

Dipartimento dell'Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica



ANALISI DELL'INFRASTRUTTURA DI RETE 5G IN UN CASO D'USO REALE

Relatore: **Prof. Sisinni Emiliano**

Studente: **Enrico Brunelli**

Matricola: **715618**

Indice

Introduzione

1. Obiettivi e Metodologie

2. Infrastruttura 5G

3. Setup Sperimentale

4. Risultati Ottenuti

5. Analisi dei Risultati

Conclusioni

Introduzione

Contesto:

La **tecnologia 5G**, definita dal 3GPP, è progettata per supportare **nuove caratteristiche**, tra le quali:

- **Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra Reliable and Low Latency Communications (URLLC) e Massive Internet of Things (mIoT).**
- **Network Slicing e Edge Computing.**
- **Architetture Open-Source.**

L'introduzione di **nuove caratteristiche e specifiche** permette l'utilizzo del sistema 5G in differenti settori, e applicazioni, denominati «**verticals**»:



Fig. 1: Guida Autonoma.



Fig. 2: Smart Grid.



Fig. 3: Industrial IoT

Obiettivi:

Il lavoro svolto mira a **esplorare** e **testare** la capacità delle reti 5G. In particolare, ha come finalità di:

1

Ottenere un quadro generale del funzionamento dell'infrastruttura 5G.

2

Esplorare le possibilità offerte dalle **soluzioni open-source** sia del **Core Network** sia della **Radio Access Network**, come il progetto **OpenAirInterface (OAI)**.

3

Realizzare un setup sperimentale in laboratorio in modo da **analizzare le prestazioni** della rete in **diversi scenari operativi** e **condizioni di carico**.

Metodologie:

L'approccio ha coinvolto diverse fasi:

1. **Studio della letteratura.**
2. **Progettazione e implementazione** del setup sperimentale in laboratorio.
3. **Sviluppo e utilizzo di software specifici di test** sull'infrastruttura 5G.
4. **Analisi dei risultati** ottenuti al passo precedente.
5. **Descrizione delle conclusioni** relative ai risultati ottenuti.
6. **Illustrazione dei possibili studi futuri** derivanti da tale lavoro.

Metodologie:

L'approccio ha coinvolto diverse fasi:

1. **Studio della letteratura.**
2. **Progettazione e implementazione** del setup sperimentale in laboratorio.
3. **Sviluppo e utilizzo di software specifici di test** sull'infrastruttura 5G.
4. **Analisi dei risultati** ottenuti al passo precedente.
5. **Descrizione delle conclusioni** relative ai risultati ottenuti.
6. **Illustrazione dei possibili studi futuri** derivanti da tale lavoro.



Metodologie:

L'approccio ha coinvolto diverse fasi:

1. **Studio della letteratura.**
2. **Progettazione e implementazione** del setup sperimentale in laboratorio.
3. **Sviluppo e utilizzo di software specifici di test** sull'infrastruttura 5G.
4. **Analisi dei risultati** ottenuti al passo precedente.
5. **Descrizione delle conclusioni** relative ai risultati ottenuti.
6. **Illustrazione dei possibili studi futuri** derivanti da tale lavoro.



Metodologie:

L'approccio ha coinvolto diverse fasi:

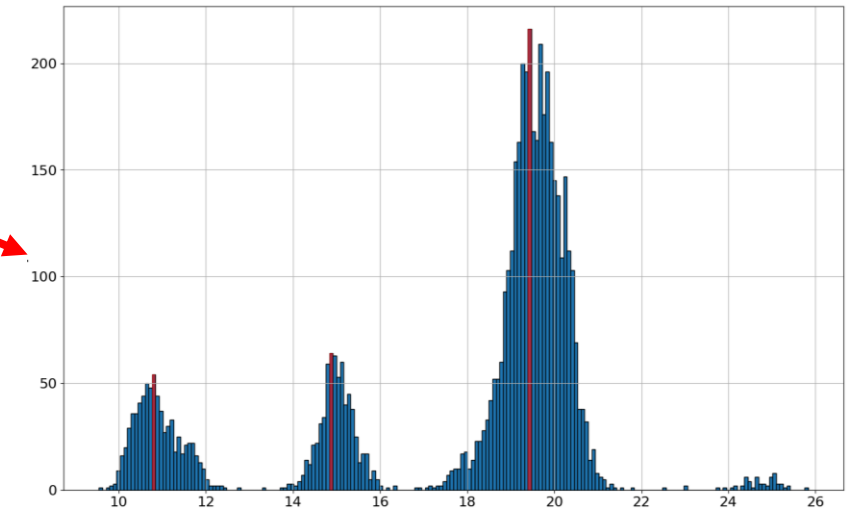
1. **Studio della letteratura.**
2. **Progettazione e implementazione** del setup sperimentale in laboratorio.
3. **Sviluppo e utilizzo di software specifici di test** sull'infrastruttura 5G.
4. **Analisi dei risultati** ottenuti al passo precedente.
5. **Descrizione delle conclusioni** relative ai risultati ottenuti.
6. **Illustrazione dei possibili studi futuri** derivanti da tale lavoro.



Metodologie:

L'approccio ha coinvolto diverse fasi:

1. **Studio della letteratura.**
2. **Progettazione e implementazione** del setup sperimentale in laboratorio.
3. **Sviluppo e utilizzo di software specifici di test** sull'infrastruttura 5G.
4. **Analisi dei risultati** ottenuti al passo precedente.
5. **Descrizione delle conclusioni** relative ai risultati ottenuti.
6. **Illustrazione dei possibili studi futuri** derivanti da tale lavoro.



L'infrastruttura 5G può essere suddivisa in **due sotto-sistemi** principali:

1. **Next Generation Radio Access Network (NG-RAN)**: insieme delle stazioni base, **gNodeB (gNB)**.
2. **5G Core Network (5GC)**: architettura **service-based**, che permette la **Network Function Virtualization (NFV)**.

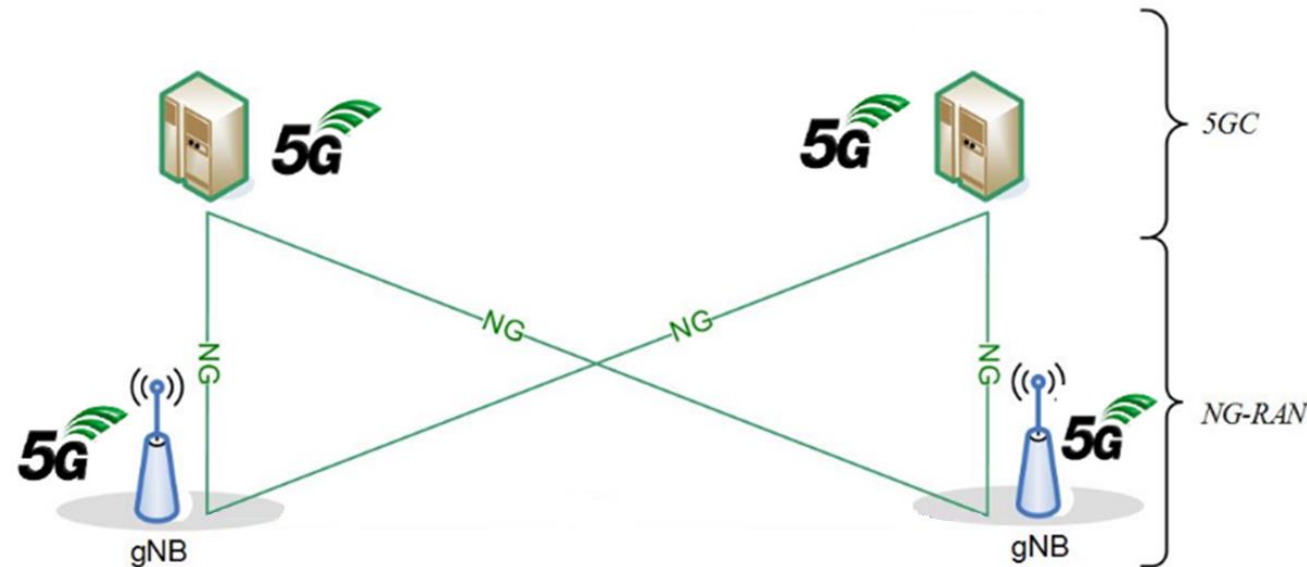


Fig. 4: Infrastruttura 5G in configurazione Standalone(3GPP Release 15).

Firecell Labkit 40:

Questo kit **integra** sia il **Core Network** che la **Radio Access Network** sono **basati** sui progetti open-source di **OpenAirInterface** integrati nel **Desktop PC**.

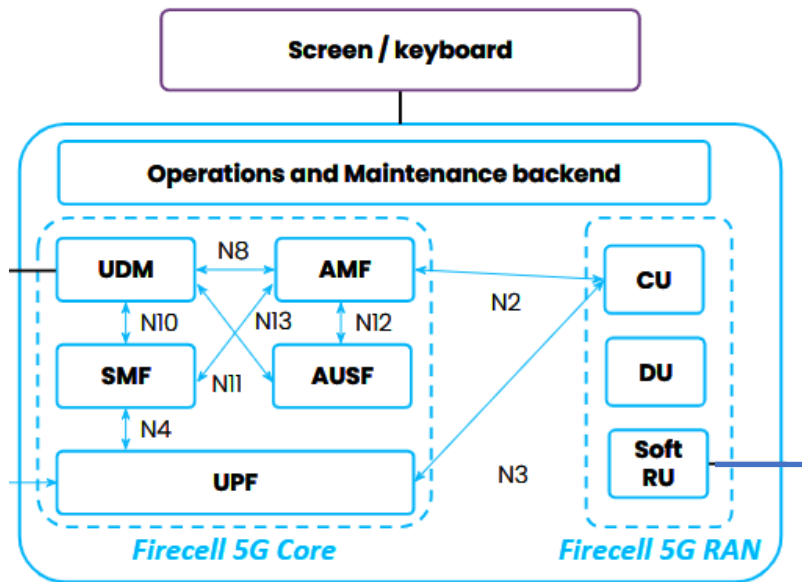


Fig. 5: Componenti implementati nel Firecell Desktop PC



Fig. 6: Nodo radio SDR USRP B200

Desktop PC:

- Intel Core i9-12900K (3.2 GHz / 5.2 GHz).
- RAM 32 GB (16 Core).
- Ambiente virtualizzazione: **Docker Compose**
- NF implementati: **AMF, SMF, UDM, AUSF e UPF.**

Software Defined Radio (SDR) B200:

- Banda **N78: 3.3 GHz ÷ 3.8 GHz.**
- Larghezza di banda: **40 MHz.**

Dispositivi mobili:



Fig. 7: Smartphone CORE – Z5.

