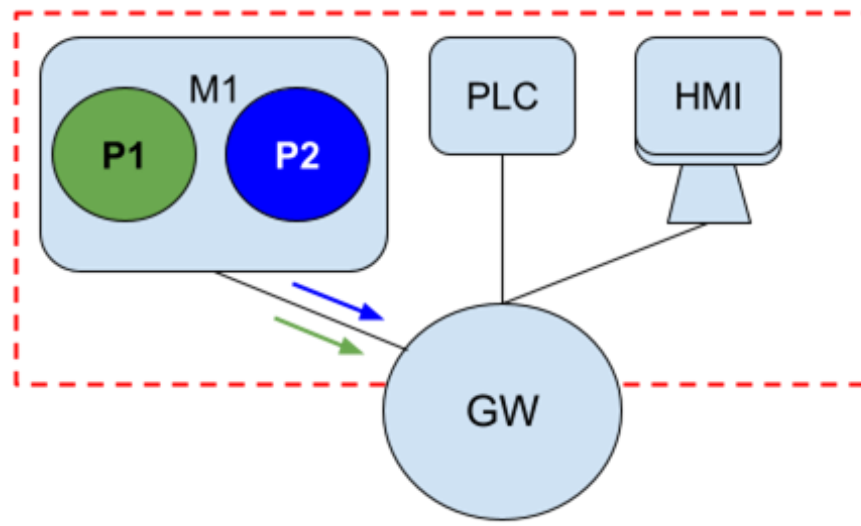
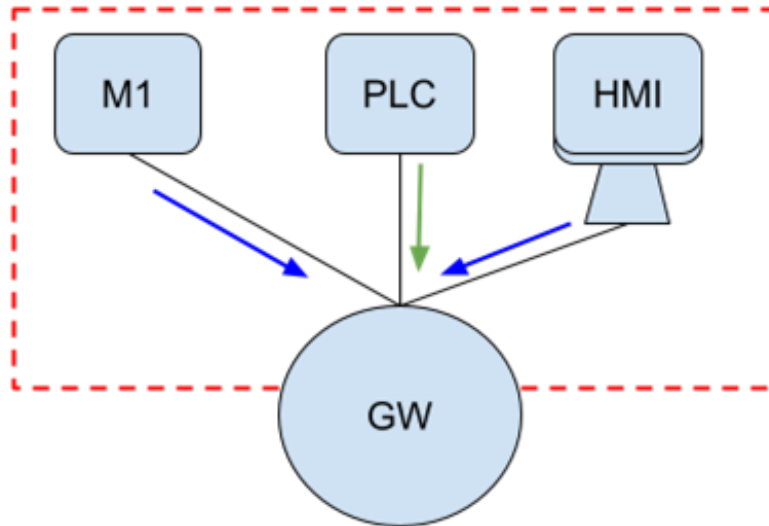
Offloading del traffico IT verso 5G

- **Reindirizzare traffico IT verso rete 5G** (pubblica o privata) permettendo al traffico OT di non avere perdite o ritardi





Scenari individuati - 1

Scenario 1:
sorgenti IT e
OT su
nodi distinti



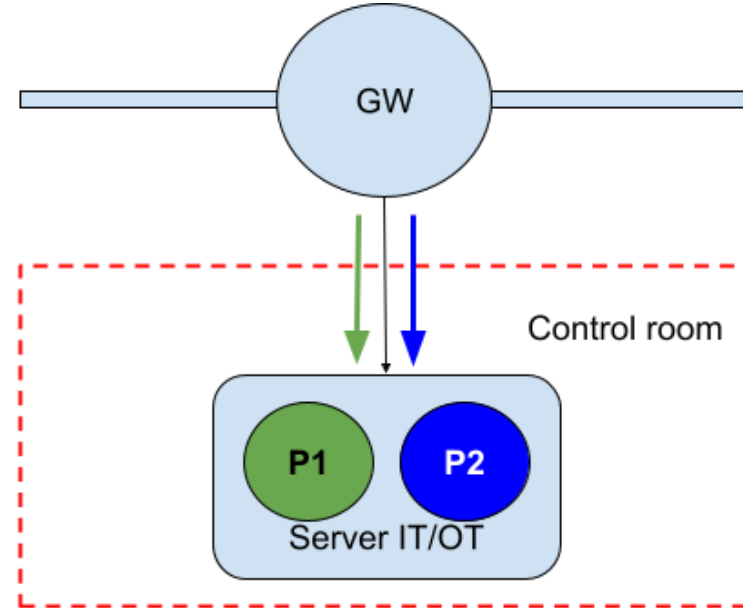
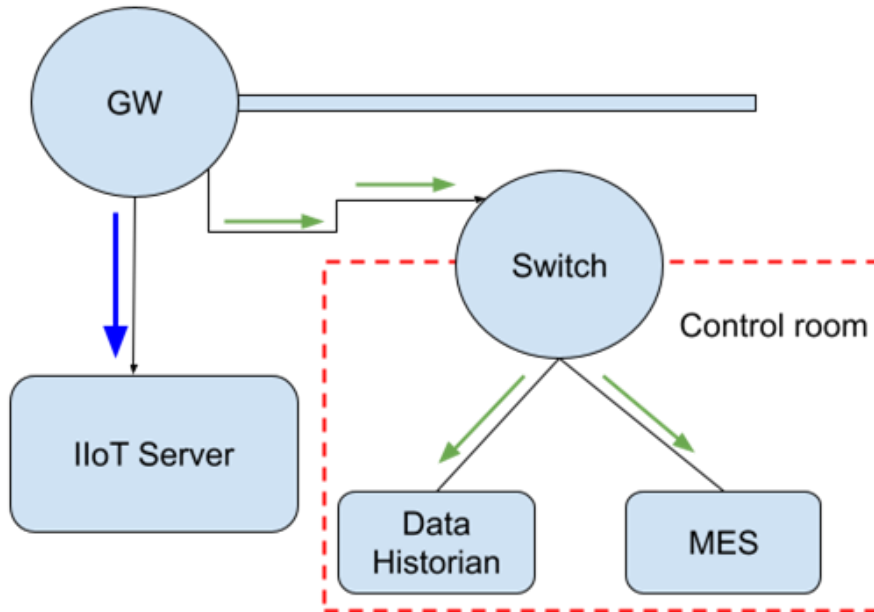
Scenario 2:
sorgenti IT e OT
processi distinti
sullo
stesso nodo

