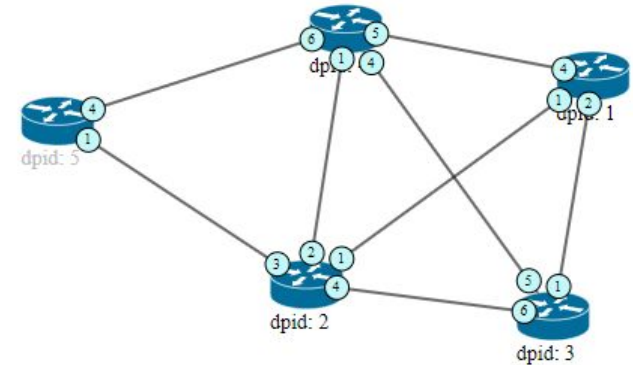


TEST e OSSERVAZIONI

Topologia generica (mesh, stella, ecc.)
non lineare

Struttura delle simulazioni

- Durata: 60 cicli (~ 3 minuti) dell'app SDN
- Topologia di partenza come da figura
- Hosts: 8
 - 1 per s1
 - 3 per s3
 - 2 per s4
 - 2 per s5
- Traffico generato con lo stesso pattern (via iperf) per ogni run



Rottura dei cicli: BFS_STP

- Una rete con apparati L2 non può avere cicli attivi
- Per il progetto si propone una versione modificata di STP
- Lo Spanning Tree viene costruito a partire da una visita BFS
- L'origine della BFS è il nodo (N) con score più alto
- $score = grado(N) * 2 + \#host(N)$
dove $grado(N)$ è il numero di connessioni verso altri nodi (switch) e $\#host(N)$ è il numero di host connessi allo switch
- BFS_STP individua i nodi di rete che possono essere disattivati: questi saranno le foglie dello spanning tree, senza host connessi
- L'esecuzione di BFS_STP restituisce all'App SDN:
 - grafo rappresentante la rete
 - dizionario di link (edges del grafo) attivi della forma {link:porte} (e.g. s1,s4:s1-eth4,s4-eth5)
 - nodi possibilmente da spegnere

Determinare se un link è utilizzato (per bitrate adattivo)

- Ogni porta attiva, nella configurazione con bitrate adattivo, può essere soggetta o meno all'aumento (o diminuzione) della sua velocità di trasmissione
- Le porte attive sono sempre accese, con bitrate minimo di 10Mbps
- A ogni ciclo vengono definite:
 - `working_ports`: i byte scambiati nell'ultima unità di tempo sono maggiori di $\text{SENSITIVITY} * 10$
 - `saturated_ports`: byte scambiati nell'ultima unità di tempo $> \text{SENSITIVITY} * \text{port_speed}$
- $\text{SENSITIVITY} = 67500$ ~54% dei byte scambiati in 1s a 1Mbps
 - Le prime prove con $\text{SENSITIVITY} = 62500$ erano troppo sensibili (bastava un pingall per far cambiare il bitrate)
- Se una porta è in `saturated_ports`, il suo bitrate viene aumentato
- Se una porta è solo in `working_ports`, il suo bitrate viene mantenuto
- Se una porta non è più in `working_ports`, il suo bitrate viene portato al minimo

Traffico generato per ogni run

```
py time.sleep(4)
py net['h1'].cmd("iperf -c 10.0.0.100 -n 10M -i2 &")
py time.sleep(1)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.1 -n 1500M -i2 &")
py time.sleep(1)
py time.sleep(8)
py net['h2'].cmd("iperf -c 10.0.0.4 -n 1000M -i2 &")
py time.sleep(1)
py time.sleep(4)
py net['h7'].cmd("iperf -c 10.0.0.3 -n 800M -i2 &")
py time.sleep(17)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.1 -n 1500M -i2 &")
py time.sleep(5)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.6 -n 1500M -i2 &")
py time.sleep(2)
py net['h1'].cmd("iperf -c 10.0.0.3 -n 1300M -i2 &")
py time.sleep(3)
py net['h3'].cmd("iperf -c 10.0.0.1 -n 250M -i2 &")
py time.sleep(1)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.6 -n 2500M -i2 &")
py time.sleep(34)
py net['h2'].cmd("iperf -c 10.0.0.6 -n 100M -i2 &")
py time.sleep(3)
py net['h6'].cmd("iperf -c 10.0.0.2 -n 850M -i2 &")
py time.sleep(5)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.1 -n 1500M -i2 &")
py time.sleep(5)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.6 -n 1500M -i2 &")
py time.sleep(2)
py net['h1'].cmd("iperf -c 10.0.0.3 -n 1300M -i2 &")
py time.sleep(1)
py net['h3'].cmd("iperf -c 10.0.0.1 -n 250M -i2 &")
py time.sleep(1)
py net['srv'].cmd("iperf -c 10.0.0.5 -n 2500M -i2 &")
```

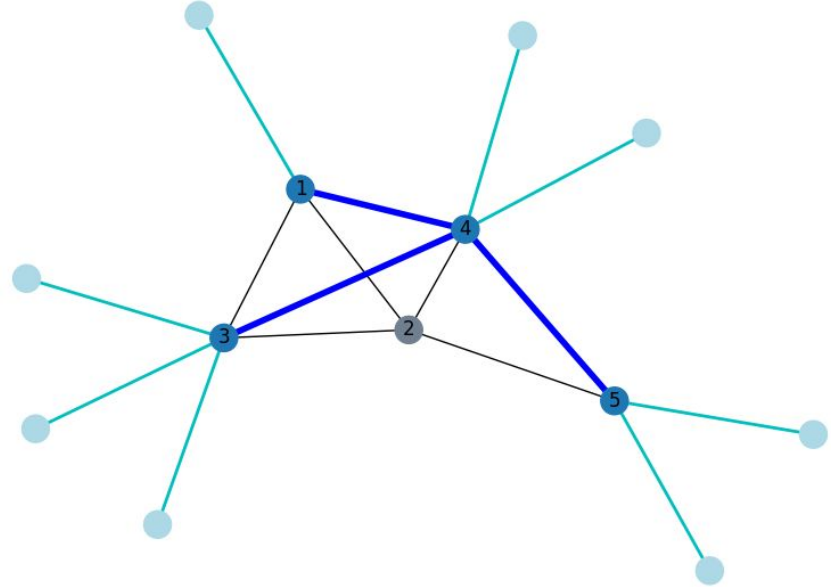
RUN 1

Run ottimizzata

- Bitrate adattivo
 - Range 10Mbps - 10Gbps
- Porte inutilizzate dopo esecuzione STP hanno bitrate 0
- Switch non necessari al routing del traffico spenti

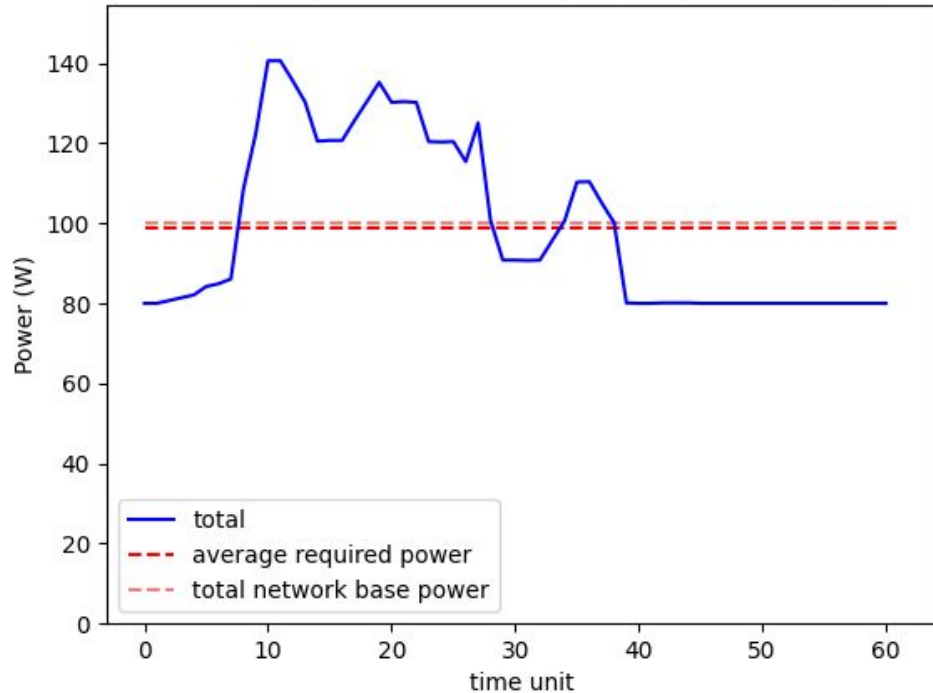
Link attivi dopo esecuzione STP

- Switch 4 diventa centro stella (maggior numero di host connessi e nodo di grado più alto considerando il grafo di soli switch)
- Switch 2 viene disabilitato perché è una foglia senza host connessi

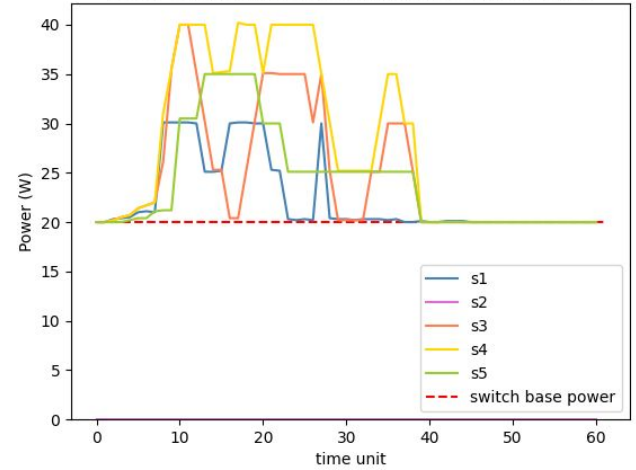


Risultati - Energia utilizzata vs utilizzo della rete

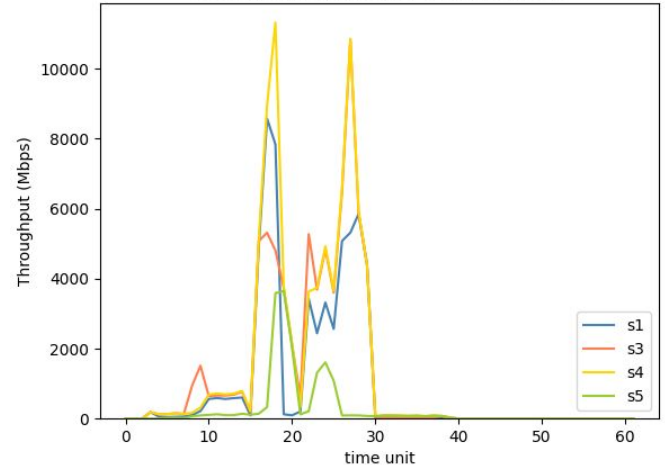
Power required by all switches in network over time