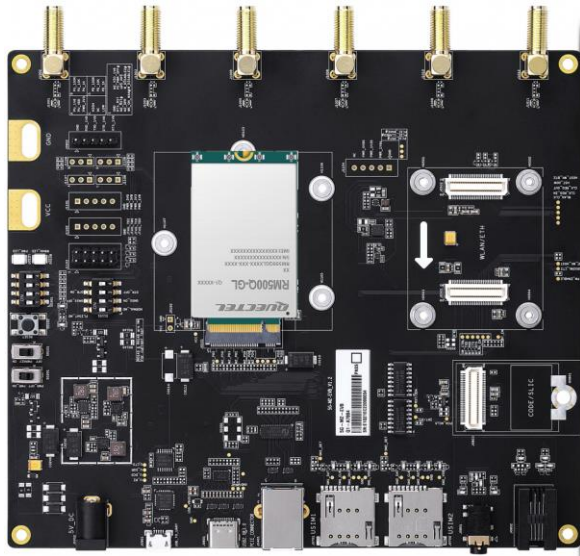


Fig. 8: Scheda Quectel EVB.

CROSSCALL CORE-Z5:

- Sistema Operativo Android.
- Standard 5G: NR.

QUECTEL EVB:

- **Modulo Quectel RM500Q-GL:** supporto per **connettività 5G NR**.
- **USB 3.0/3.1:** per **alimentazione** e la comunicazione tramite **AT+COMMAND**.
- **Configurato** per operare come **modem** per connettere gli UE.

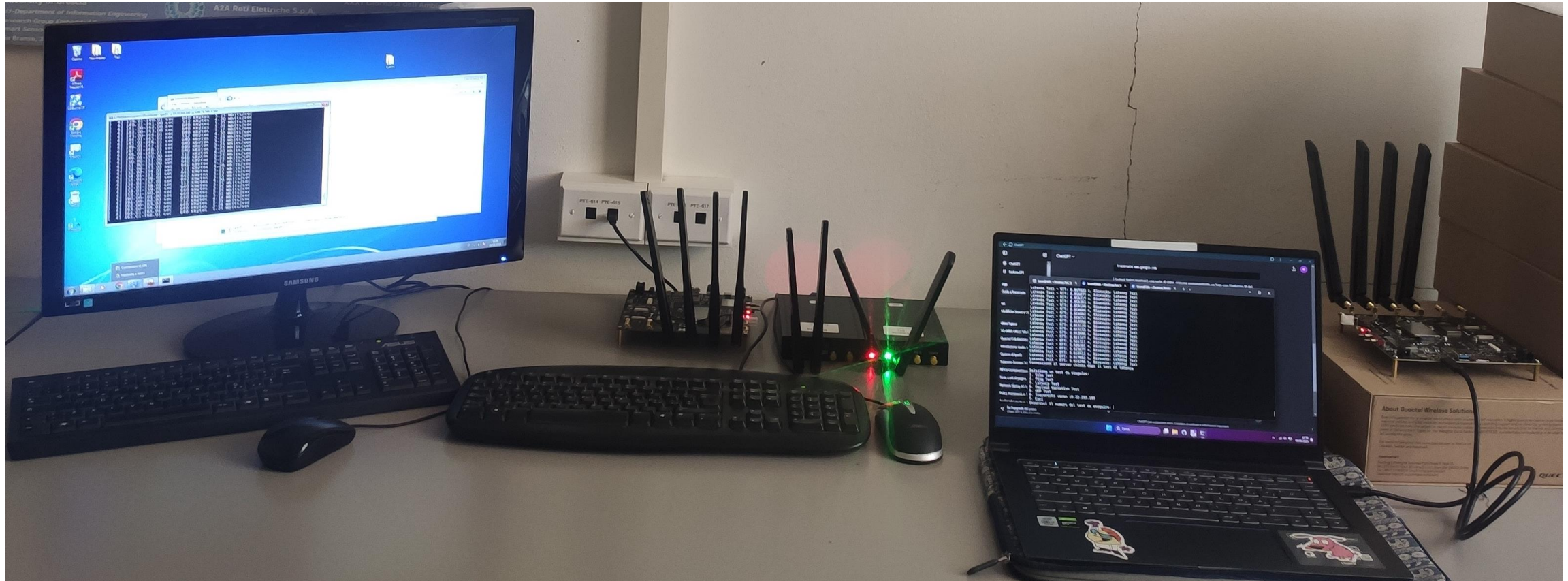
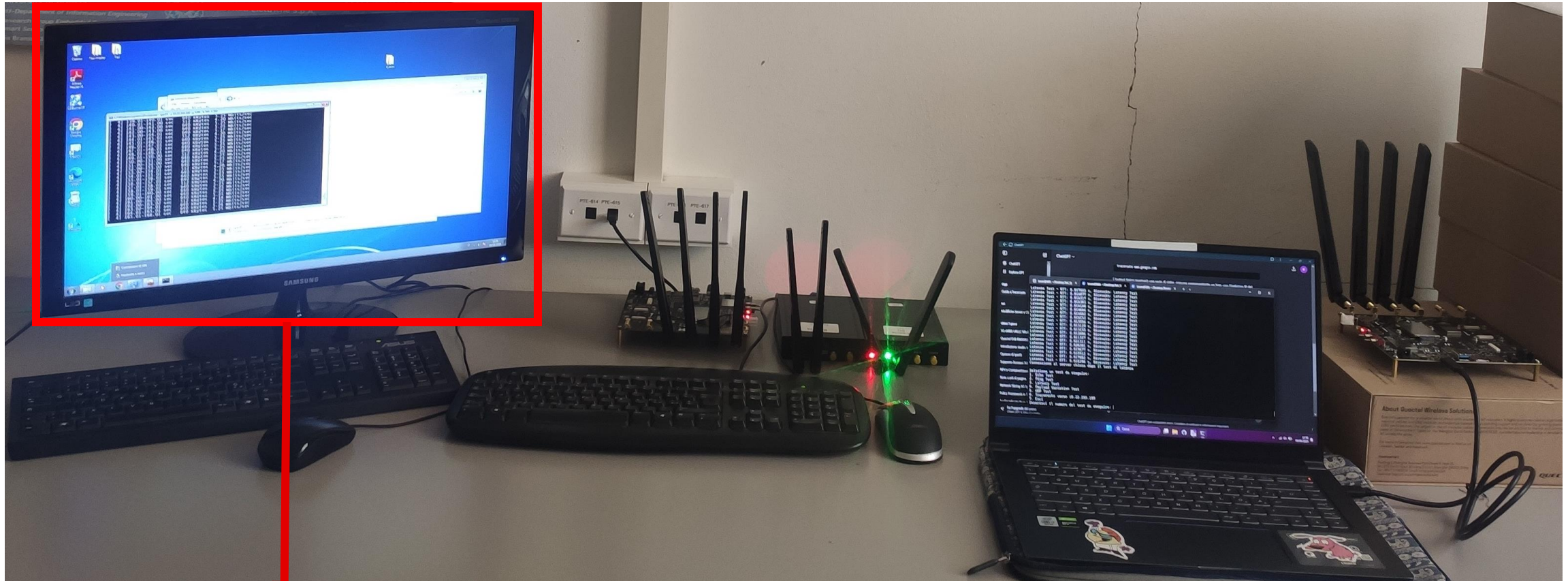
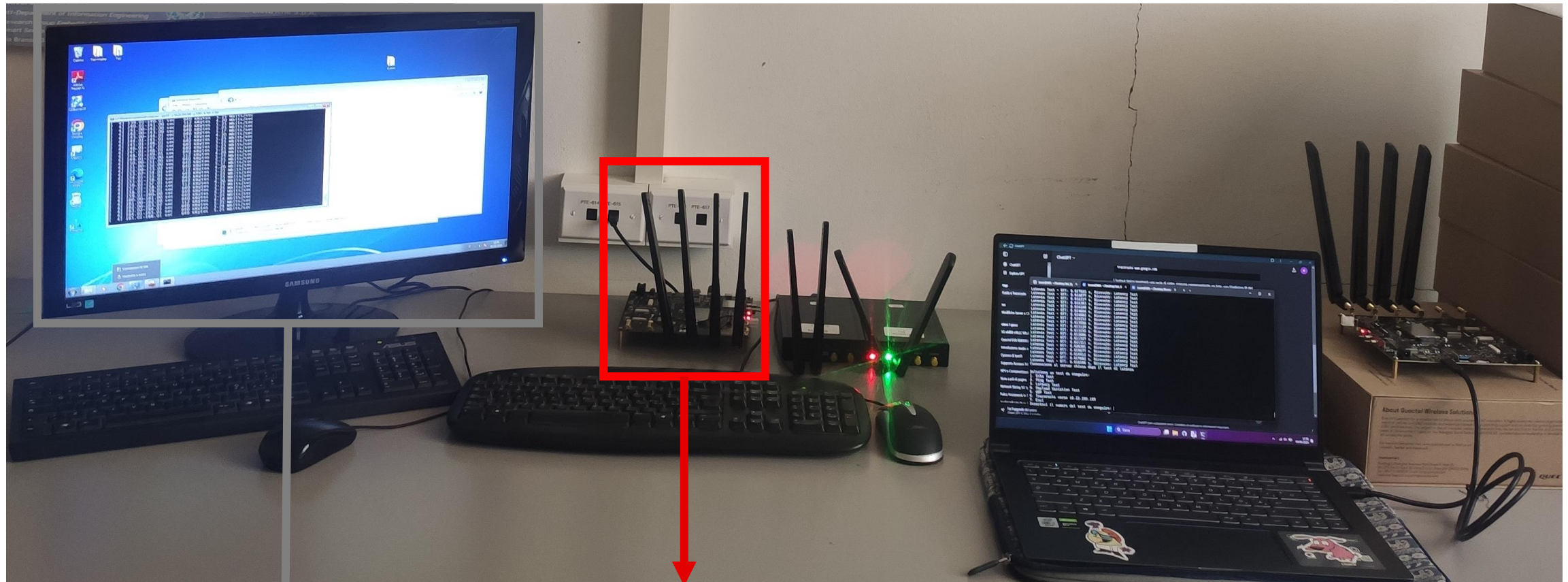