Legenda

-  Traffico OT
-  Traffico IT



Scenari individuati - 2

Scenario 3:
destinatari
IT e OT su
**nodi
distinti**



Scenario 4:
destinatari IT
e OT processi
distinti
sullo
stesso nodo

Legenda

-  Traffico OT
-  Traffico IT

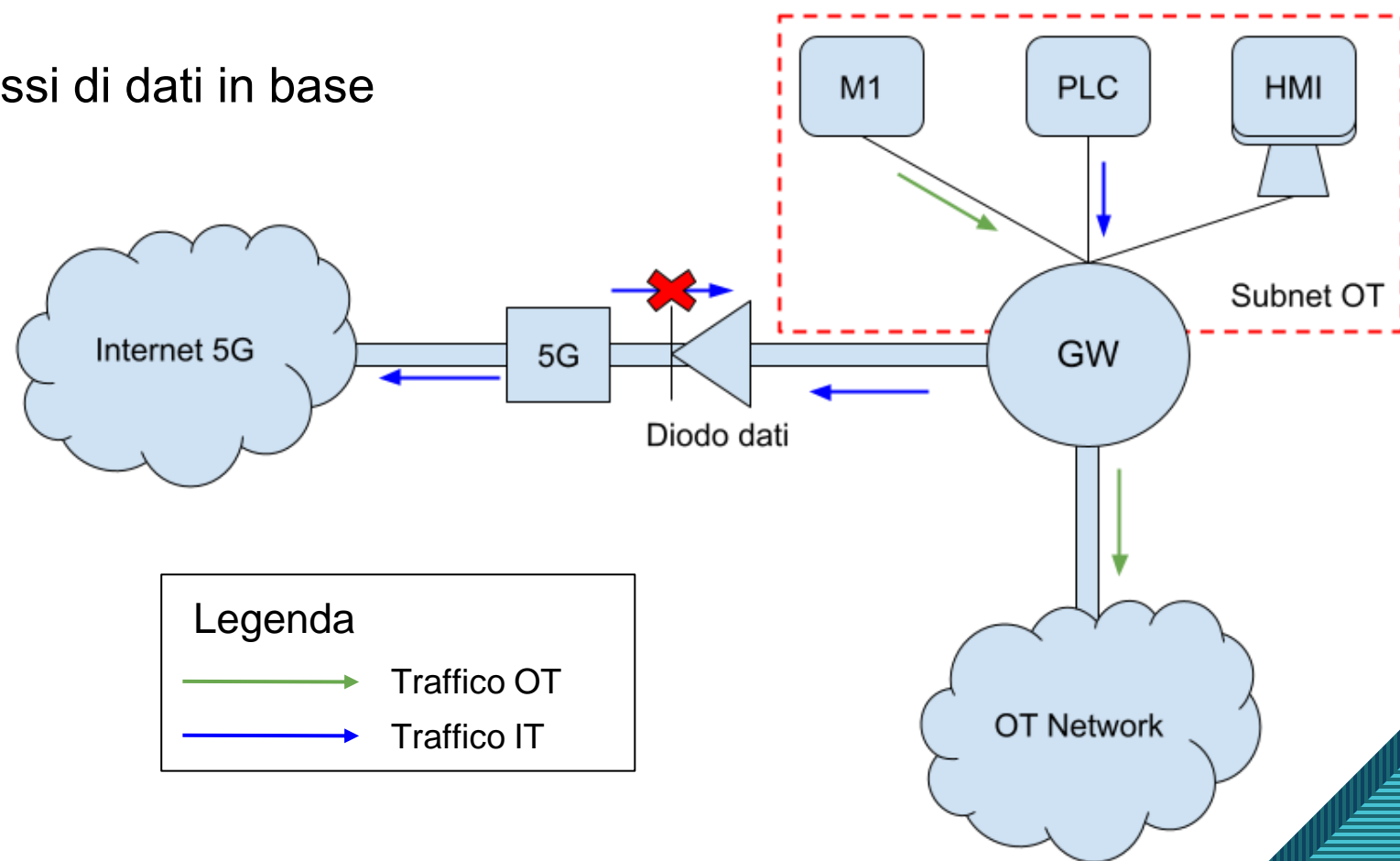
Scenario 1: sorgenti su nodi distinti

Strumenti utili all'instradamento dei flussi di dati in base all'host sorgente o destinatario

Tecnologie:

- OVS e SDN Controller (Faucet)
- iproute

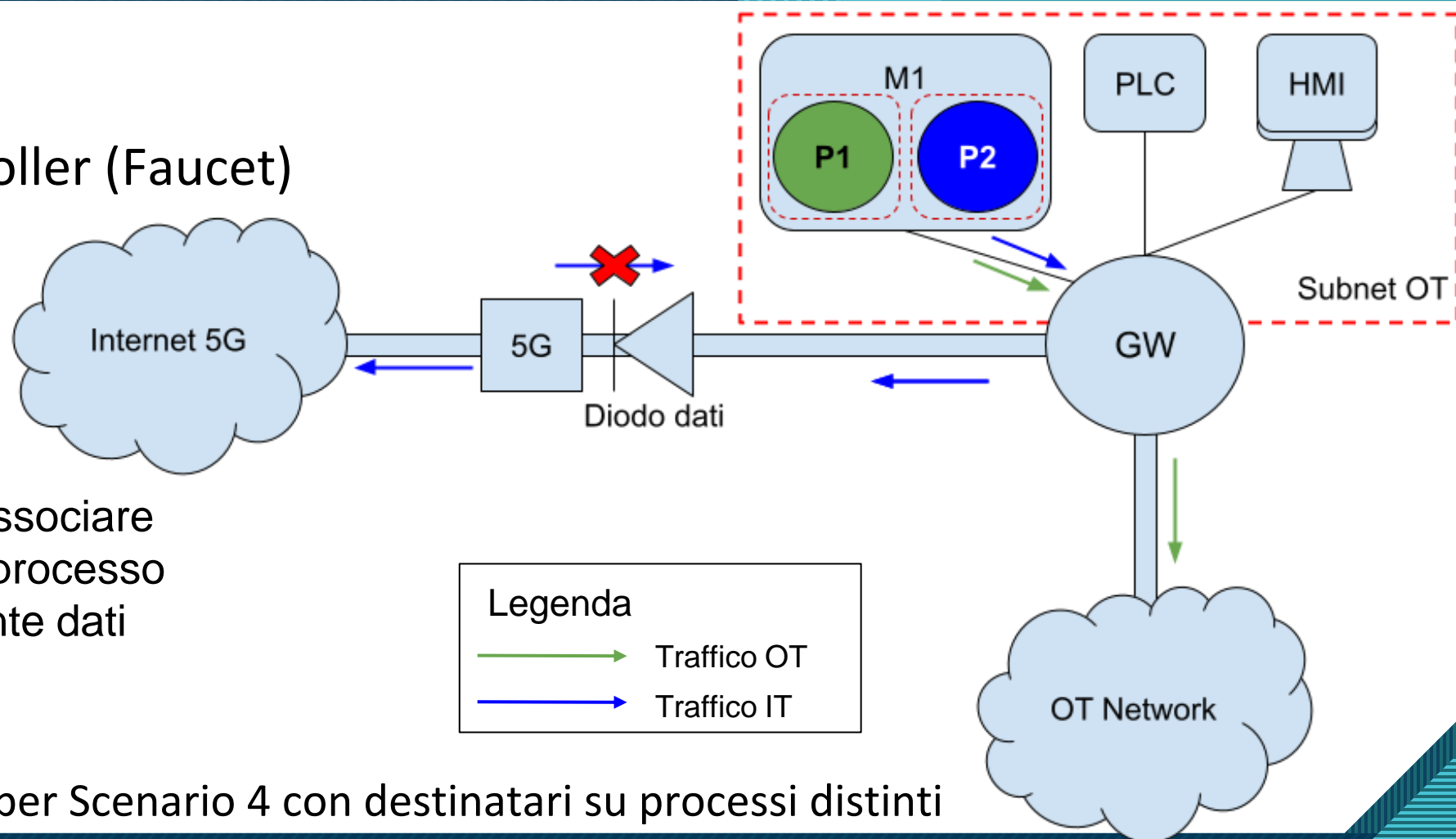
Analoghe considerazioni per Scenario 3 con destinatari su host distinti



Scenario 2: processi sorgenti distinti su stesso nodo

Tecnologie:

- OVS e SDN Controller (Faucet)
- iproute



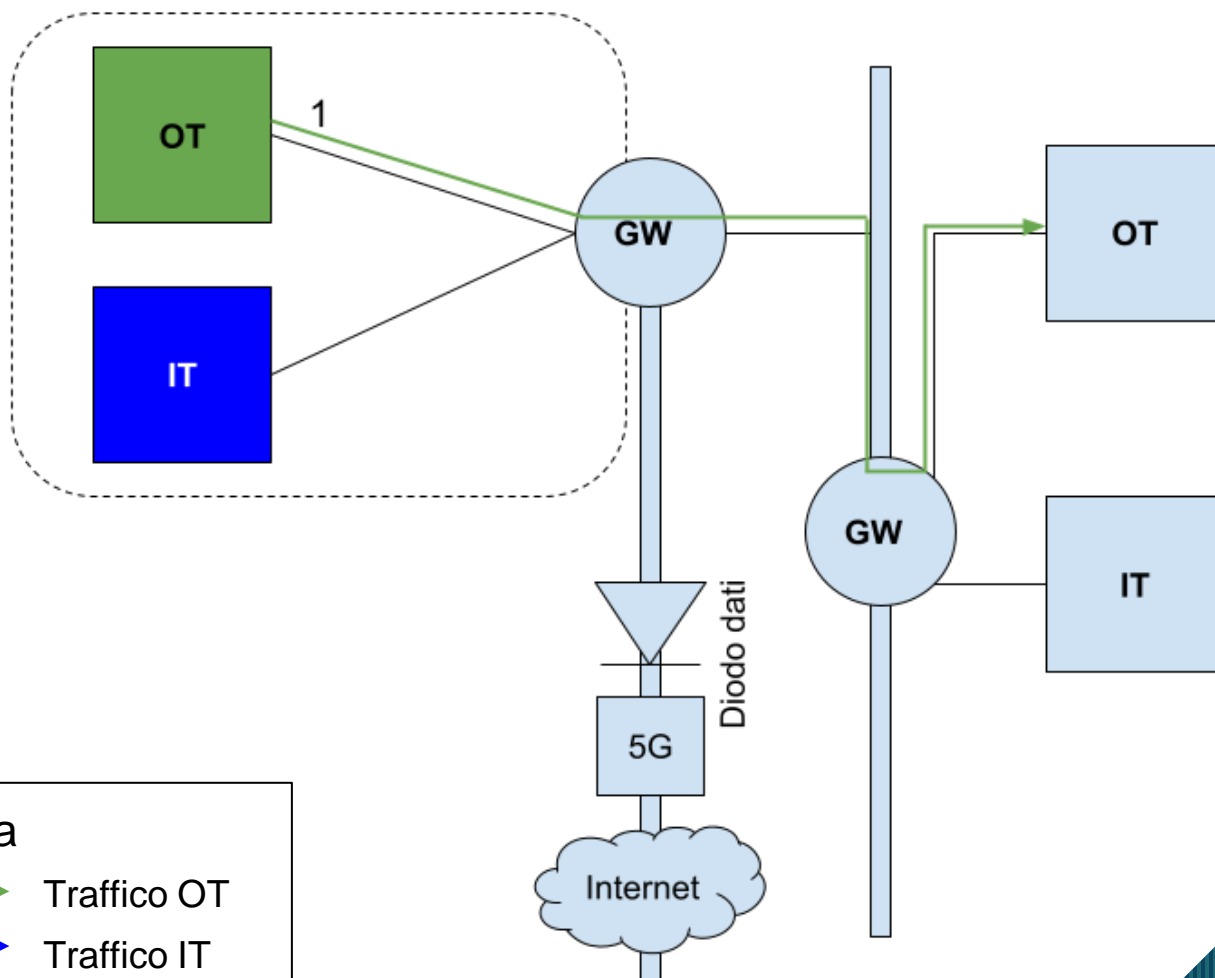
Uso di **namespace** per associare un indirizzo IP a ciascun processo per discriminare la sorgente dati