Power required by each switch in network over time

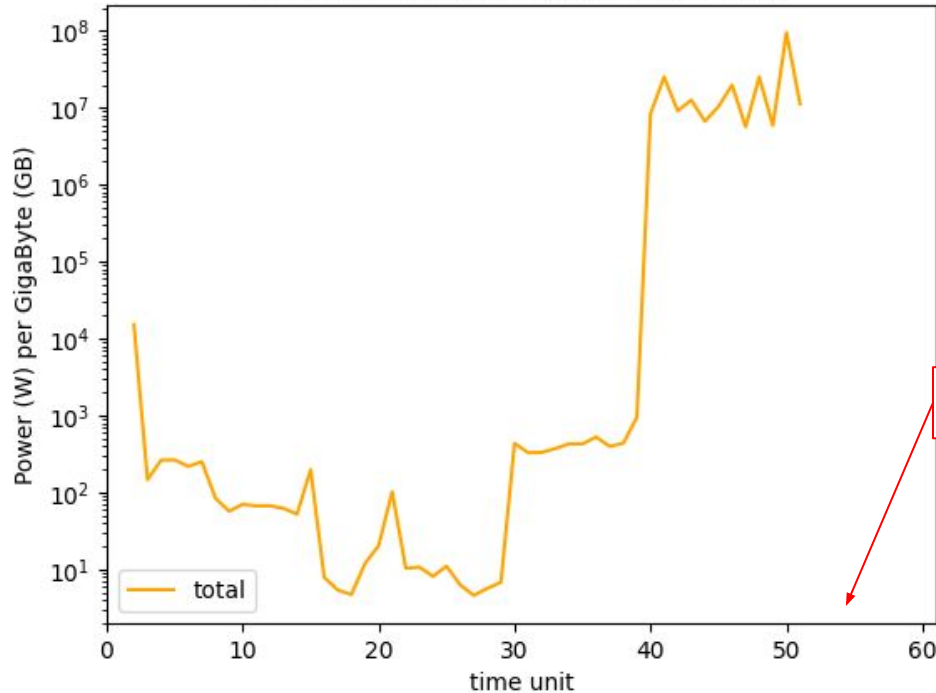


Instantaneous throughput of each switch
Average throughput per switch: 1.19GB



Risultati - Watt per GB

Overall Power per GigaByte over time



```
Simulation parameters:  
Base port bitrate: 10 Mbps  
ADAPTIVE_BITRATE = True  
DISABLE_UNUSED = True  
10Gbps available = True  
ANALYSIS_DURATION = 60  
====  
AVERAGE POWER = 98.84 W  
MINIMUM OPERATING POWER = 80 W  
%_TIME_AT_MINIMUM_POWER = 33  
AVG_SWITCH_THROUGHPUT = 1.19 GB  
AVG_WATT_PER_GB = 20.70 W
```

0 bytes scambiati

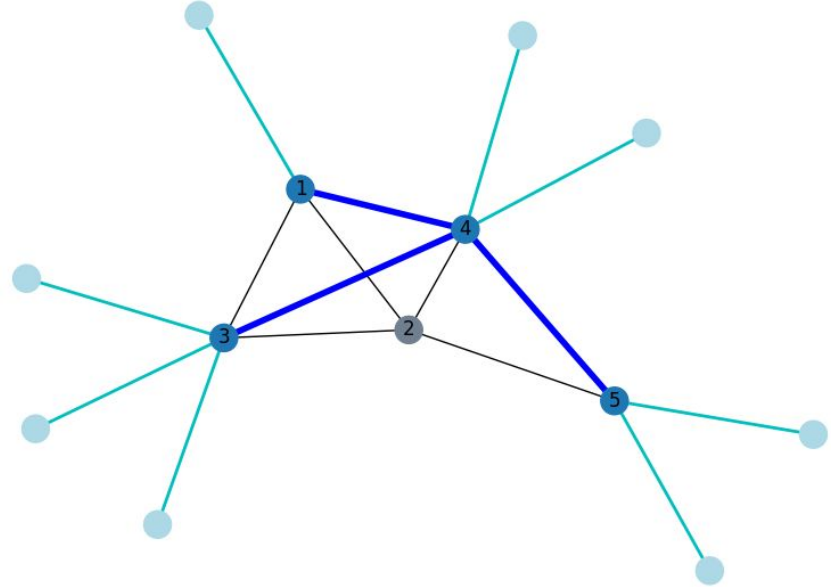
RUN 2

Run “classica”

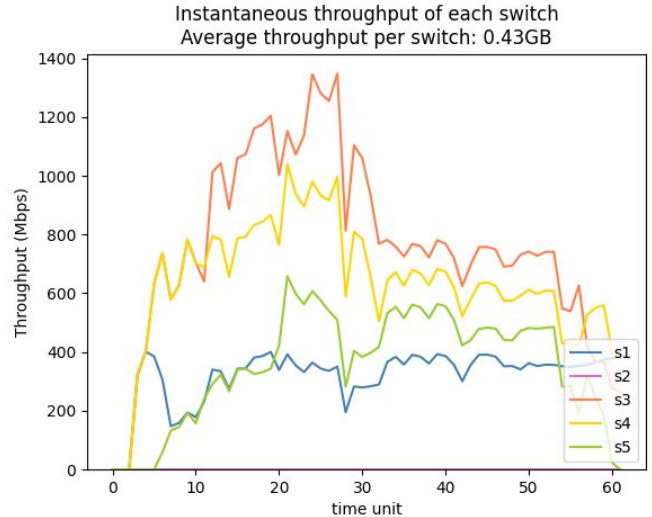
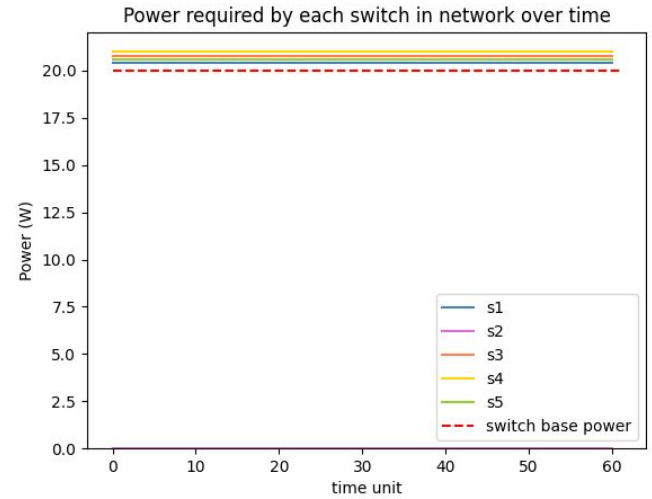
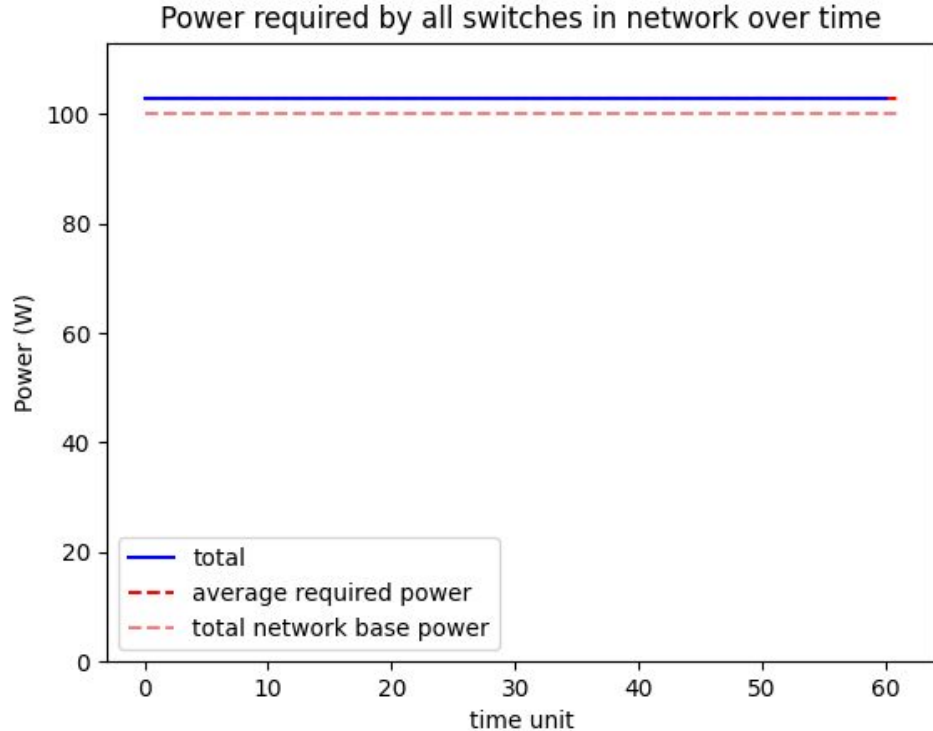
- Bitrate fissato a 100Mbps
- Tutte le porte accese (anche se i link non vengono usati dopo STP)
- Tutti gli switch accesi

Link attivi dopo esecuzione STP

- Switch 4 diventa centro stella (maggior numero di host connessi e nodo di grado più alto considerando il grafo di soli switch)

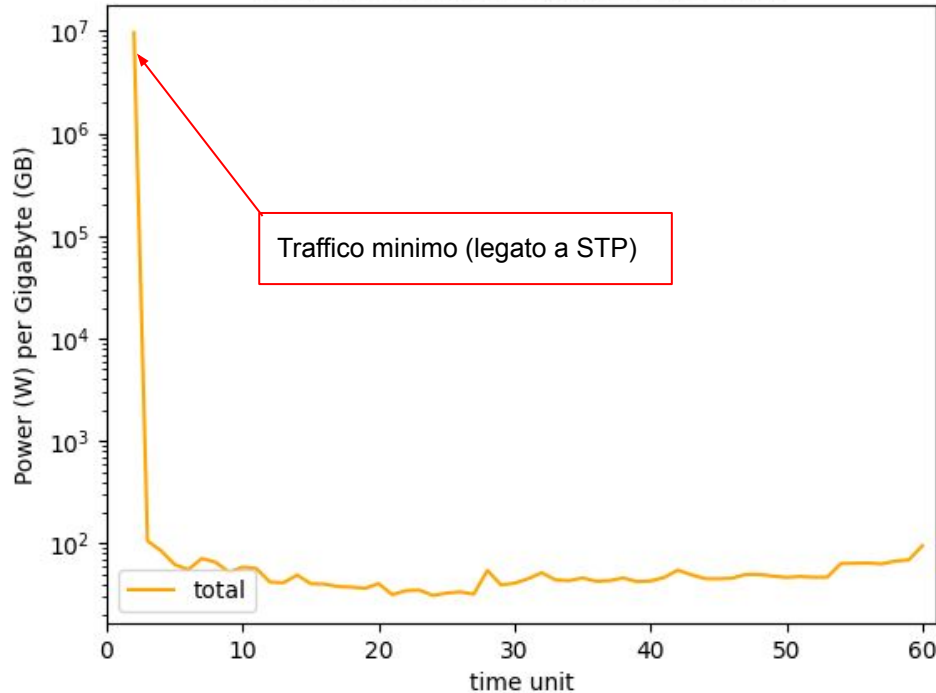


Risultati - Energia utilizzata vs utilizzo della rete



Risultati - Watt per GB

Overall Power per GigaByte over time



```
Simulation parameters:
Base port bitrate: 100 Mbps
ADAPTIVE_BITRATE = False
DISABLE_UNUSED = False
10Gbps available = False
ANALYSIS_DURATION = 60
===
AVERAGE POWER = 102.80 W
MINIMUM OPERATING POWER = 102.8 W
%_TIME_AT_MINIMUM_POWER = 100
AVG_SWITCH_THROUGHPUT = 0.43 GB
AVG_WATT_PER_GB = 48.09 W
```