Fig. 9: Setup in ambiente di laboratorio in fase di test.



Firecell Desktop PC

Fig. 9: Setup in ambiente di laboratorio in fase di test.

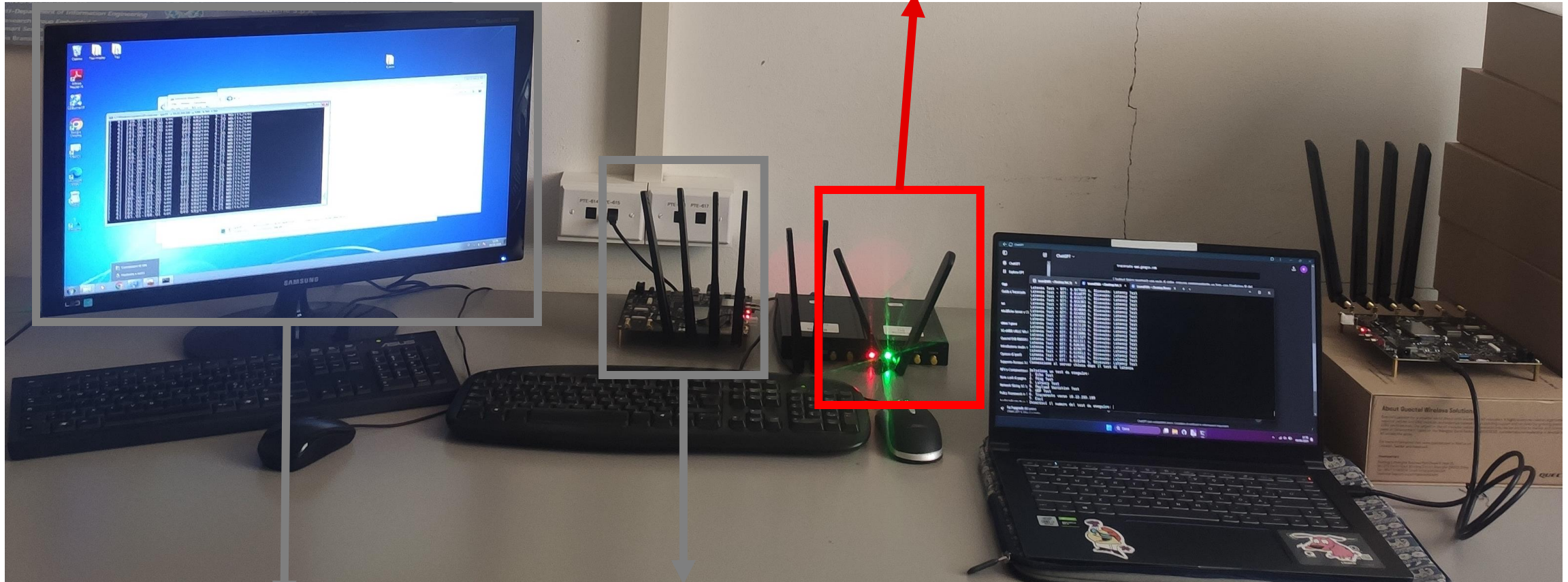


Firecell Desktop PC

Quectel EVB

Fig. 9: Setup in ambiente di laboratorio in fase di test.

USRP B200 (gNB)



Firecell Desktop PC

Quectel EVB

Fig. 9: Setup in ambiente di laboratorio in fase di test.

USRP B200 (gNB)

PC + Quectel EVB

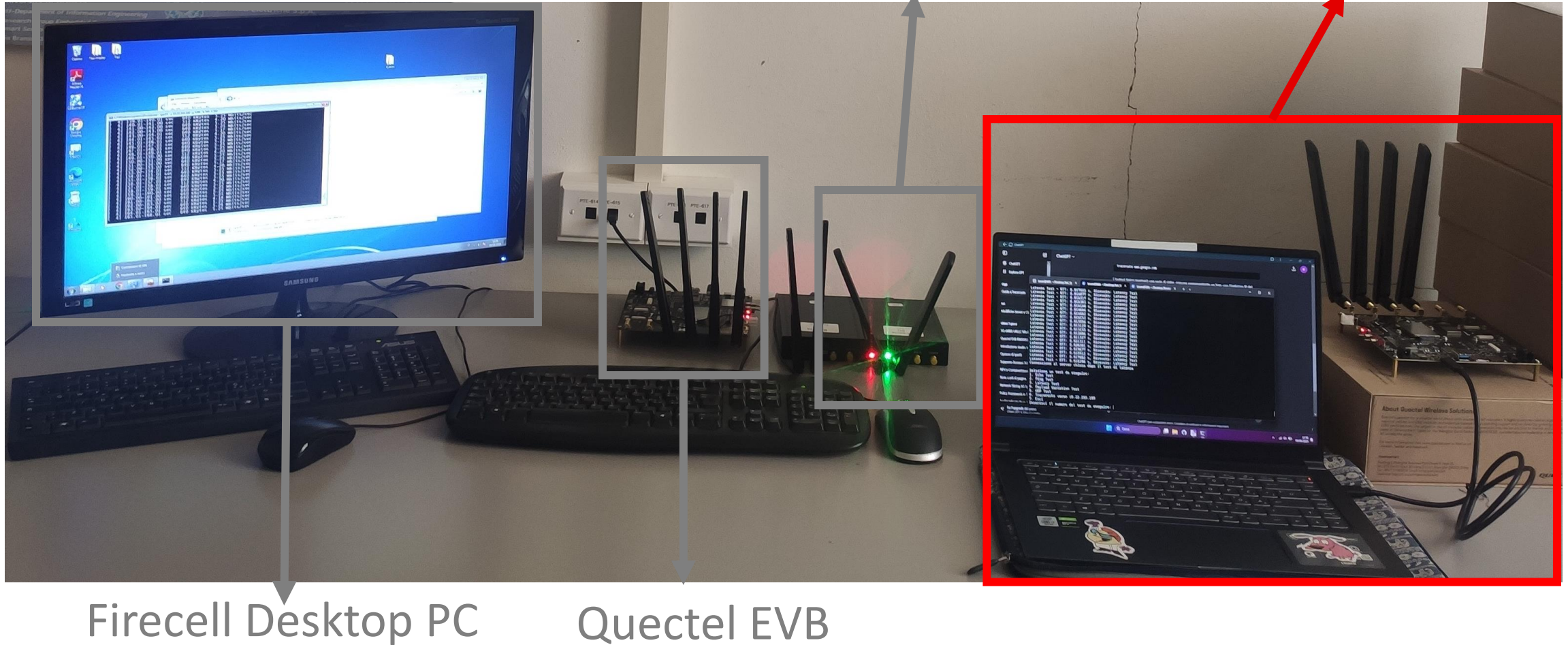


Fig. 9: Setup in ambiente di laboratorio in fase di test.

Al fine di **valutare le caratteristiche e specifiche** della tecnologia 5G, è stato progettato e realizzato un **setup sperimentale** in ambiente di laboratorio.