Analoghe considerazioni per Scenario 4 con destinatari su processi distinti

Offloading: test sperimentali

Valutato il numero di **pacchetti persi** al variare del **throughput** in tre diverse fasi:

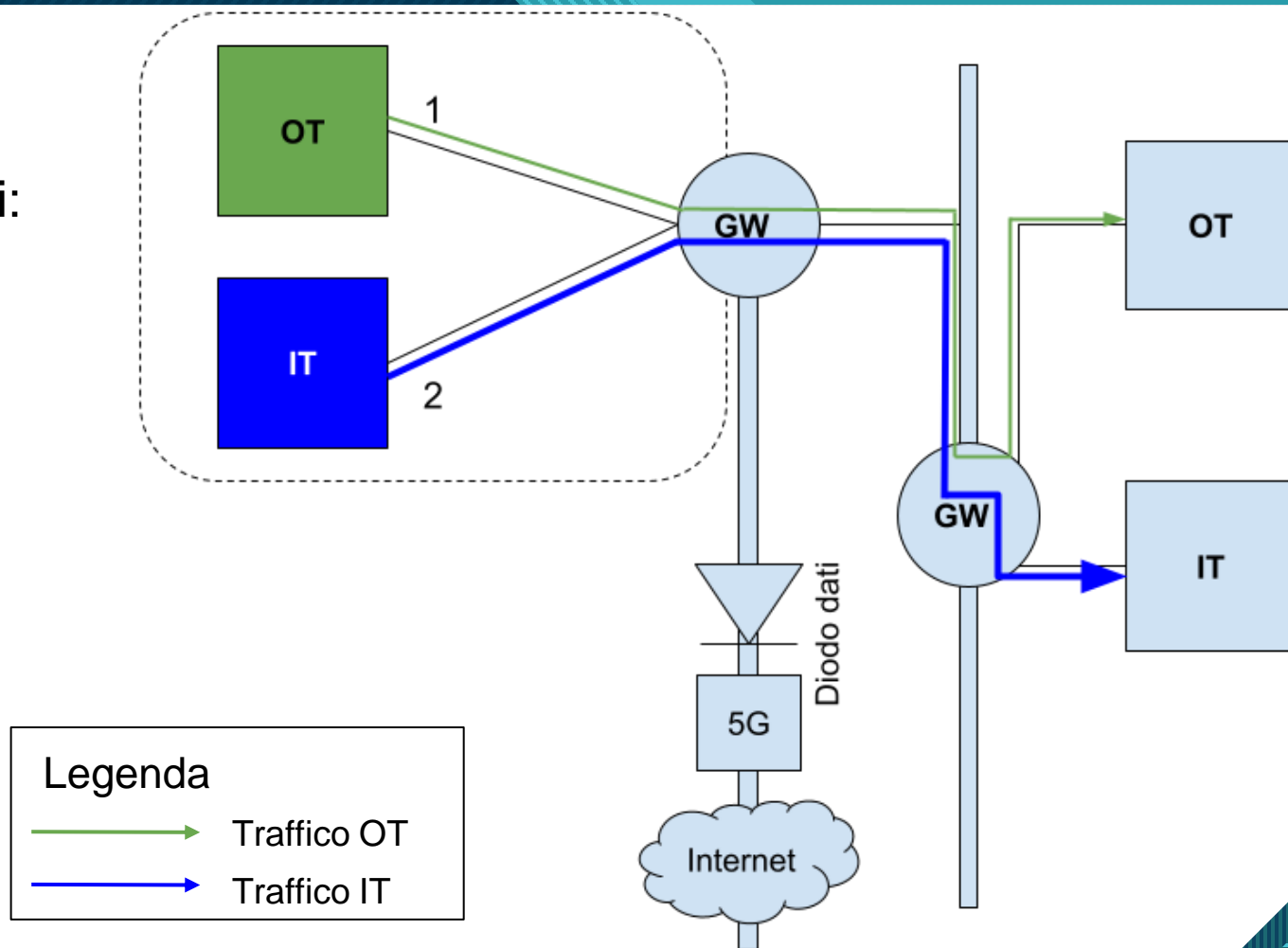
1. solo traffico OT via backbone OT
2. traffico OT e IT via backbone OT
3. OVS per reinstradare traffico IT via interfaccia 5G



Offloading: test sperimentali

Valutato il numero di **pacchetti persi** al variare del **throughput** in tre diverse fasi:

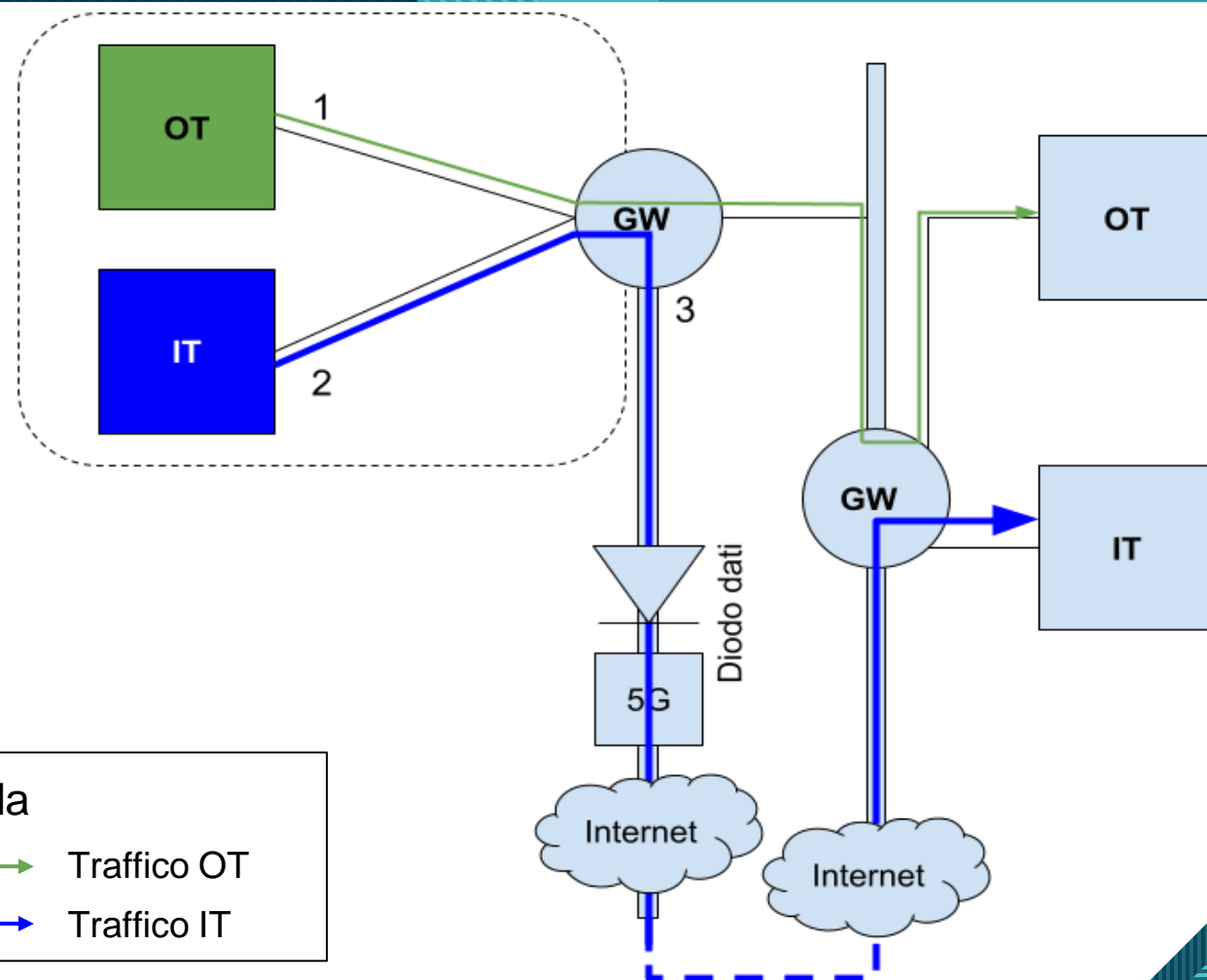
1. solo traffico OT via backbone OT
2. **traffico OT e IT via backbone OT**
3. OVS per reinstradare traffico IT via interfaccia 5G



Offloading: test sperimentali

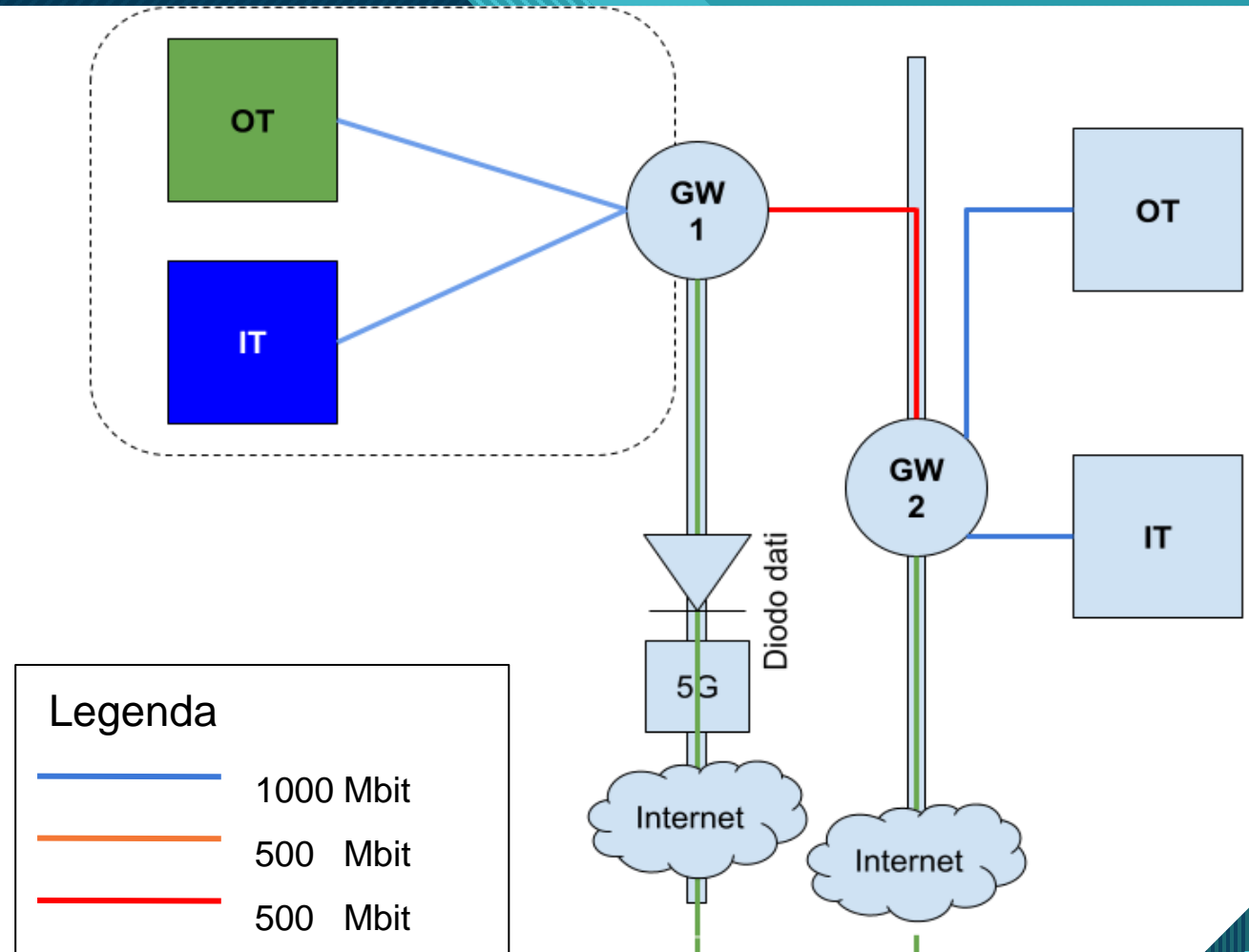
Valutato il numero di **pacchetti persi** al variare del **throughput** in tre diverse fasi:

1. solo traffico OT via backbone OT
2. traffico OT e IT via backbone OT
3. **OVS per reinstradare traffico IT via interfaccia 5G**



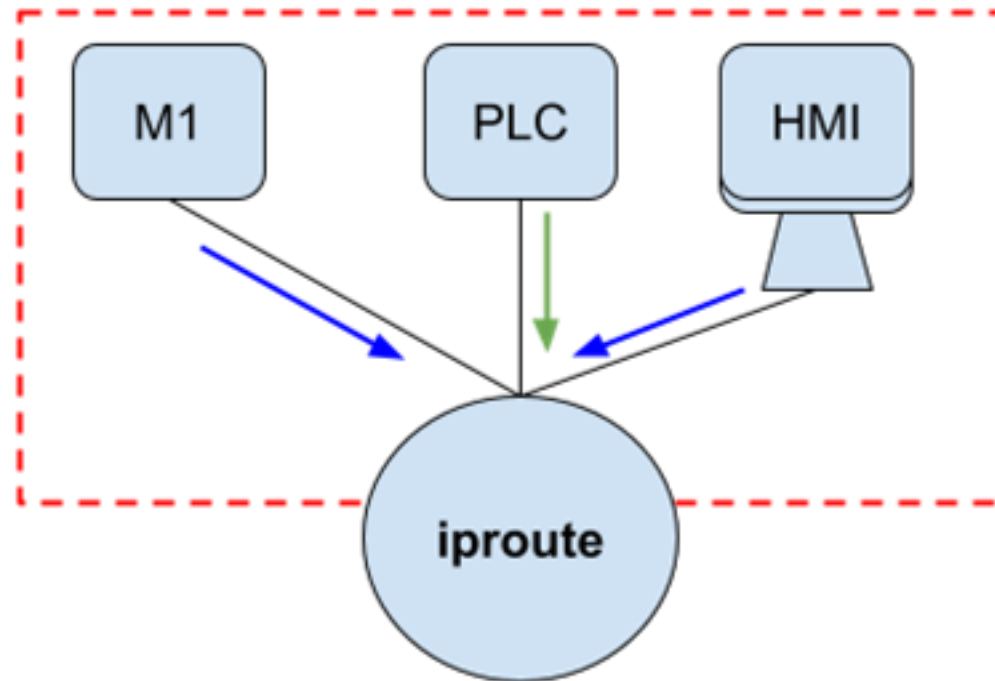
Offloading: test sperimentali

- Banda limitata
- Utilizzo delle soluzioni di routing nel GW1:
 - Faucet e OVS
 - iproute
- Utilizzo di namespace, OVS e Faucet lato sorgente per distinguere i singoli processi (scenario 2)



Test sperimentali iproute

Scenario 1: nodi distinti



Fase 1: iproute, nodi distinti

Solo traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	100	200	300	400	500	550	600
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	12.5	25	37.5	50	62.5	68.75	75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	11.9	23.8	35.8	47.7	59.6	65.6	71.5
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	11.9	23.8	35.7	47.6	57.9	57.9	57.9
% Pacchetti UDP persi	0	0.001	0.011	0.021	0.08	6.5	12

Fase 2: iproute, nodi distinti

Traffico OT e IT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	15.4
% Pacchetti UDP persi	0	0	3.4

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.8	47.6
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	42.5
% Pacchetti UDP persi	0.018	0.061	6.4

Fase 3: iproute, nodi distinti

Traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s e traffico IT transitante su rete 5G con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