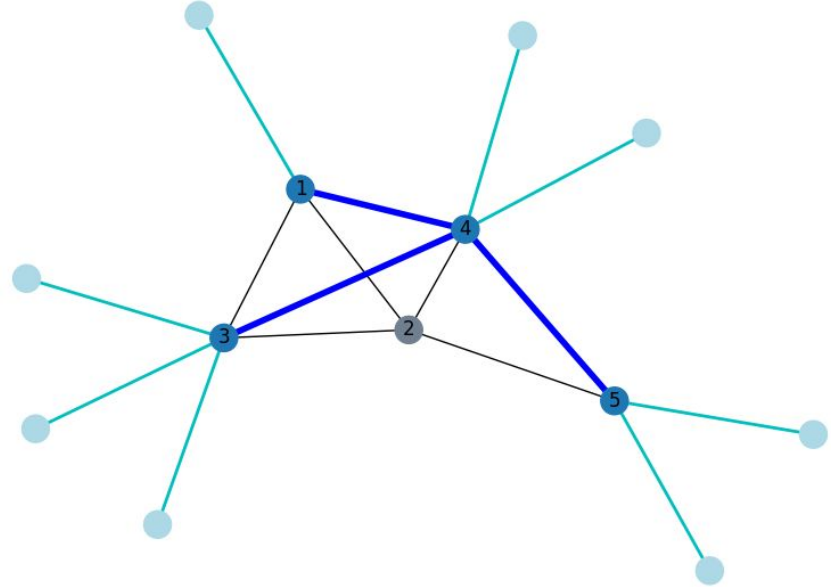
RUN 3

Run “classica”

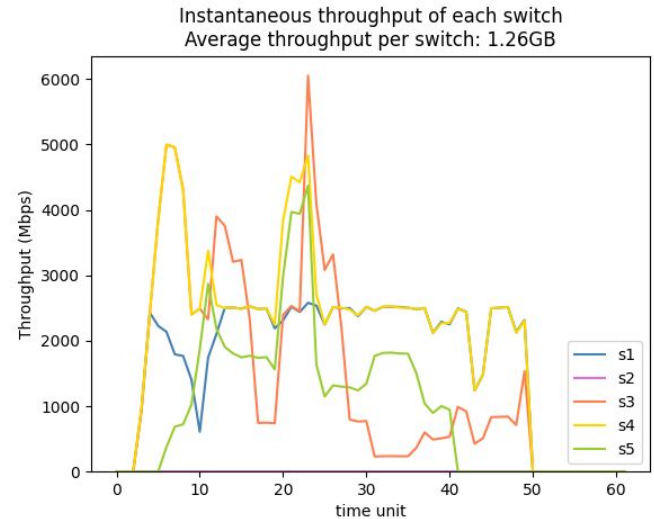
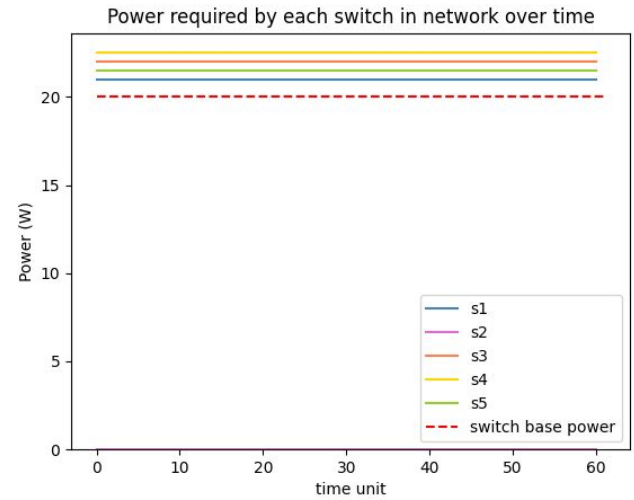
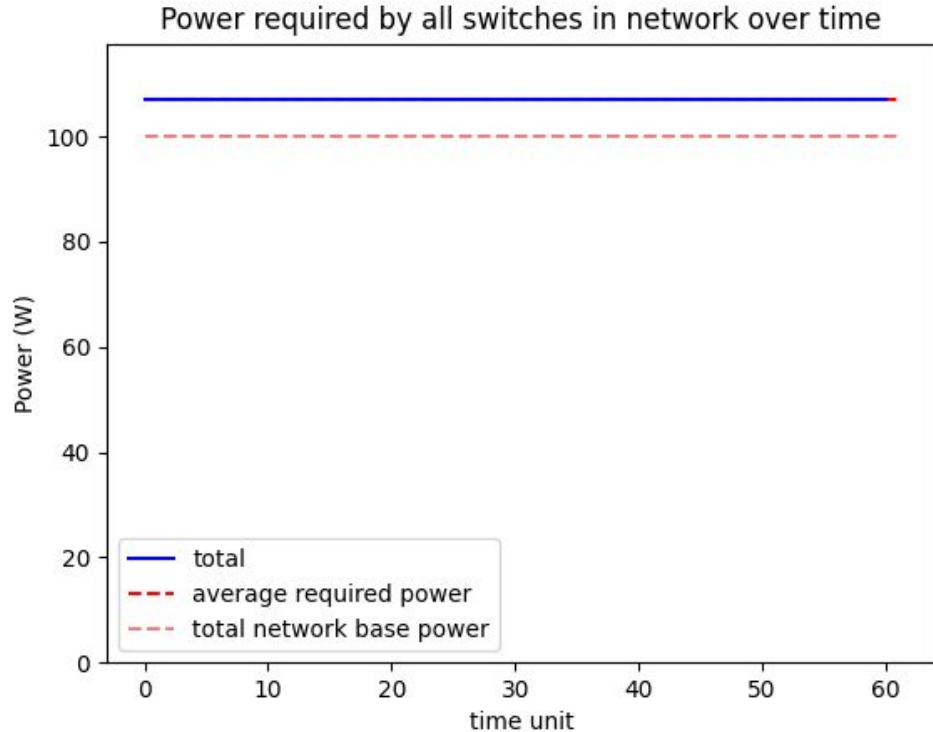
- Bitrate fissato a 1Gbps
- Tutte le porte accese (anche se i link non vengono usati dopo STP)
- Tutti gli switch accesi

Link attivi dopo esecuzione STP

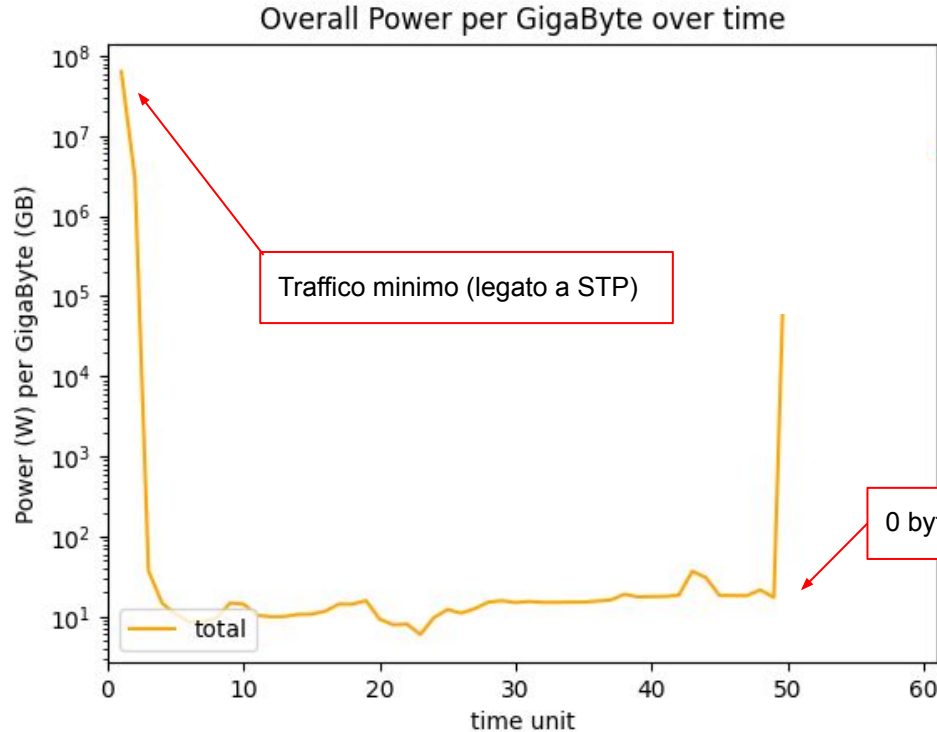
- Switch 4 diventa centro stella (maggior numero di host connessi e nodo di grado più alto considerando il grafo di soli switch)



Risultati - Energia utilizzata vs utilizzo della rete



Risultati - Watt per GB



```
Simulation parameters:  
Base port bitrate: 1000 Mbps  
ADAPTIVE_BITRATE = False  
DISABLE_UNUSED = False  
10Gbps available = False  
ANALYSIS_DURATION = 60  
====  
AVERAGE POWER = 107.0 W  
MINIMUM OPERATING POWER = 107.0 W  
%_TIME_AT_MINIMUM_POWER = 100  
AVG_SWITCH_THROUGHPUT = 1.26 GB  
AVG_WATT_PER_GB = 16.99 W
```