Il **traffico** di rete è stato **analizzato** avvalendosi di:

- **Client TCP/UDP Python**
- **Server TCP/UDP Python**
- **Client/Server Iperf3**
- **Wireshark (Protocol Analyzer)**

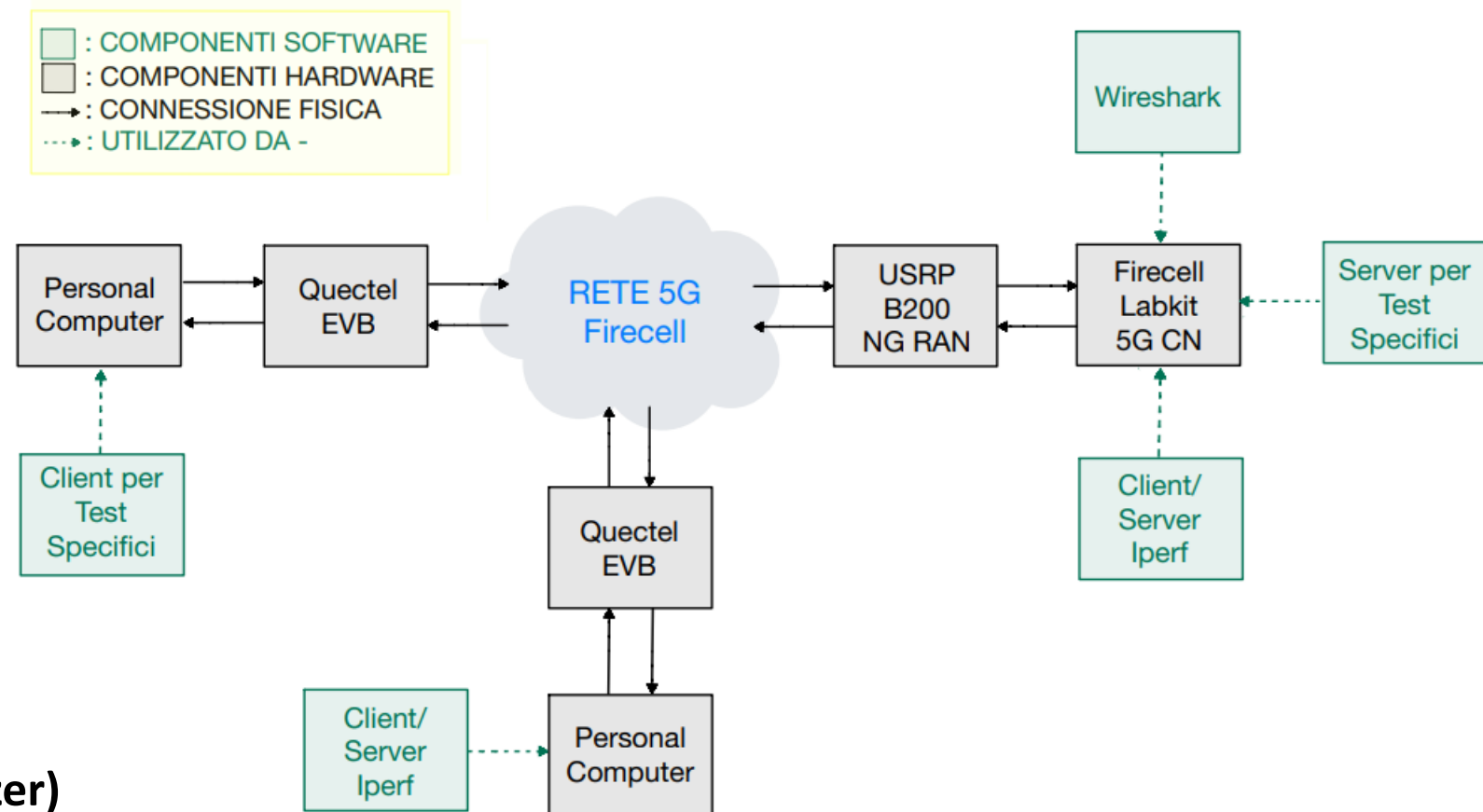


Fig. 10: Schema a blocchi del setup sperimentale.

Applicativi di Test:

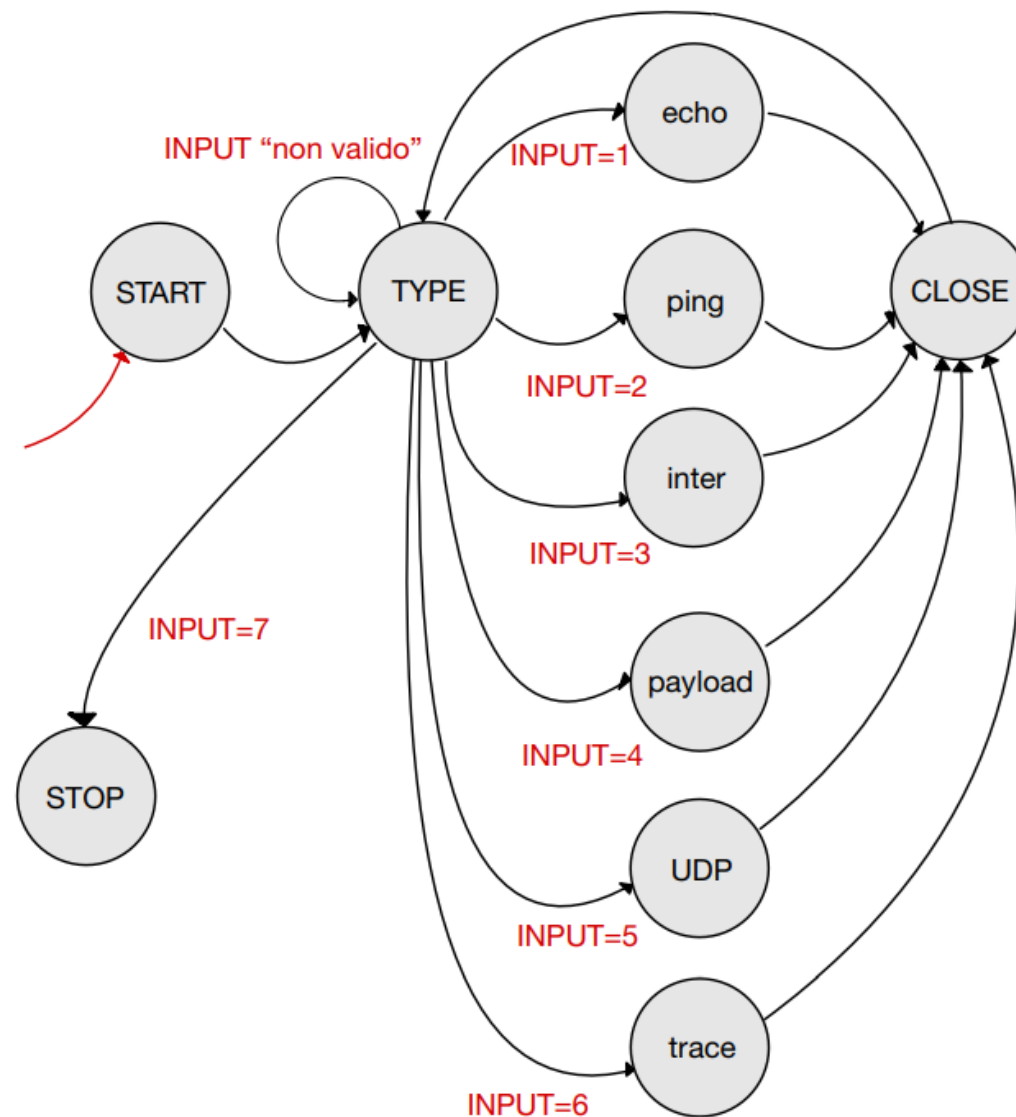


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Applicativi di Test:

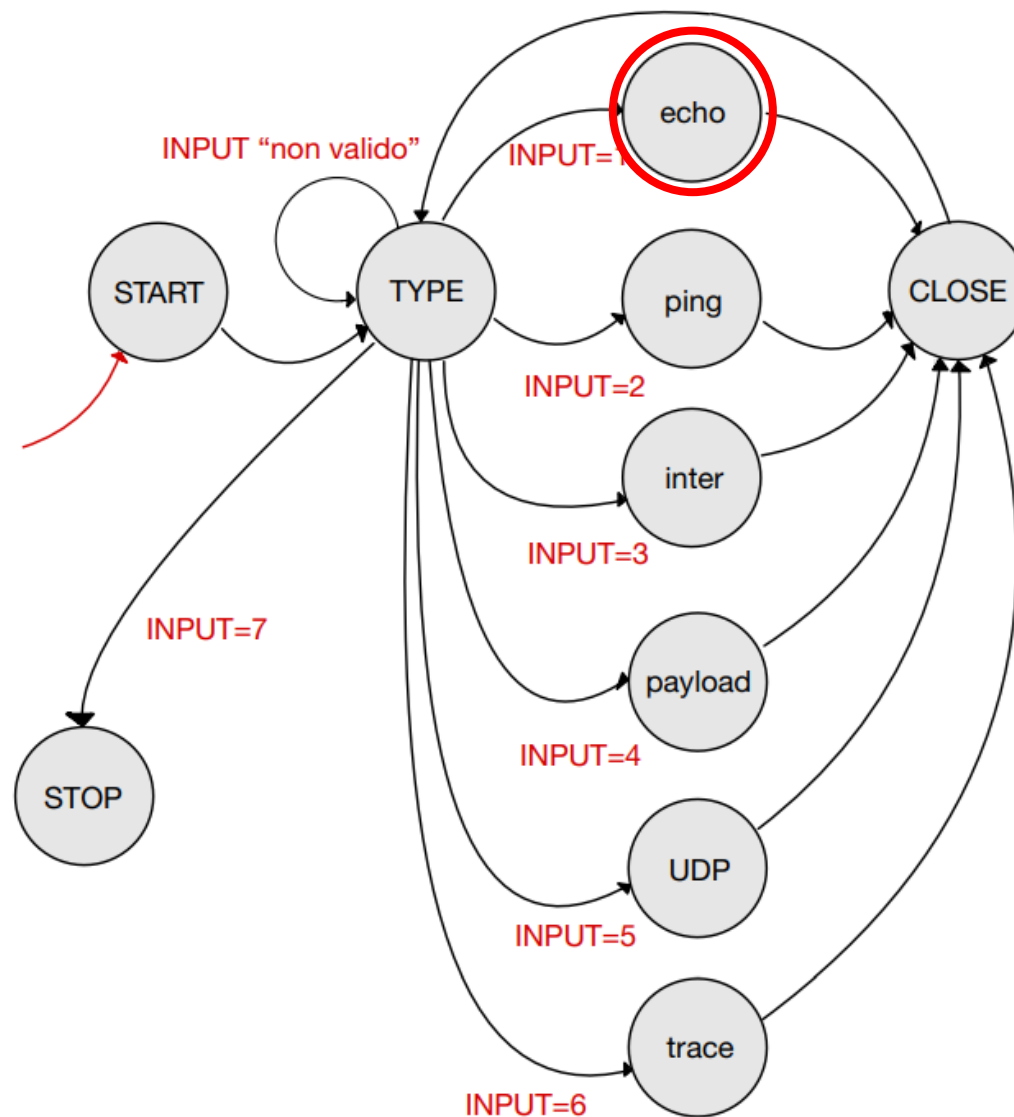


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Applicativi di Test:

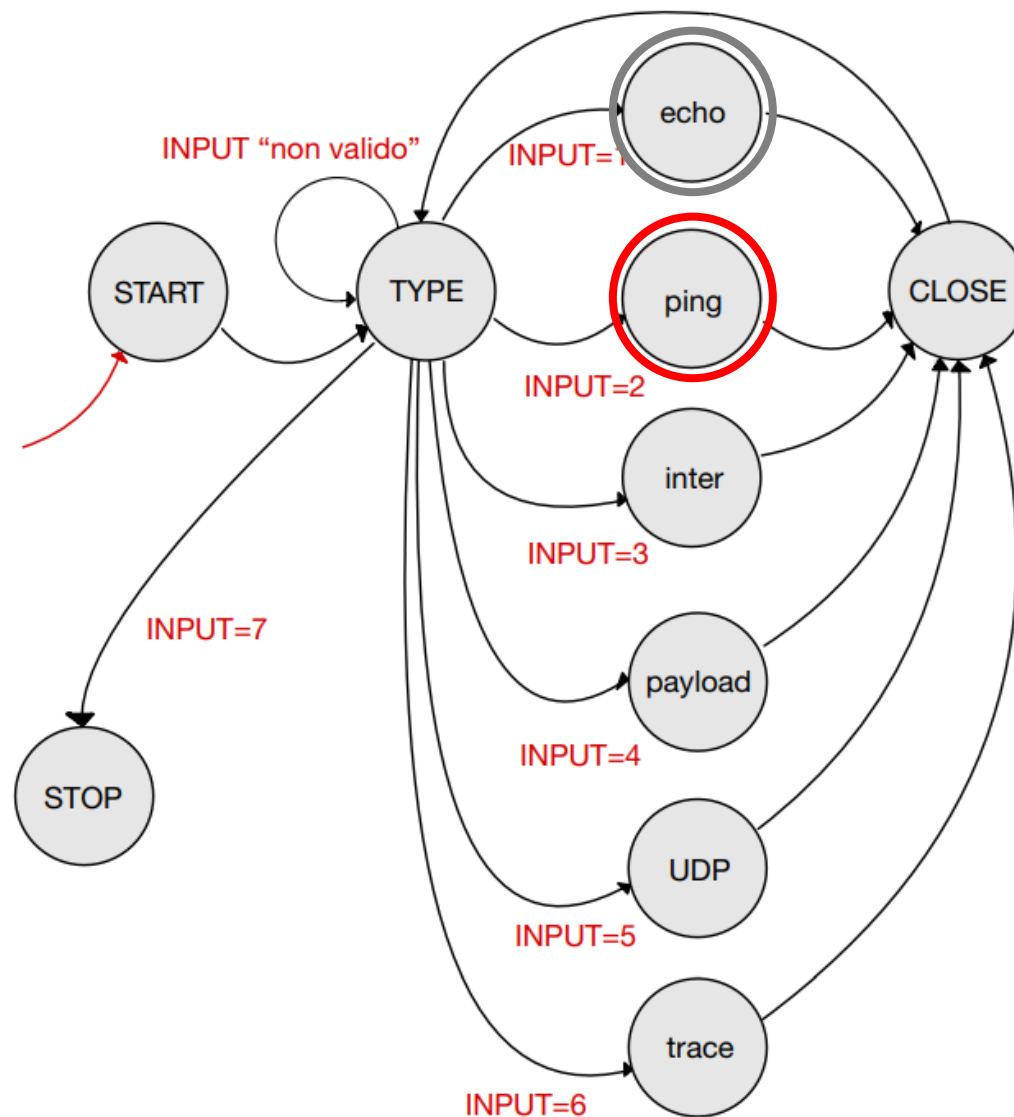


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Applicativi di Test:

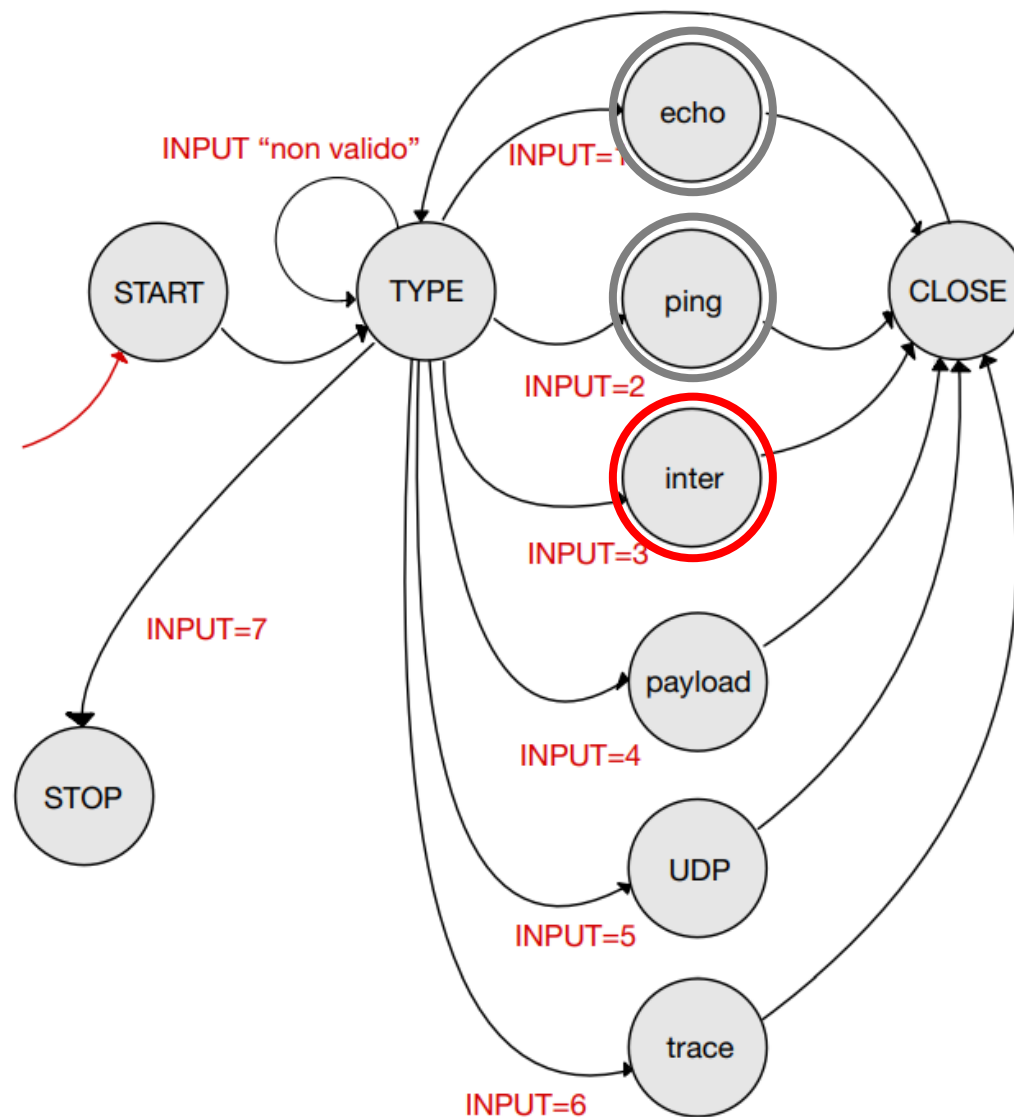


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Applicativi di Test:

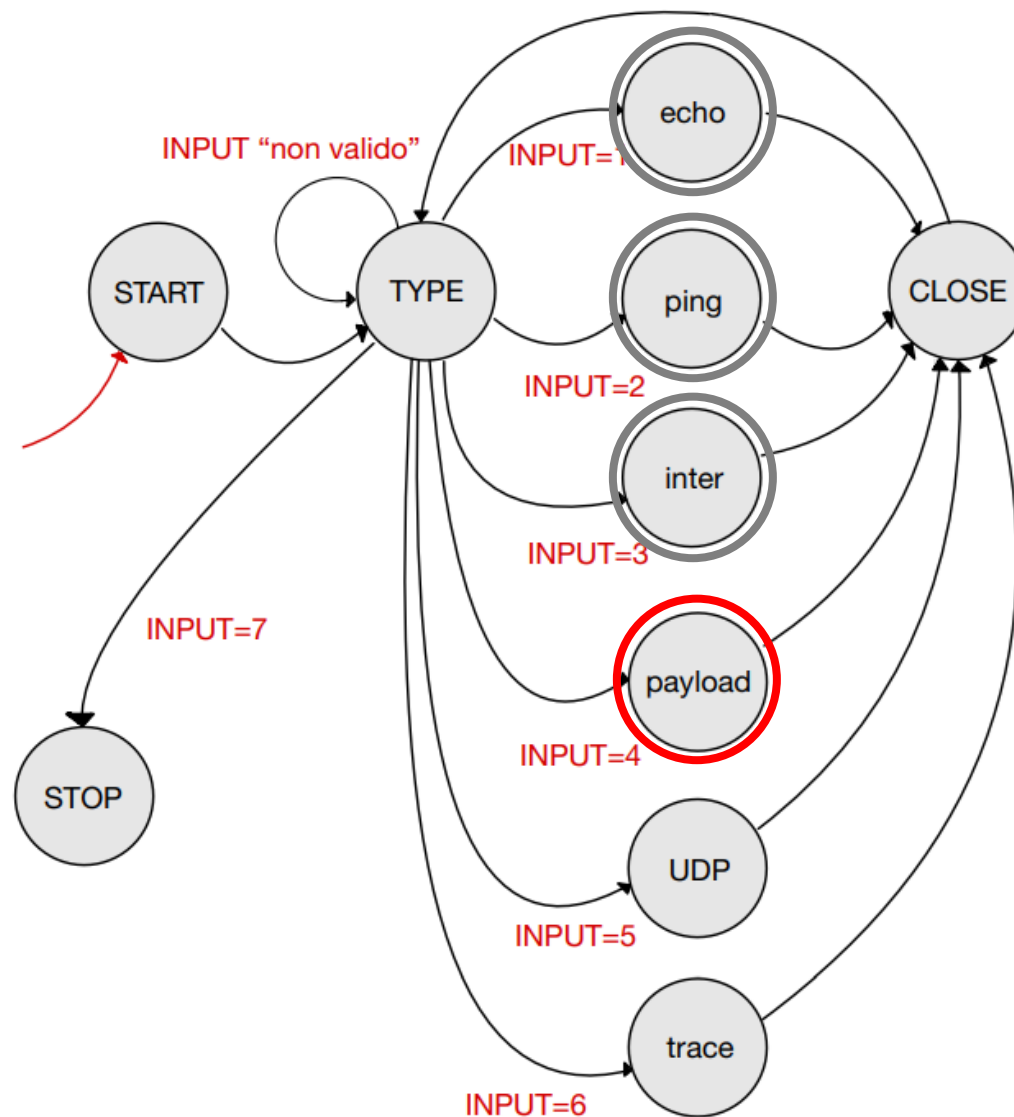


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Applicativi di Test:

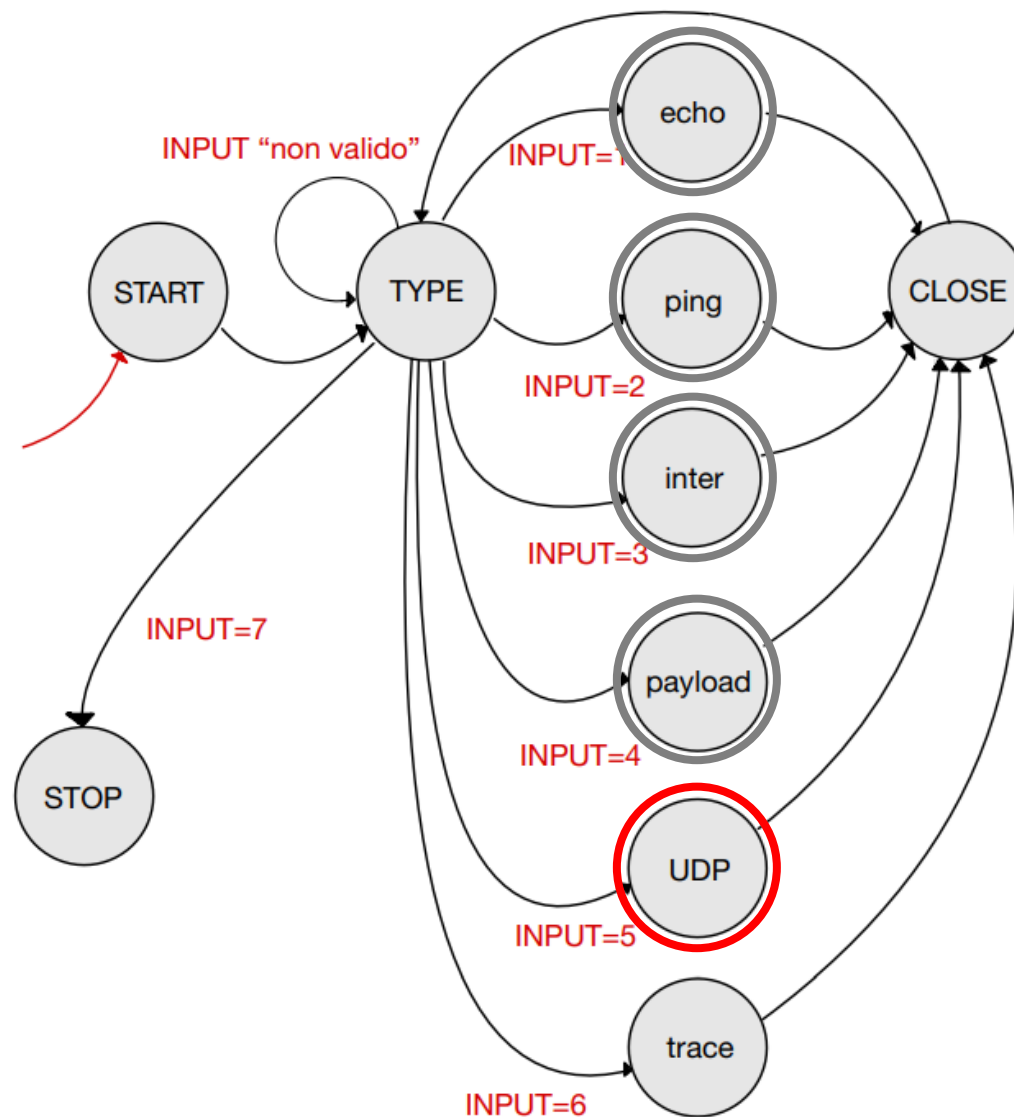


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Applicativi di Test:

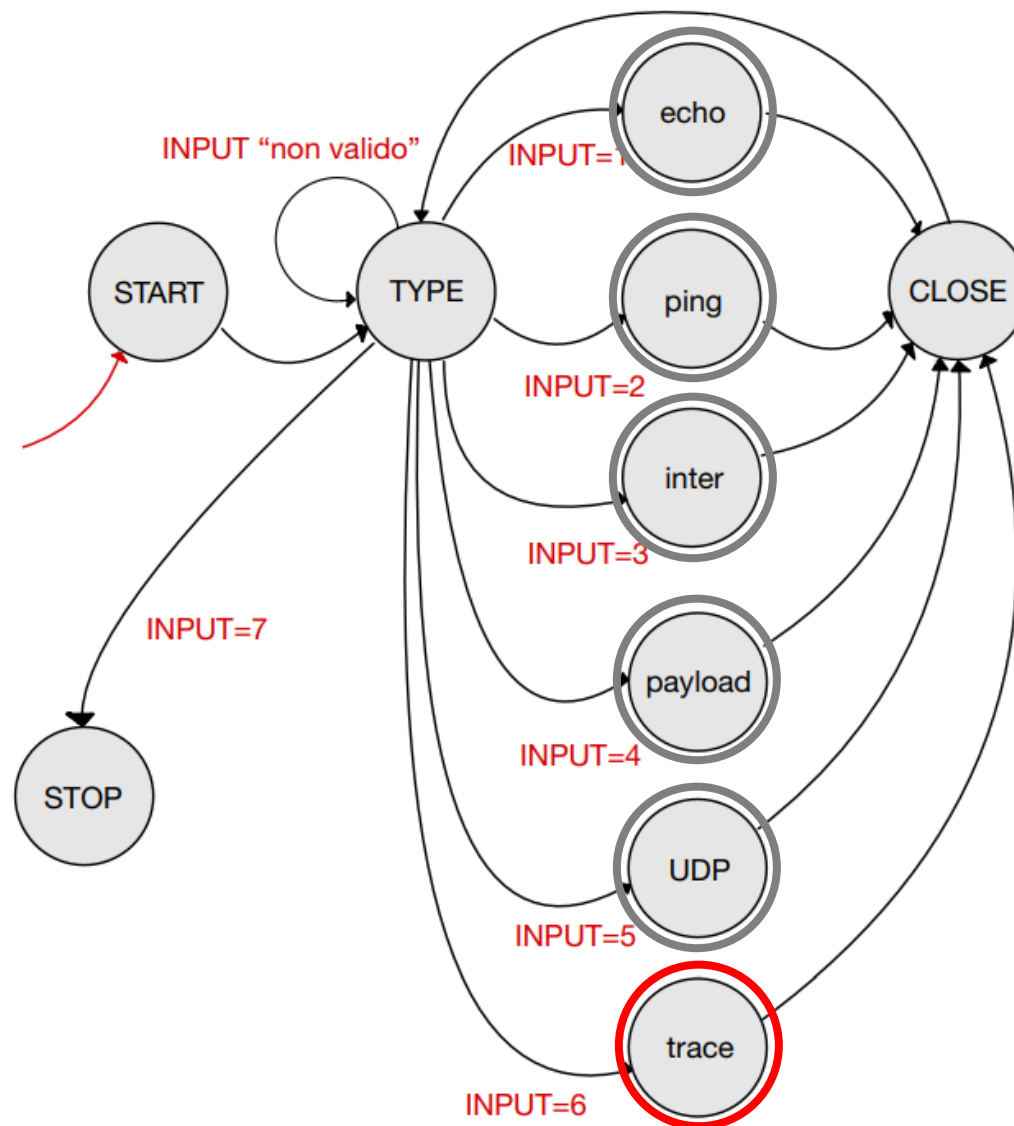


Fig. 11: Macchina a stati dell'applicativo Python per l'esecuzione automatica dei test.