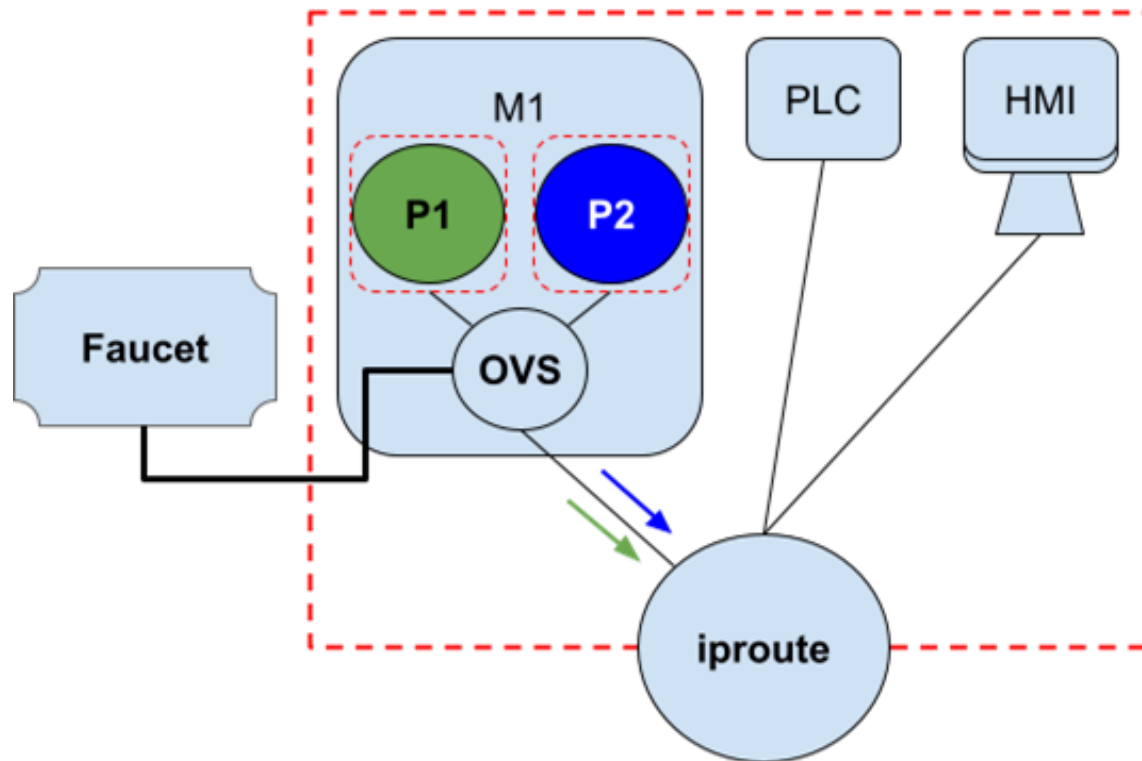
iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
% Pacchetti UDP persi	0	0	0

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.9	35.8	47.7
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	43.5
% Pacchetti UDP persi	0.001	0.02	0.04

Test sperimentali iproute

Scenario 2: stesso nodo



Fase 1: iproute, stesso nodo

Solo traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	100	200	300	400	500	550	600
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	12.5	25	37.5	50	62.5	68.75	75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	11.9	23.8	35.8	47.7	59.6	65.6	71.5
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	11.9	23.8	35.7	47.6	57.9	57.9	57.9
% Pacchetti UDP persi	0	0.001	0.003	0.007	0.011	4.6	12

Fase 2: iproute, stesso nodo

Traffico OT e IT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	16.1
% Pacchetti UDP persi	0	0	2.8

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.7	47.7
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	41.8
% Pacchetti UDP persi	0.004	0.008	6.1

Fase 3: iproute, stesso nodo

Traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s e traffico IT transitante su rete 5G con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

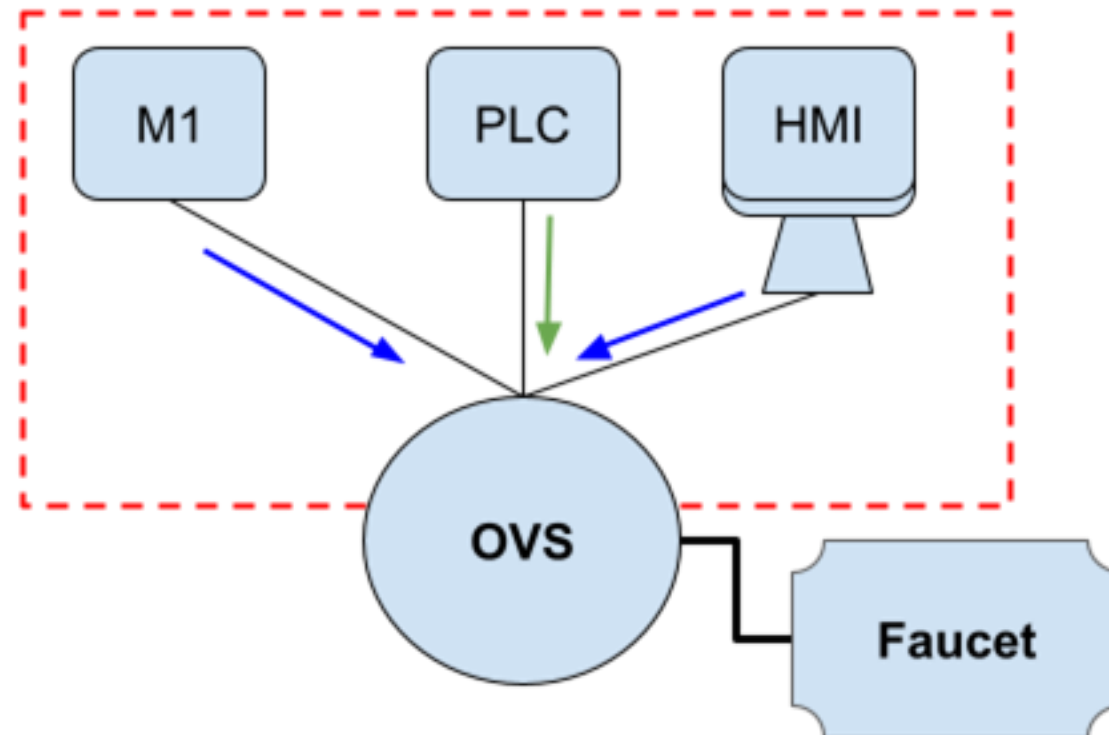
iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
% Pacchetti UDP persi	0	0	0

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.8	47.7
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	47.6
% Pacchetti UDP persi	0.001	0.003	0.008