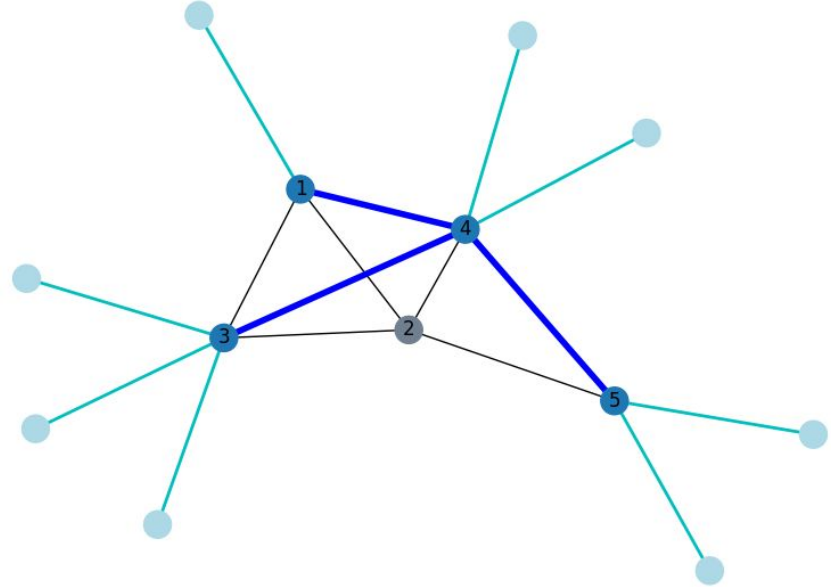
RUN 4

Run ottimizzata

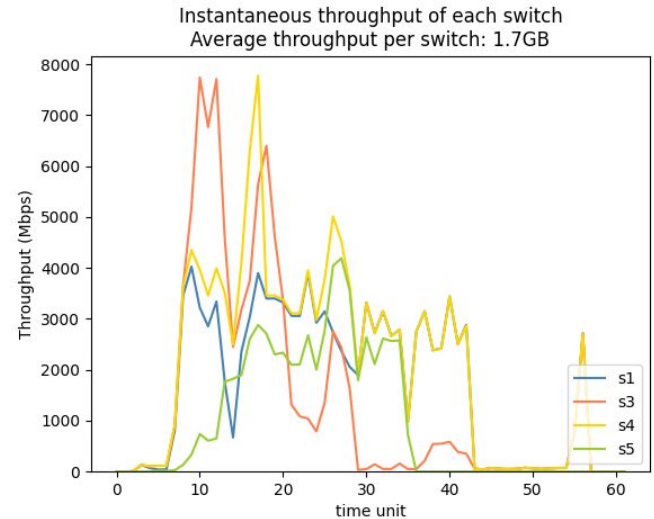
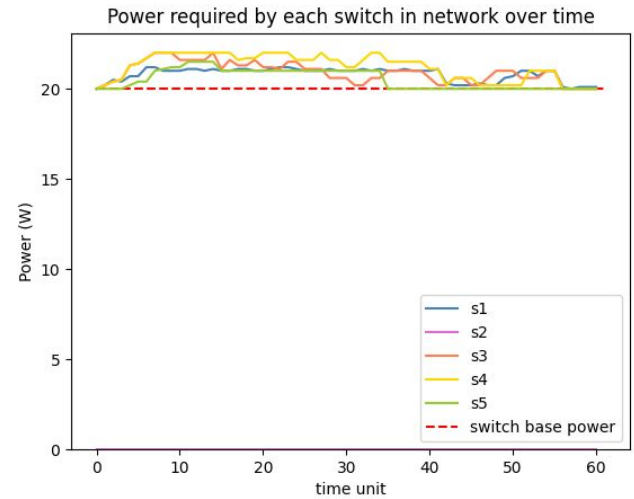
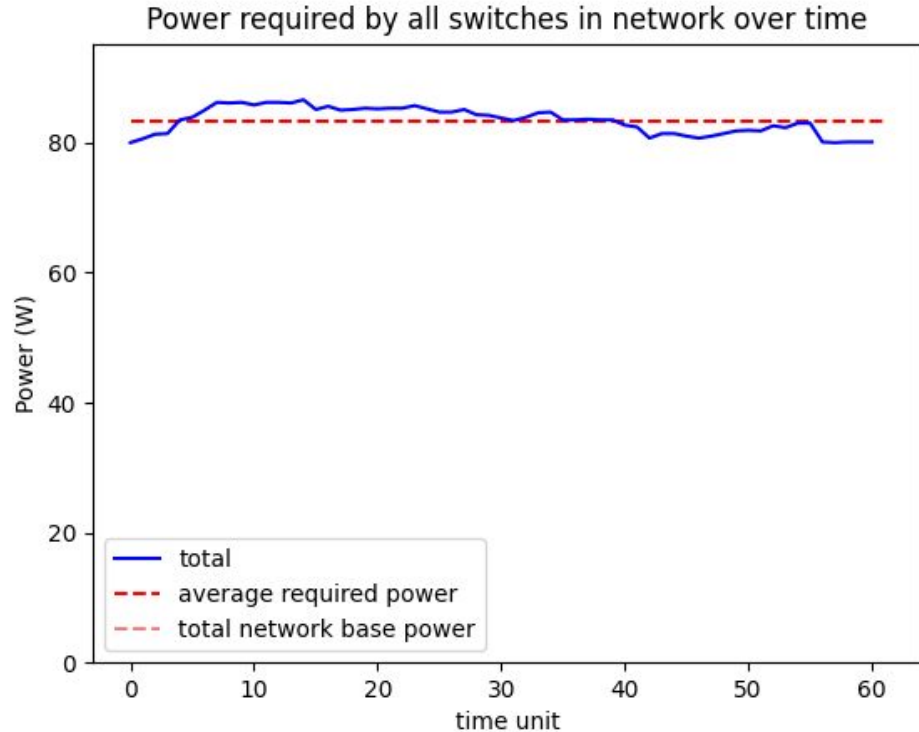
- Bitrate adattivo
 - Range 10Mbps - 1Gbps
- Porte inutilizzate dopo esecuzione STP hanno bitrate 0
- Switch non necessari al routing del traffico spenti

Link attivi dopo esecuzione STP

- Switch 4 diventa centro stella (maggior numero di host connessi e nodo di grado più alto considerando il grafo di soli switch)
- Switch 2 viene disabilitato perché è una foglia senza host connessi

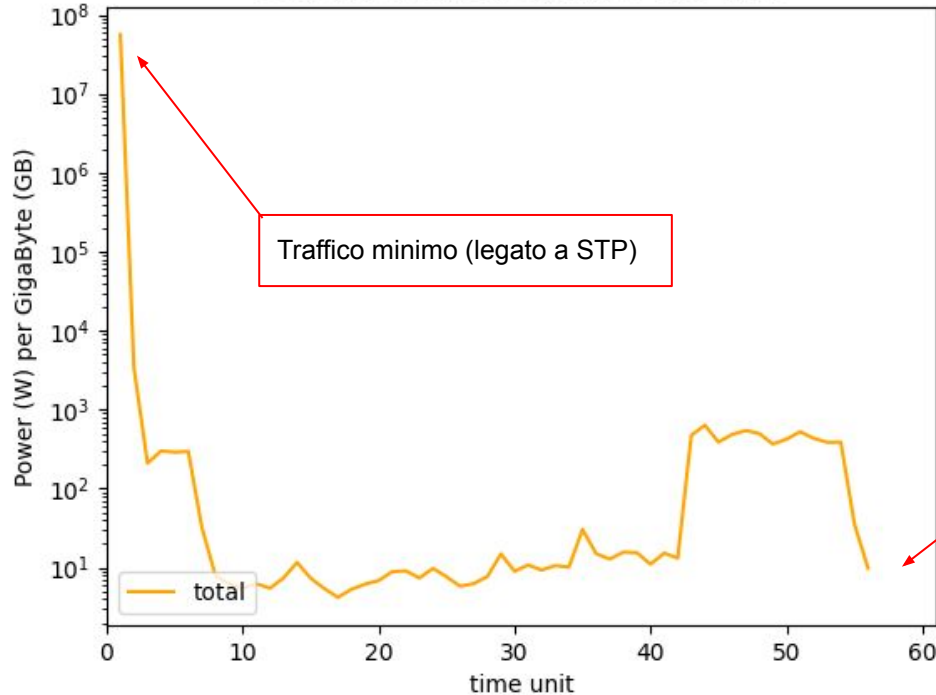


Risultati - Energia utilizzata vs utilizzo della rete



Risultati - Watt per GB

Overall Power per GigaByte over time

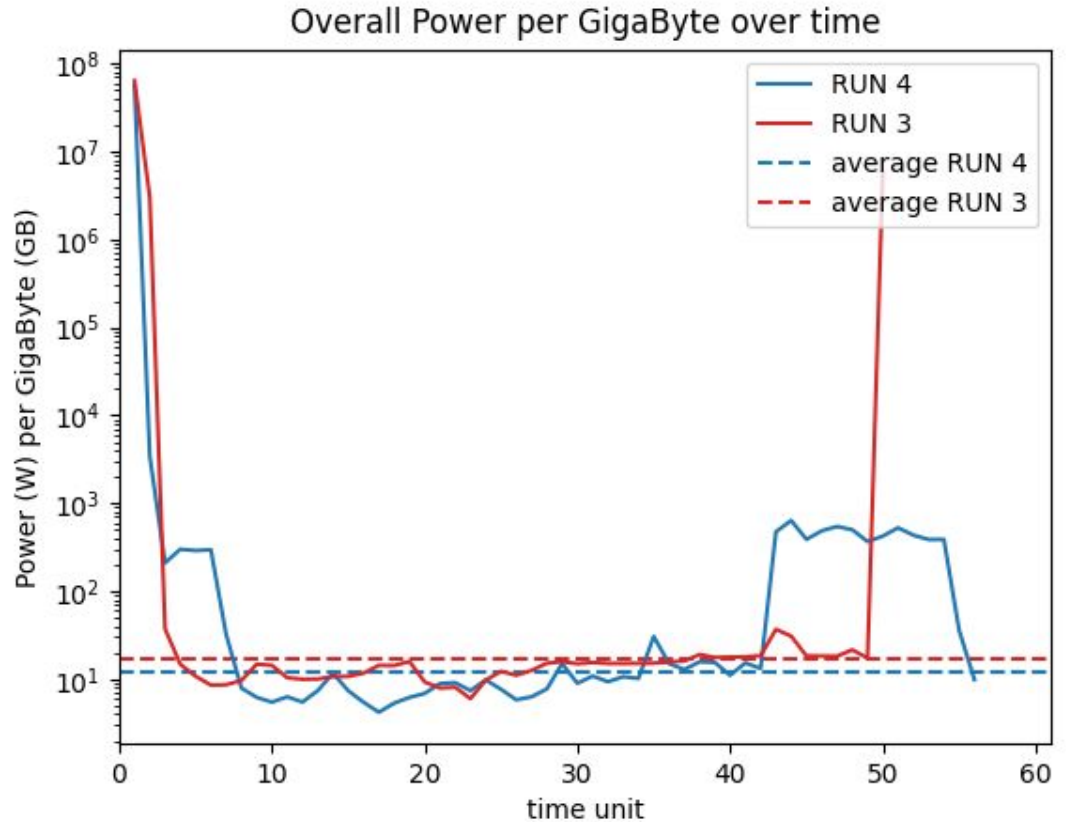


```
Simulation parameters:  
Base port bitrate: 10 Mbps  
ADAPTIVE_BITRATE = True  
DISABLE_UNUSED = True  
10Gbps available = False  
ANALYSIS_DURATION = 60  
====  
AVERAGE POWER = 83.42 W  
MINIMUM OPERATING POWER = 80 W  
%_TIME_AT_MINIMUM_POWER = 3  
AVG_SWITCH_THROUGHPUT = 1.7 GB  
AVG_WATT_PER_GB = 12.28 W
```