Metriche Temporal:

Utilizzo di **timer** per la determinazione dei timestamp per il calcolo del **Round Trip Time**:

$$RTT = t_{stop} - t_{start}$$

Utilizzo di **server NTP** per la determinazione dei timestamp (libreria **ntplib**) per il calcolo del **Round Trip Time**:

$$RTT_{ntp} = t_{recv-client} - t_{send-client}$$

Utilizzo di **server NTP** per la determinazione dei timestamp (libreria **ntplib**) per il calcolo del **One Trip Time**:

$$OTT = t_{recv-server} - t_{send-client}$$

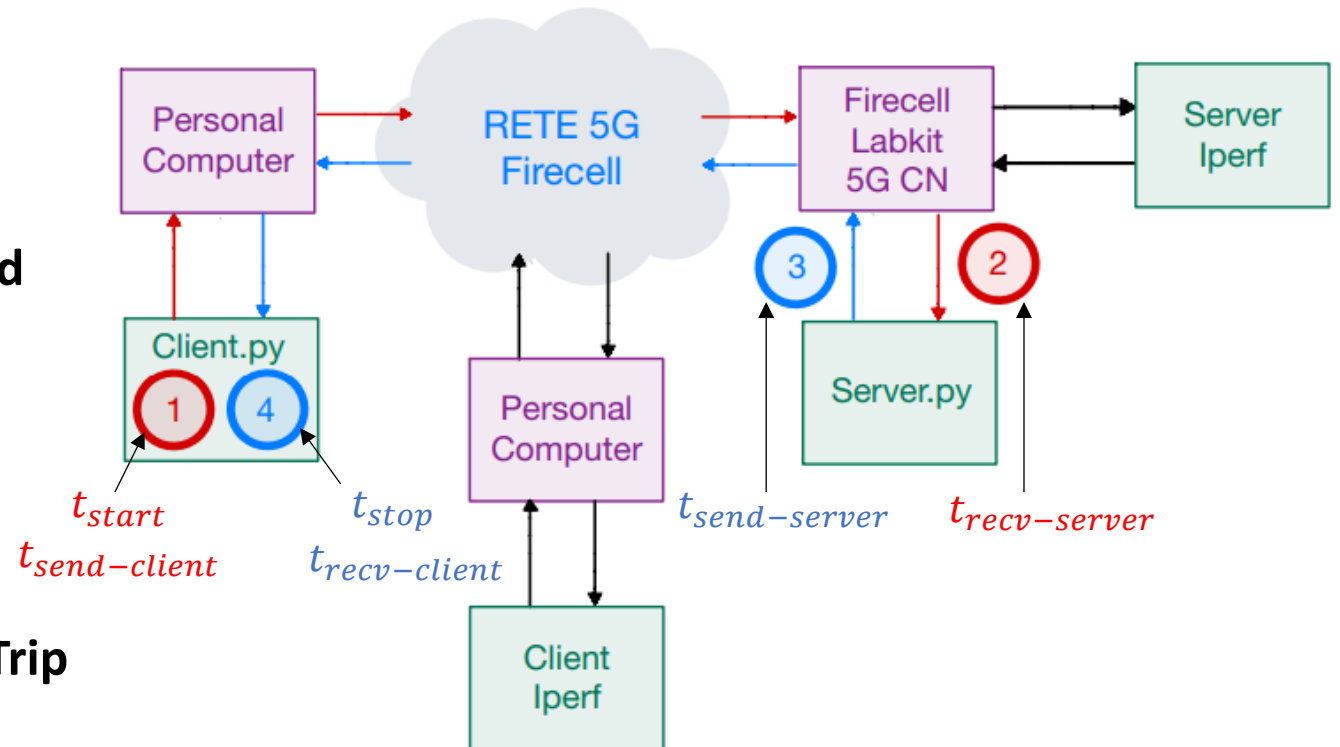
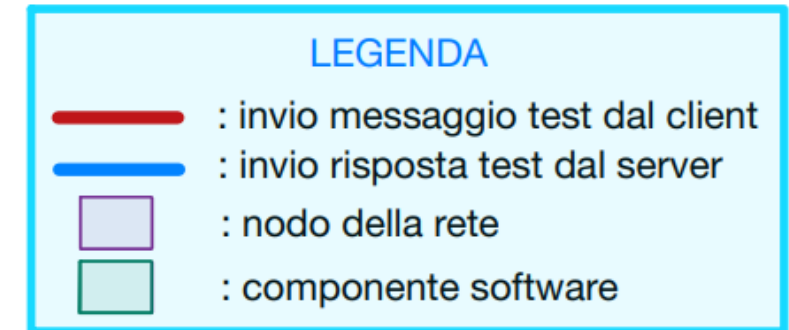


Fig. 12: Passi per la determinazione degli istanti temporali.

Prestazioni della Rete 5G:

Le prestazioni mostrate dalla rete, in media, nei circa $2 \cdot 10^4$ test effettuati sono:

- **Latenza:** valutata in termini di RTT

$$RTT_{medio} \cong 17 \text{ ms}$$

- **Jitter:** valutato come differenza di RTT tra messaggi consecutivi

$$Jitter_{medio} \cong 4 \text{ ms}$$

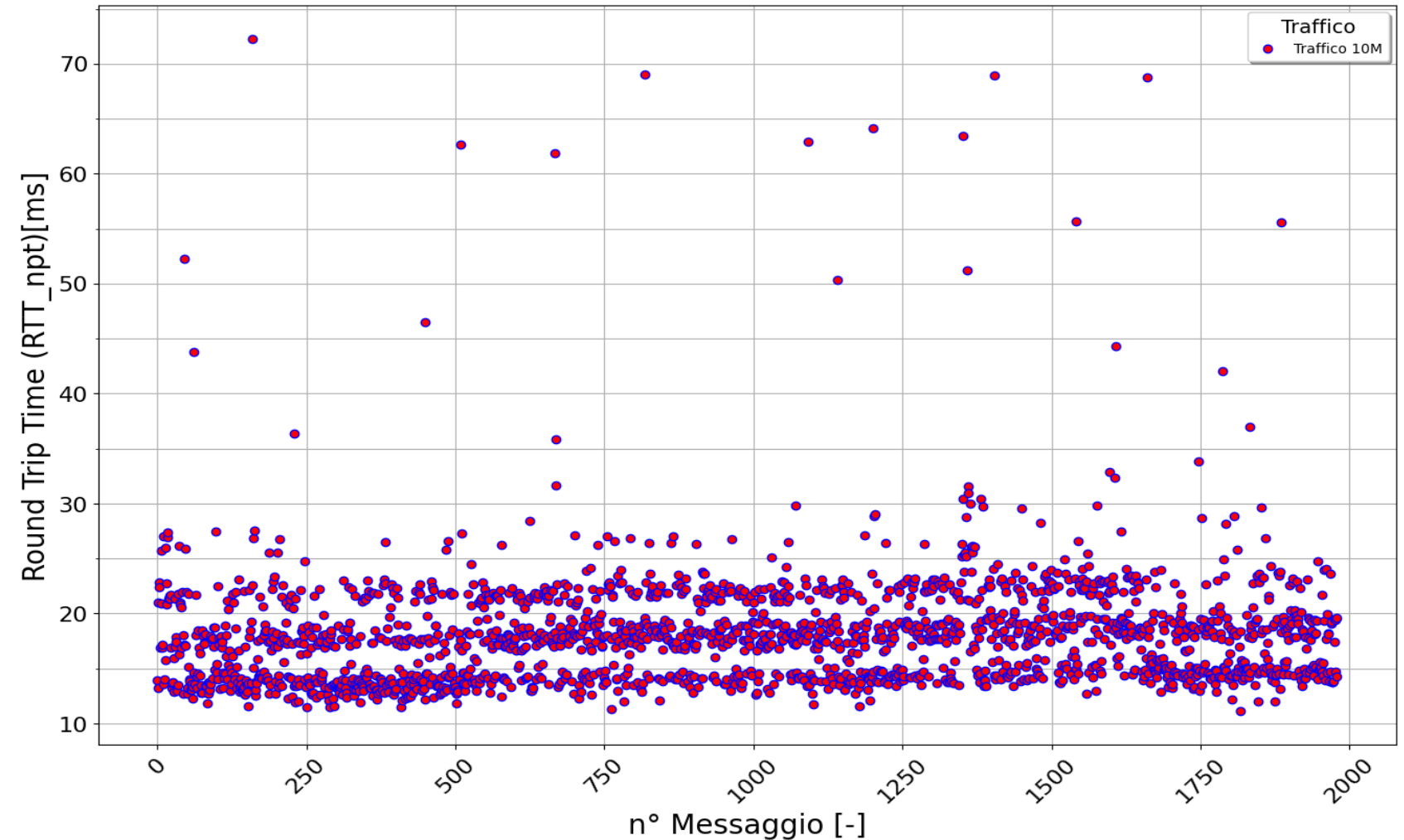
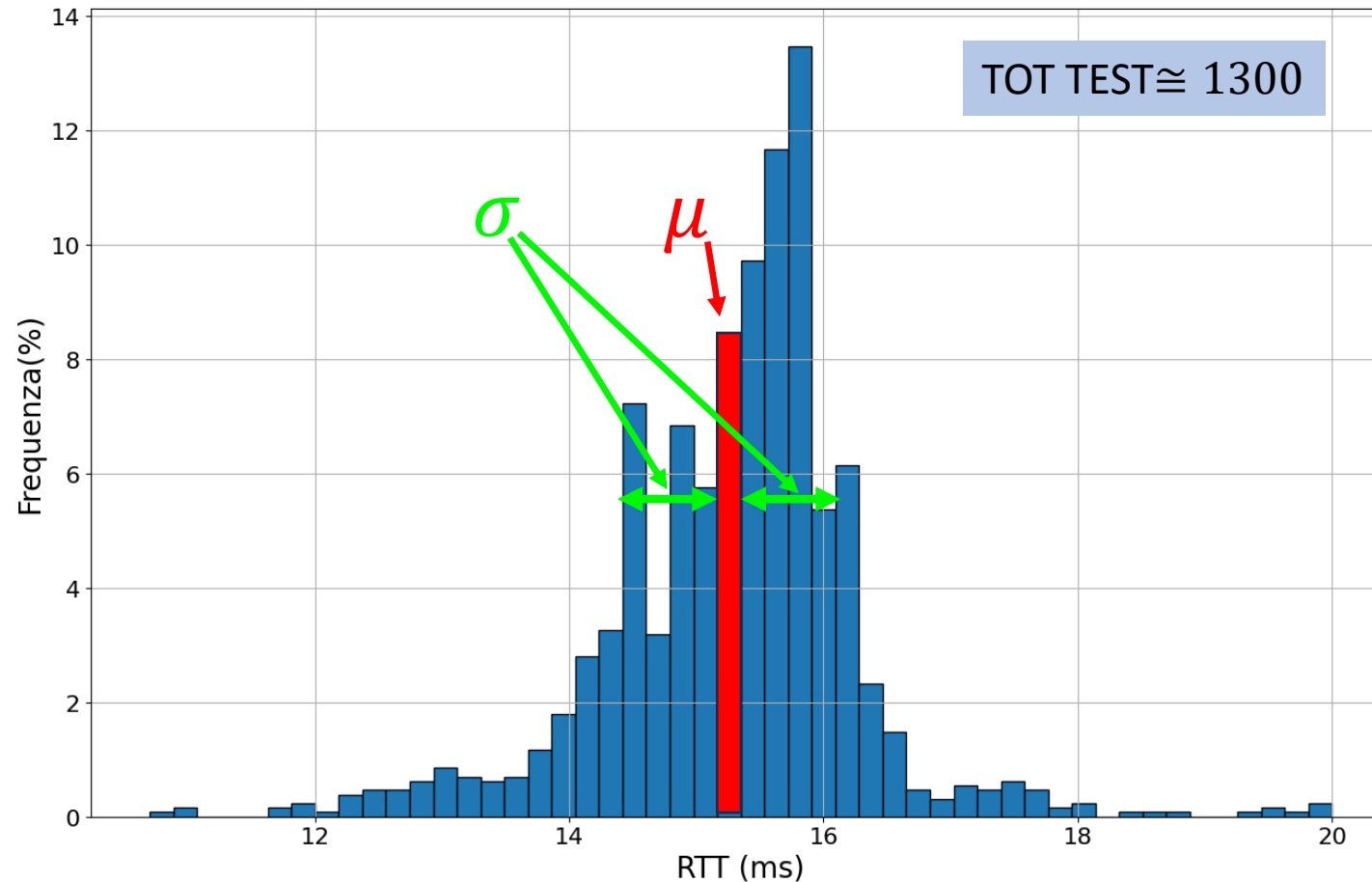