Test sperimentali OVS e Faucet

Scenario 1: nodi distinti



Fase 1: OVS e Faucet, nodi distinti

Solo traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	100	200	300	400	500	550	600
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	12.5	25	37.5	50	62.5	68.75	75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	11.9	23.8	35.8	47.7	59.6	65.6	71.5
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	11.9	23.8	35.7	47.6	57.8	57.9	57.8
% Pacchetti UDP persi	0	0.012	0.016	0.022	0.093	4.4	12

Fase 2: OVS e Faucet, nodi distinti

Traffico OT e IT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	16.4
% Pacchetti UDP persi	0.001	0.002	3.73

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.8	47.6
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	41.3
% Pacchetti UDP persi	0.02	0.085	6.3

Fase 3: OVS e Faucet, nodi distinti

Traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s e traffico IT transitante su rete 5G con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

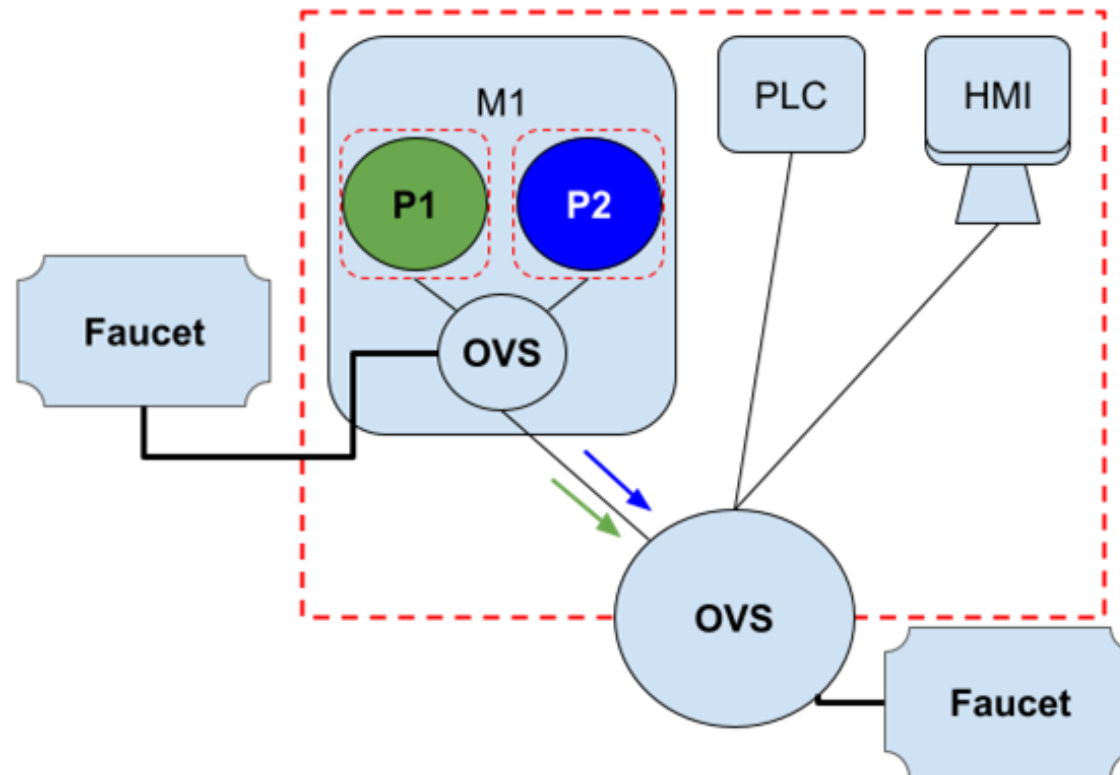
iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
% Pacchetti UDP persi	0	0	0

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.8	47.7
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	47.6
% Pacchetti UDP persi	0.014	0.019	0.035

Test sperimentali OVS e Faucet

Scenario 2: stesso nodo



Fase 1: OVS e Faucet, stesso nodo

Solo traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	100	200	300	400	500	550	600
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	12.5	25	37.5	50	62.5	68.75	75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	11.9	23.8	35.8	47.7	59.6	65.6	71.5
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	11.9	23.8	35.7	47.6	57.8	57.7	57.7
% Pacchetti UDP persi	0	0.003	0.12	0.25	0.53	4.7	14

Fase 2: OVS e Faucet, stesso nodo

Traffico OT e IT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	16.2
% Pacchetti UDP persi	0.009	0.010	3.9

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.8	47.7
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.7	41.1
% Pacchetti UDP persi	0.21	0.38	6.3

Fase 3: OVS e Faucet, stesso nodo

Traffico OT transitante sulla backbone OT con banda limitata a 500 Mbit/s e traffico IT transitante su rete 5G con banda limitata a 500 Mbit/s

Traffico OT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	150	150	150
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	18.75	18.75	18.75
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	17.9	17.9	17.9
% Pacchetti UDP persi	0.002	0.008	0.007

Traffico IT

iPerf3 configured Throughput (Mbit/s)	200	300	400
iPerf3 configured Throughput (MByte/s)	25	37.5	50
Throughput iPerf3 Client (MByte/s)	23.8	35.8	47.7
Throughput iPerf3 Server (MByte/s)	23.8	35.6	47.4
% Pacchetti UDP persi	0.004	0.12	0.31

Conclusioni

- **Multi connectivity**, efficaci sia rerouting che duplicazione
 - rerouting: trasparente ma con eventuale perdita di pacchetti a bitrate elevati
 - duplicazione: non trasparente ma senza perdita di pacchetti
- **Offloading**, strumenti eterogenei a disposizione
 - iproute: più facile da implementare, meno semplice la gestione dinamica
 - OVS: maggiore complessità di configurazione e uso, ma soluzione più flessibile grazie alla presenza di Faucet come SDN Controller

Grazie per l'attenzione

Carlo Giannelli

carlo.giannelli@unife.it

<https://ds.unife.it/people/carlo.giannelli>