CONFRONTO

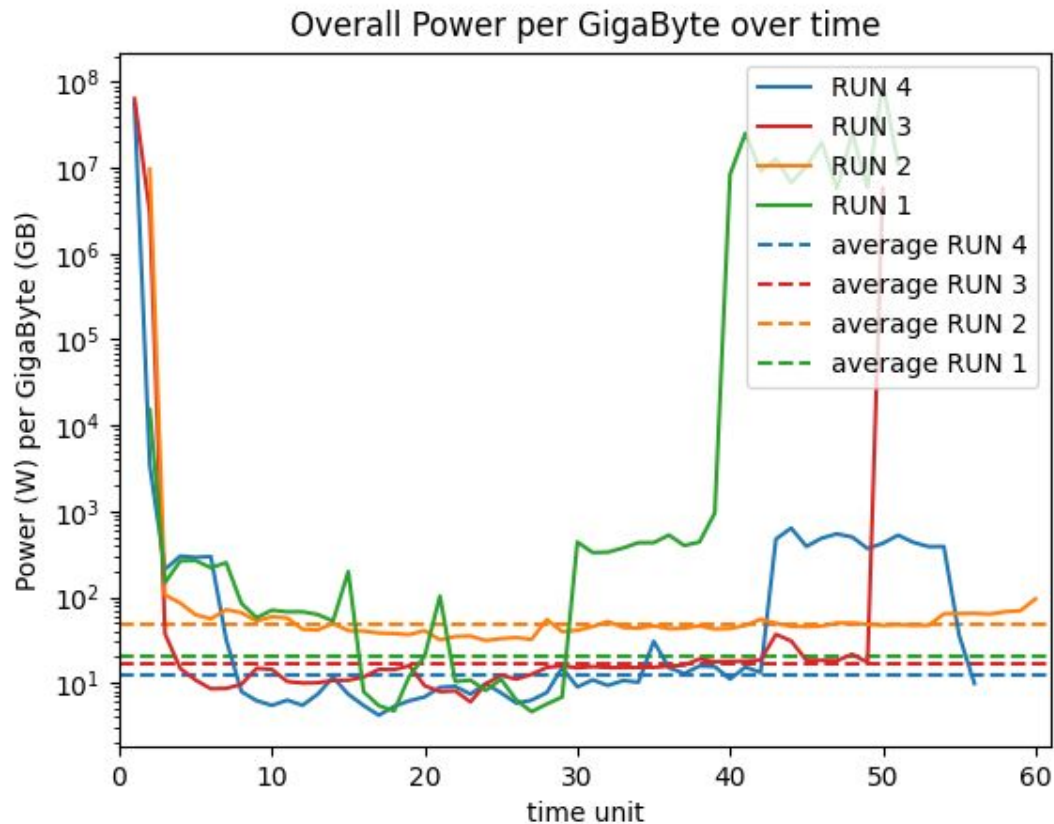
RUN 4 vs RUN 3

- Prestazioni simili
- RUN 4 richiede molta meno energia di RUN 3
- L'energia richiesta per ogni GB scambiato è minore in RUN 4 (grafico)



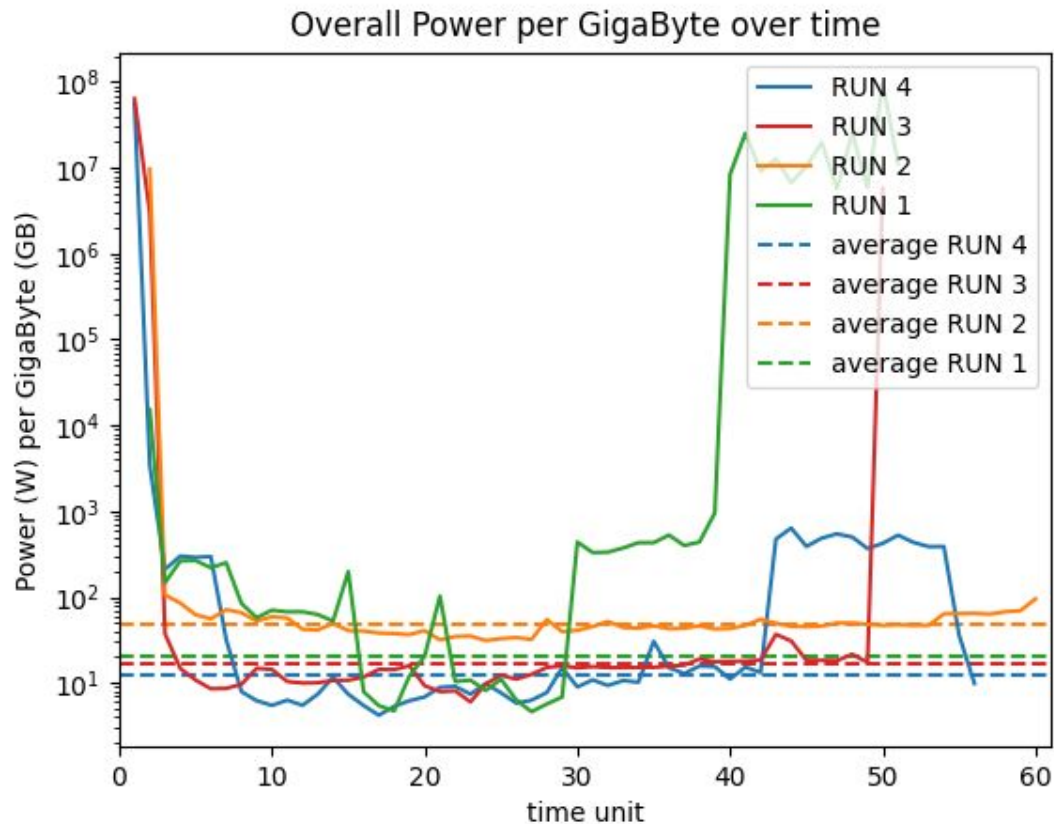
RUN 2

- RUN 2 risulta essere la peggiore per questo pattern di traffico (bitrate troppo basso)
- Il risparmio energetico dato dal basso bitrate delle porte...
- ... è annullato dal maggior tempo richiesto per completare una trasmissione



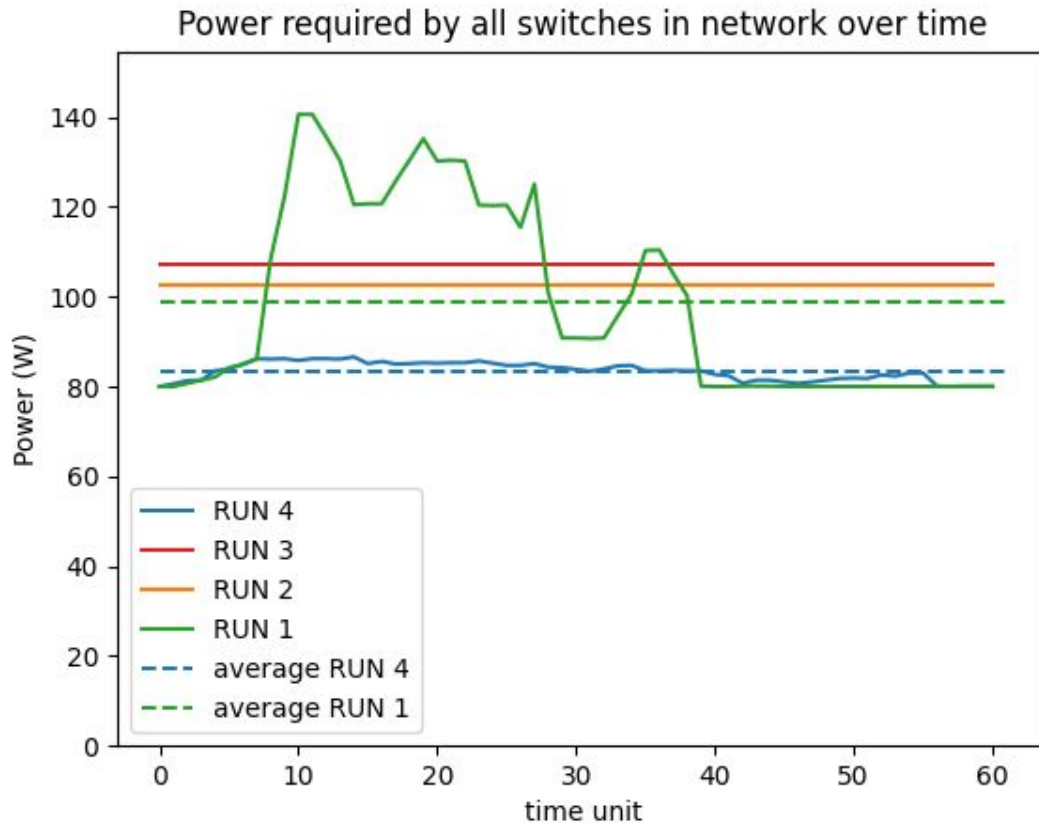
RUN 1

- RUN 1, in termini di Watt per GB, è paragonabile a RUN 3
- Energia richiesta da 10Gbps influenza pesantemente il risultato
- RUN 1 offre il throughput migliore, ma con maggiore dispendio energetico



Energia a confronto

- La misura dell'energia media premia RUN 4
- RUN 1, nonostante i 10Gbps richiede in totale meno energia di RUN 2 e RUN 3
- Il risultato è fortemente dipendente da pattern irregolare del traffico, caratterizzato da “bursts”
- Ragionevole pensare che con traffico regolare e di volume non esagerato, RUN 1 possa diventare più sconsigliabile di RUN 2 e RUN 3, mentre RUN 4 (avendo tutti gli switch accesi) andrebbe a pareggiare RUN 3



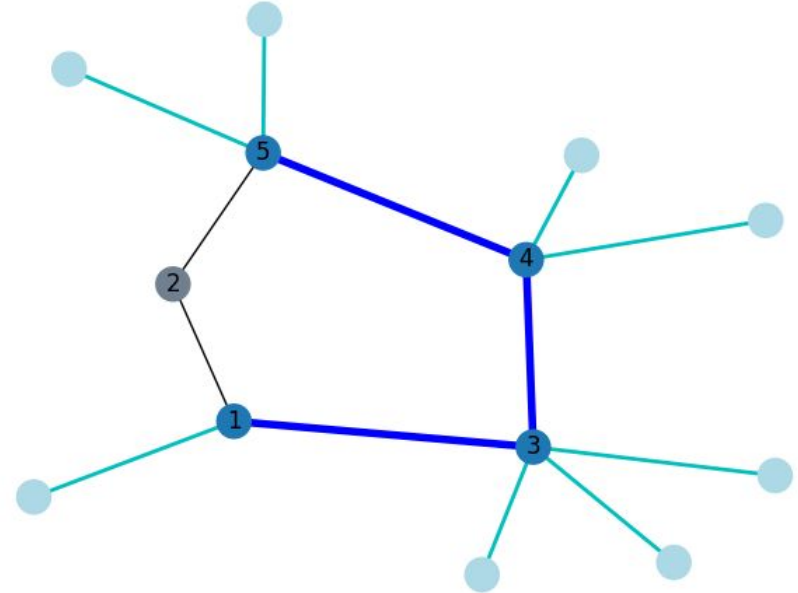
CONSIDERAZIONI

- Se traffico è caratterizzato da momenti di picco intervallati da momenti di totale inattività, le soluzioni adottate in RUN 1 garantiscono il migliore throughput
- Se traffico è di volume costante, le soluzioni classiche (RUN 2 e RUN 3) non sono sconvenienti (bitrate da decidere in base a traffico)
- Per un traffico generico, RUN 4 offre ottimi valori in termini di consumo energetico e prestazioni
- Il confronto tra RUN 1 e RUN 4 evidenzia l'alto consumo energetico necessario per i link a 10Gbps, largamente impiegati in datacenter e strutture di rete complesse

Cosa succede con topologie
ad anello o lineari?

Topologia ad anello

- Non è possibile far funzionare una rete con loop attivi
- Dopo l'esecuzione di STP, una topologia ad anello si comporta come una topologia lineare
- Il traffico segue il pattern indicato all'inizio
- Vengono riproposte solo le simulazioni equivalenti a RUN 3 e RUN 4, per la loro significatività

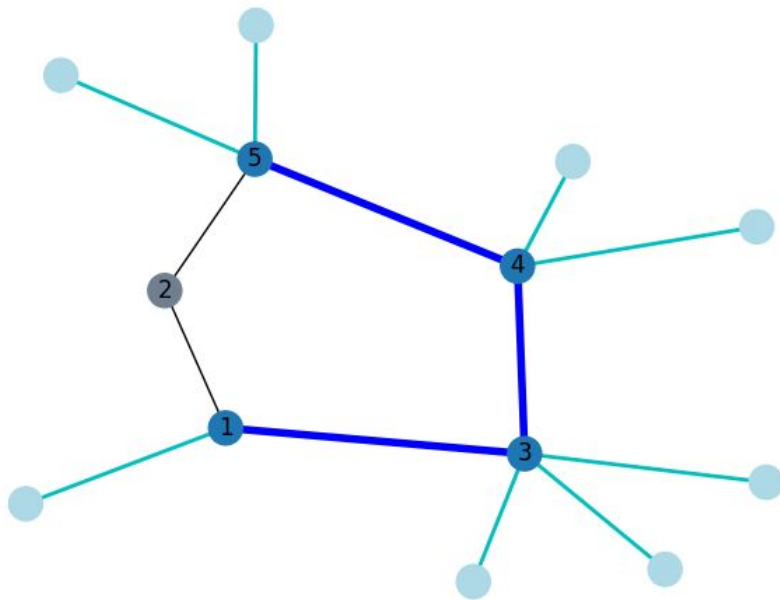


RUN 1 RING

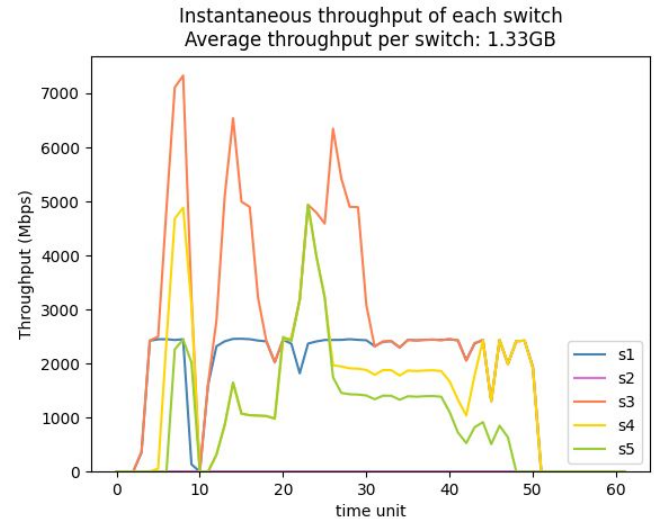
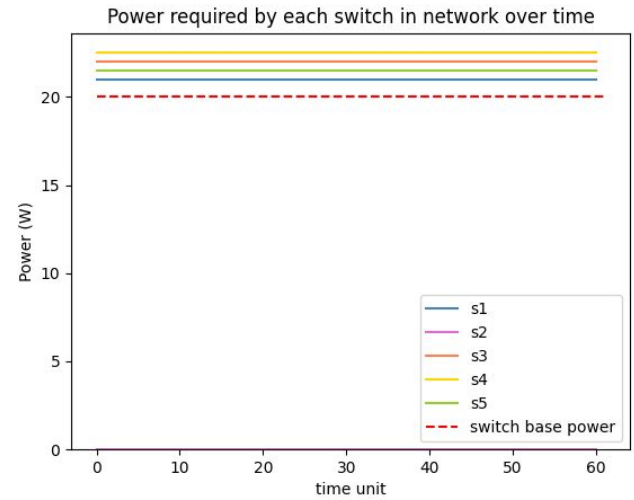
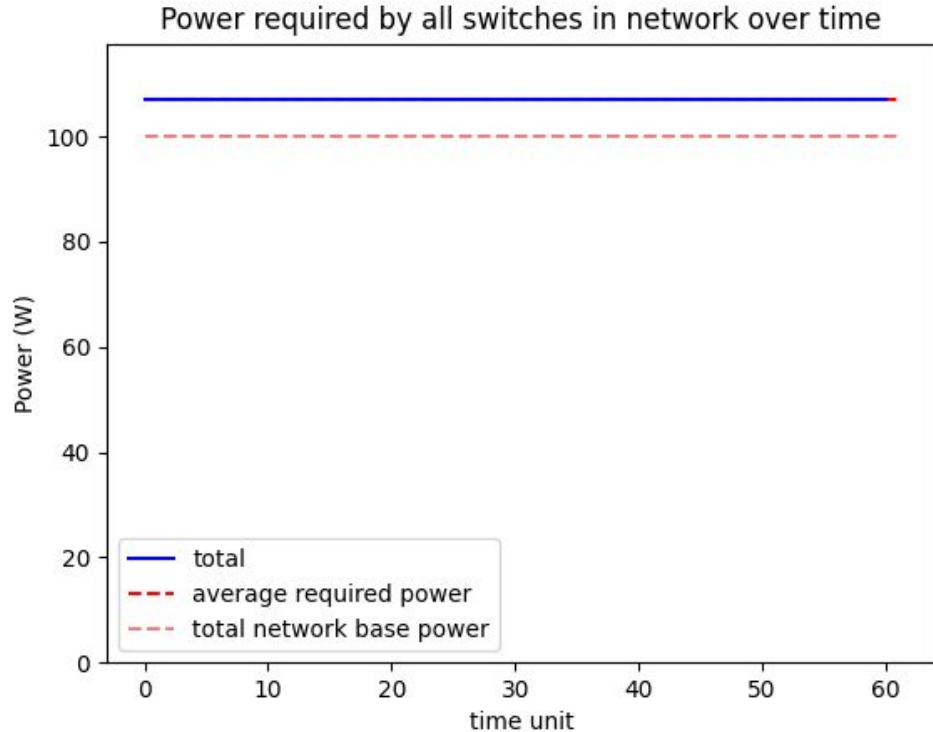
Run “classica”

- Bitrate fissato a 1Gbps
- Tutte le porte accese (anche se i link non vengono usati dopo STP)
- Tutti gli switch accesi

Link attivi dopo esecuzione STP

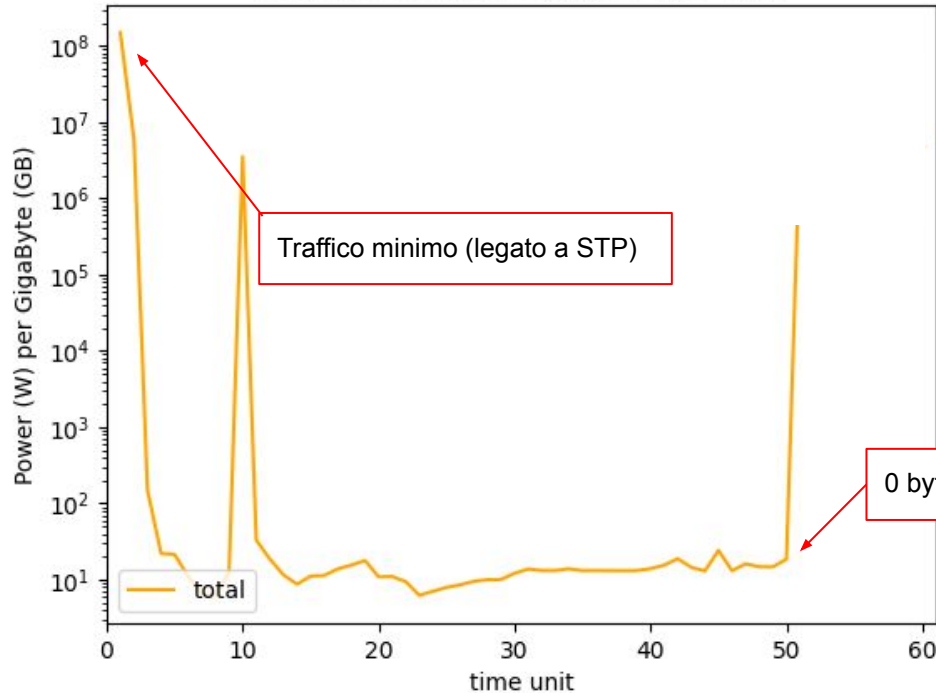


Risultati - Energia utilizzata vs utilizzo della rete



Risultati - Watt per GB

Overall Power per GigaByte over time



```
Simulation parameters:  
Base port bitrate: 1000 Mbps  
ADAPTIVE_BITRATE = False  
DISABLE_UNUSED = False  
10Gbps available = False  
ANALYSIS_DURATION = 60  
====  
AVERAGE POWER = 107.0 W  
MINIMUM OPERATING POWER = 107.0 W  
%_TIME_AT_MINIMUM_POWER = 100  
AVG_SWITCH_THROUGHPUT = 1.33 GB  
AVG_WATT_PER_GB = 16.15 W
```

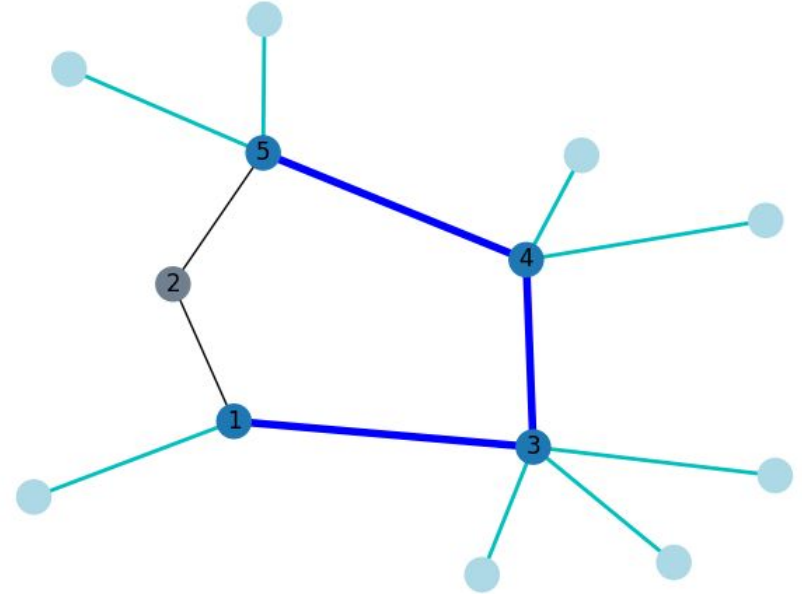
RUN 2 RING

Run ottimizzata

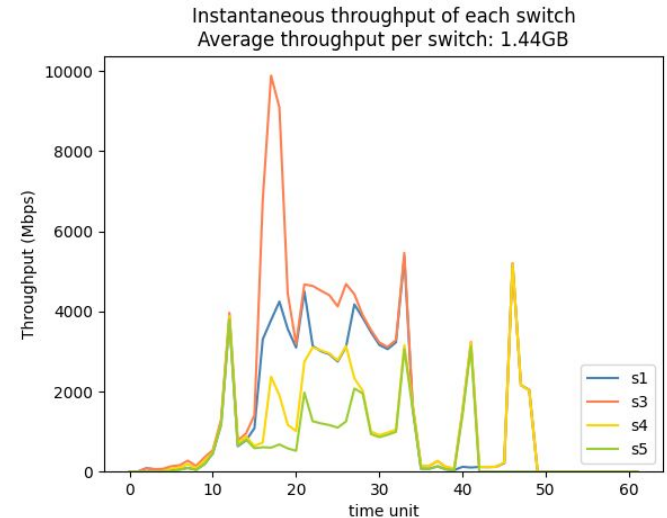
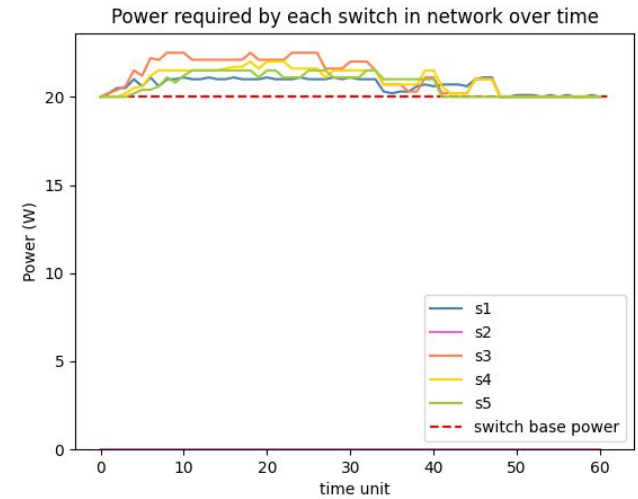
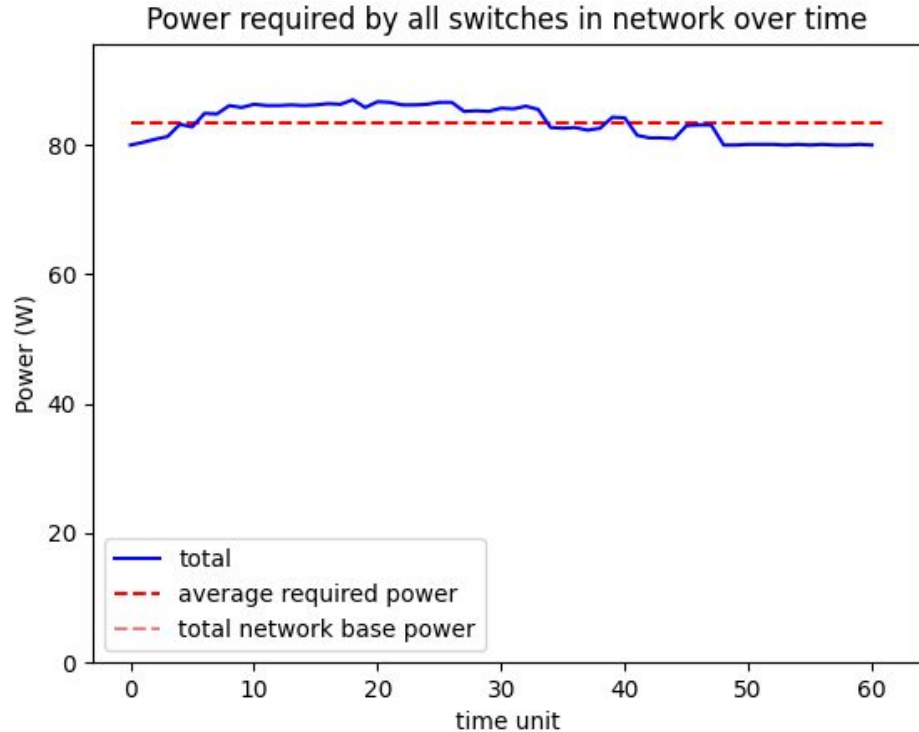
- Bitrate adattivo
 - Range 10Mbps - 1Gbps
- Porte inutilizzate dopo esecuzione STP hanno bitrate 0
- Switch non necessari al routing del traffico spenti

Link attivi dopo esecuzione STP

- Switch 2 viene disabilitato perché è una foglia senza host connessi

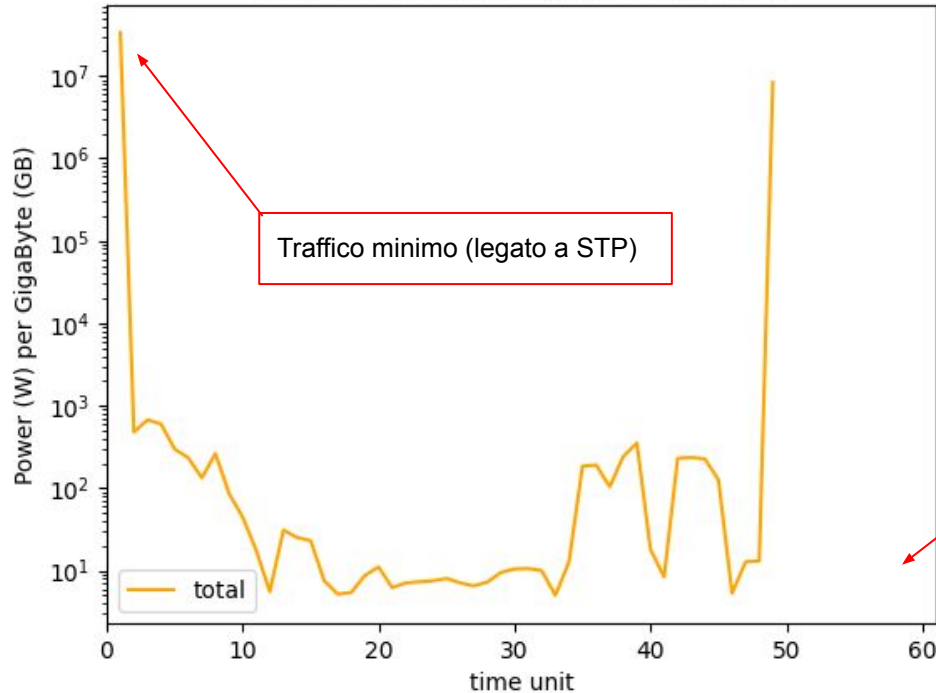


Risultati - Energia utilizzata vs utilizzo della rete



Risultati - Watt per GB

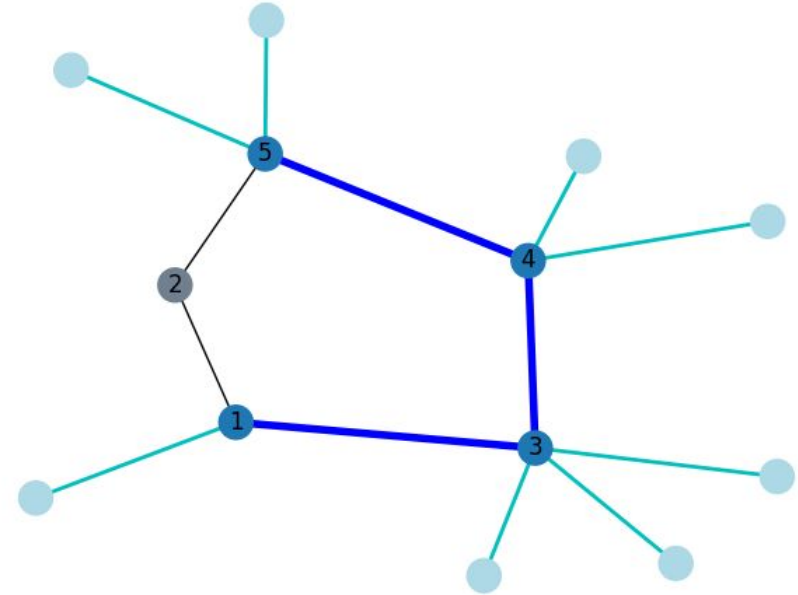
Overall Power per GigaByte over time



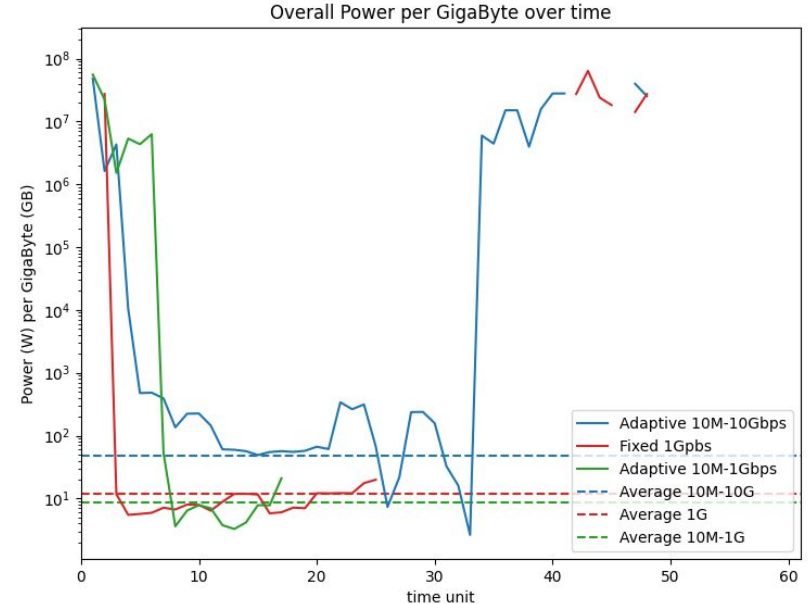
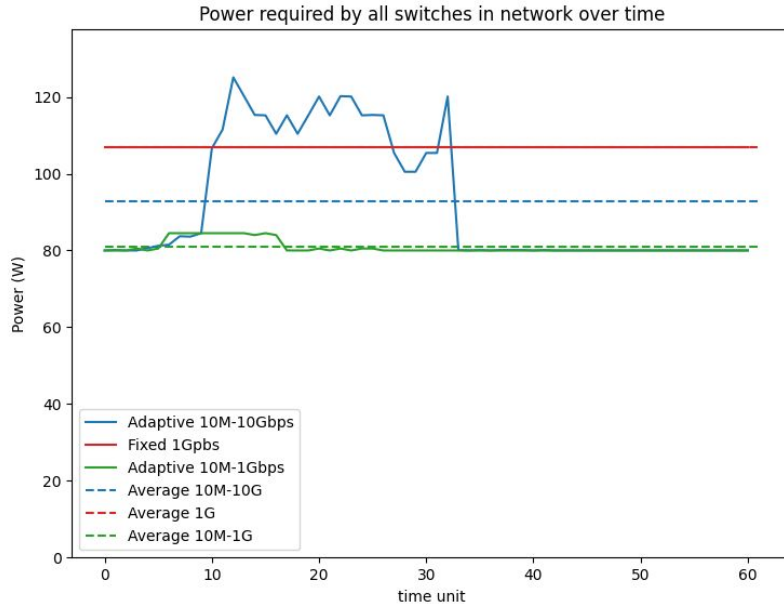
```
Simulation parameters:  
Base port bitrate: 10 Mbps  
ADAPTIVE_BITRATE = True  
DISABLE_UNUSED = True  
10Gbps available = False  
ANALYSIS_DURATION = 60  
====  
AVERAGE POWER = 83.48 W  
MINIMUM OPERATING POWER = 80 W  
%_TIME_AT_MINIMUM_POWER = 13  
AVG_SWITCH_THROUGHPUT = 1.44 GB  
AVG_WATT_PER_GB = 14.49 W
```

Topologia ad anello / lineare

- I risultati possono essere fortemente influenzati dalle sorgenti e destinazioni del traffico
- Un traffico da un host collegato a s5 a uno collegato a s1 comporterà l'utilizzo di porte in tutti gli switch, a meno di ricalcolare convenientemente lo spanning tree

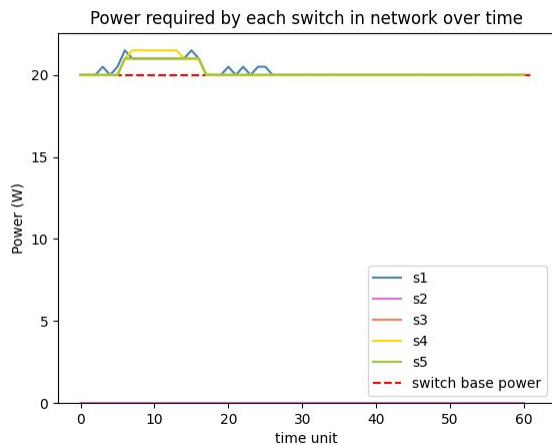


Caso particolare 1: traffico da un capo all'altro

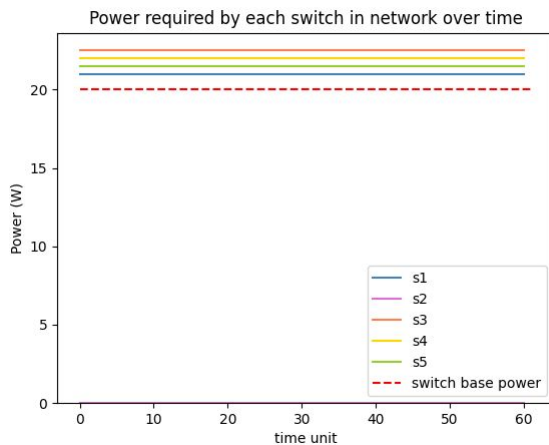


Caso particolare 1: traffico da un capo all'altro

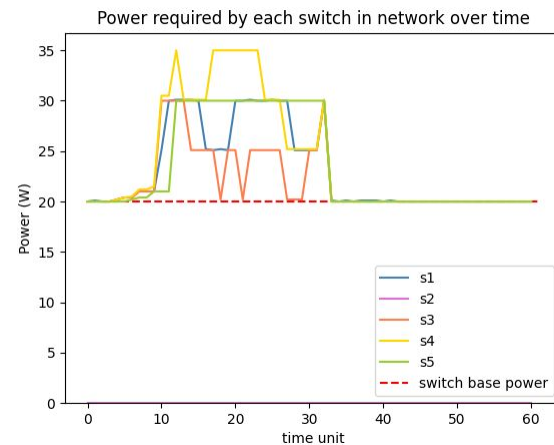
Bitrate adattivo 10Mbps - 1Gbps
Switch e porte non selezionati da STP spenti



Bitrate fissato 1Gbps



Bitrate adattivo 10Mbps - 10Gbps
Switch e porte non selezionati da STP spenti

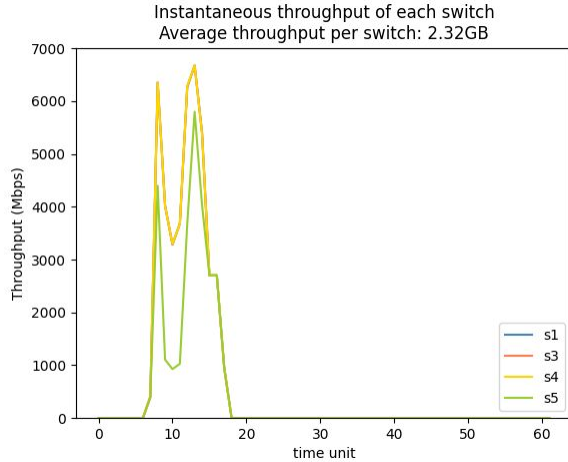


Come nei test precedenti, l'uso di link a 10Gbps risulta ancora una volta sconsigliato.

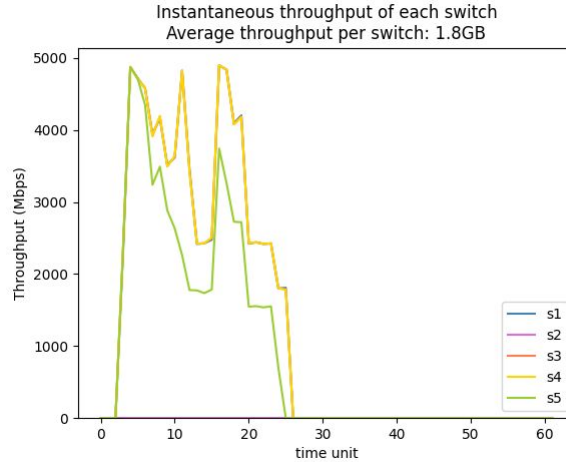
Il bitrate adattivo fino a 1Gbps è ancora una volta conveniente rispetto al bitrate fissato a 1Gbps, con prestazioni equiparabili.

Caso particolare 1: traffico da un capo all'altro

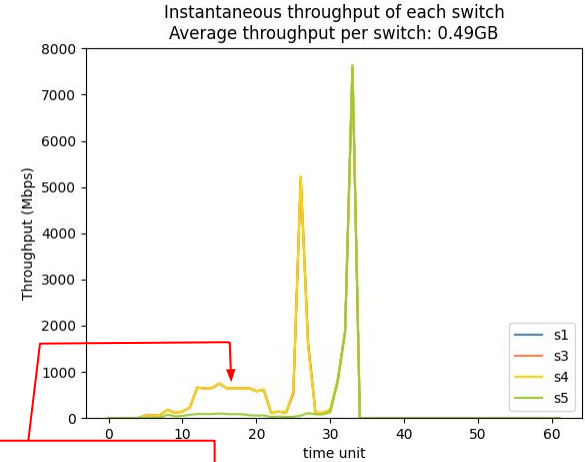
Bitrate adattivo 10Mbps - 1Gbps
Switch e porte non selezionati da STP spenti



Bitrate fissato 1Gbps



Bitrate adattivo 10Mbps - 10Gbps
Switch e porte non selezionati da STP spenti



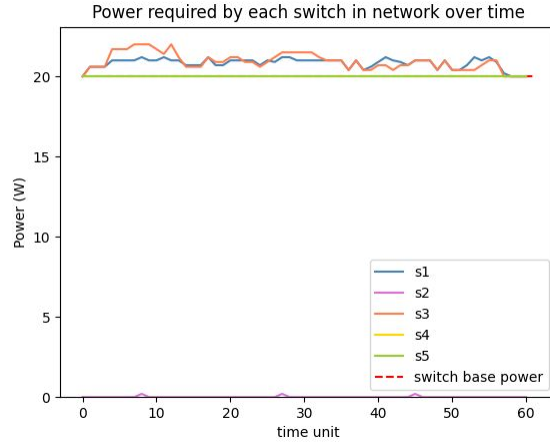
Errore nella generazione del traffico, da non considerare.

Come nei test precedenti, l'uso di link a 10Gbps risulta ancora una volta sconsigliato.

Il bitrate adattivo fino a 1Gbps è ancora una volta conveniente rispetto al bitrate fissato a 1Gbps, con prestazioni equiparabili.

Caso particolare 2: traffico tra nodi adiacenti

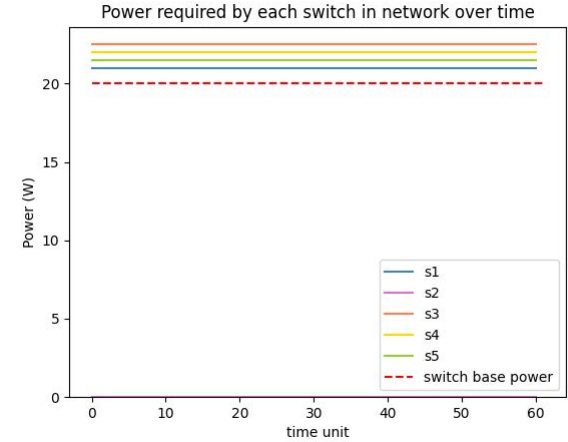
Bitrate adattivo 10Mbps - 1Gbps
Switch e porte non selezionati da STP spenti



Nella configurazione con
bitrate adattivo, solo i 2
switch coinvolti nel routing
consumano corrente.

Il consumo di ogni switch
a sinistra sarà al massimo
pari al grafico di destra,
con prestazioni
equivalenti, come già
ampiamente visto negli
esempi precedenti.

Bitrate fissato 1Gbps



Possibili miglioramenti futuri

- Esecuzione periodica di STP in base a statistiche sui flussi di traffico
- Machine Learning per misura di “sensitivity” dinamica
- Spegnimento anche delle porte attive e riattivazione basata su rilevazione di pacchetti droppati, trovando il giusto compromesso tra risparmio energetico e inevitabile calo delle prestazioni