Fig. 13: Dispersione di valori di RTT nel test di echo con traffico 10 Mbps.

Articolo: «On the Performance of an Indoor Open-Source 5G Standalone Deployment»
DOI: 10.1109/WCNC55385.2023.10118776.

Test RTT ping:

Sfruttando il comando **ping** che utilizza pacchetti **ICMP** (pacchetti di controllo) la distribuzione dei valori di RTT risulta **normale**.



$$\mu = 15.34 \text{ ms}$$

$$\sigma = 1.56 \text{ ms}$$

Fig. 14: Istogramma per test con comando ping .

Test RTT:

I risultati ottenuti hanno evidenziato la presenza di una distribuzione **multimodale** per la **latenza** nella comunicazione.

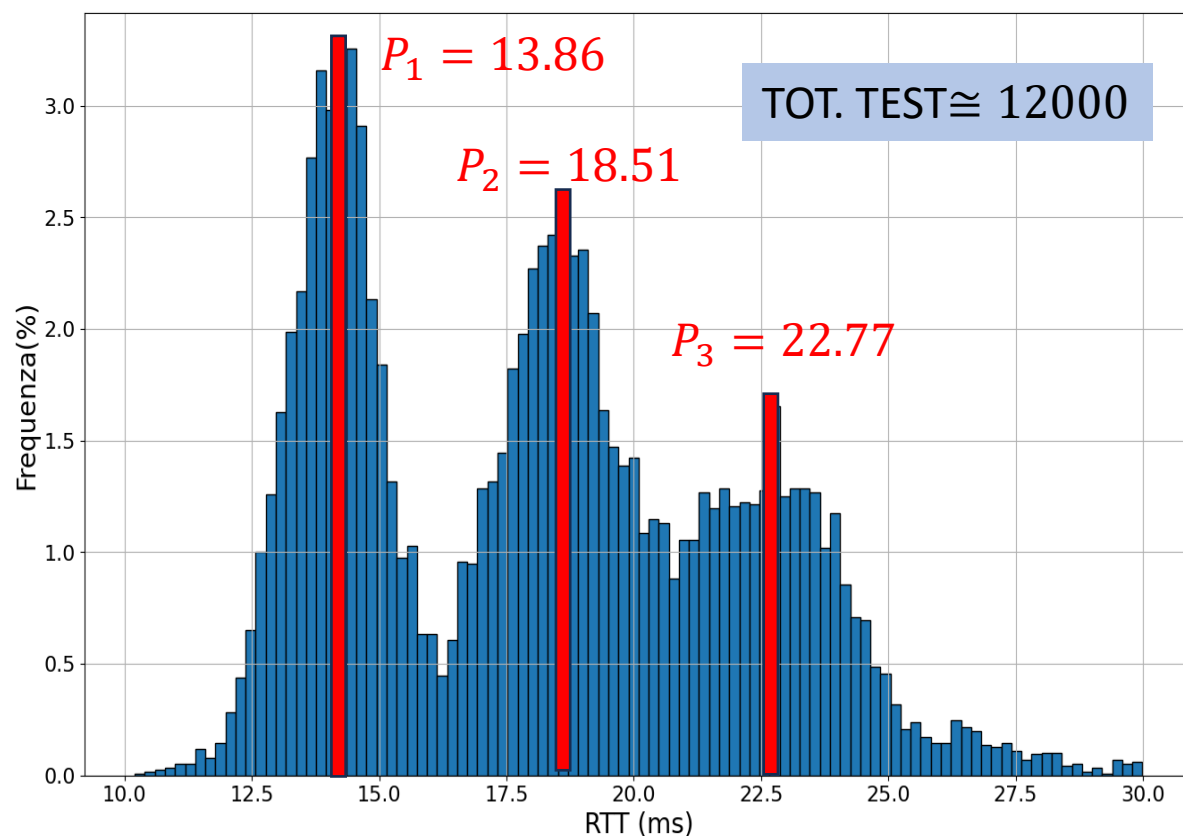


Fig. 15: Istogramma per test echo con server NTP

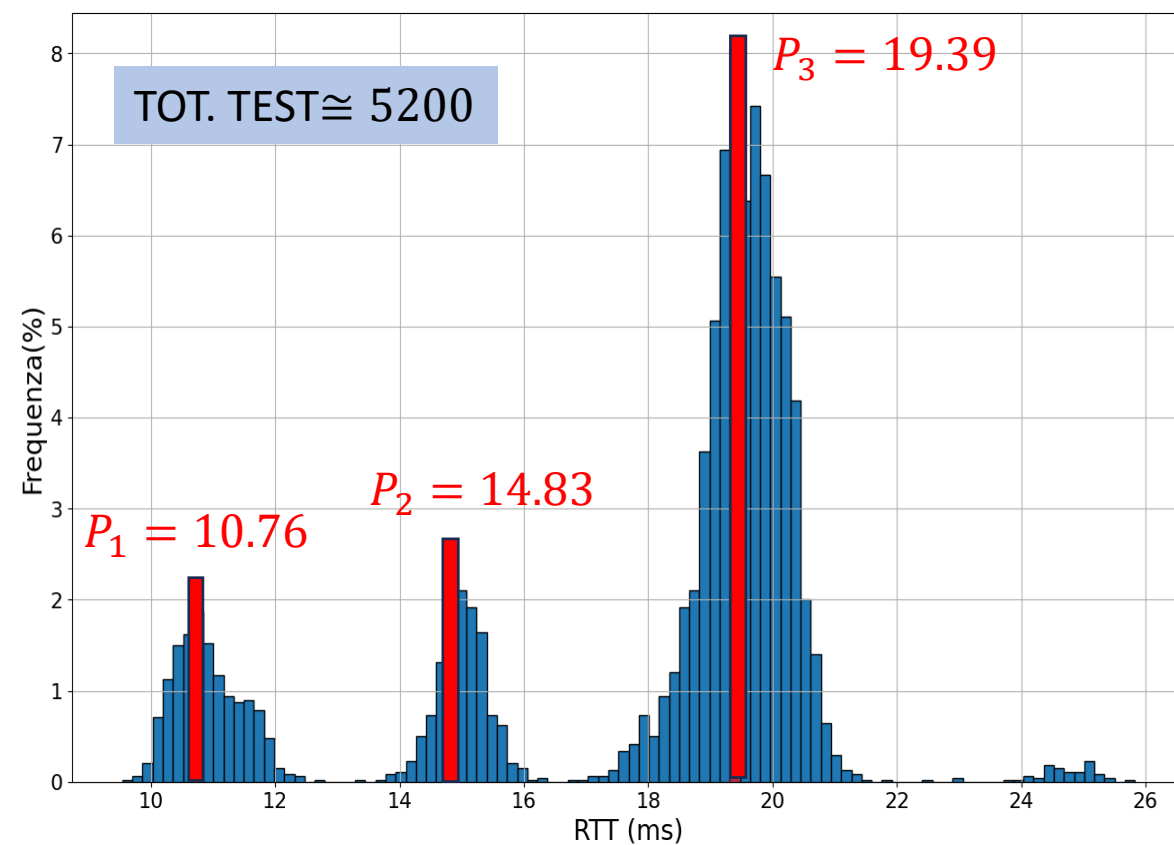


Fig. 16: Istogramma per il test con variazione del payload.

Test OTT:

I risultati ottenuti hanno evidenziato la presenza di una distribuzione **multimodale** per la **latenza** nella comunicazione.

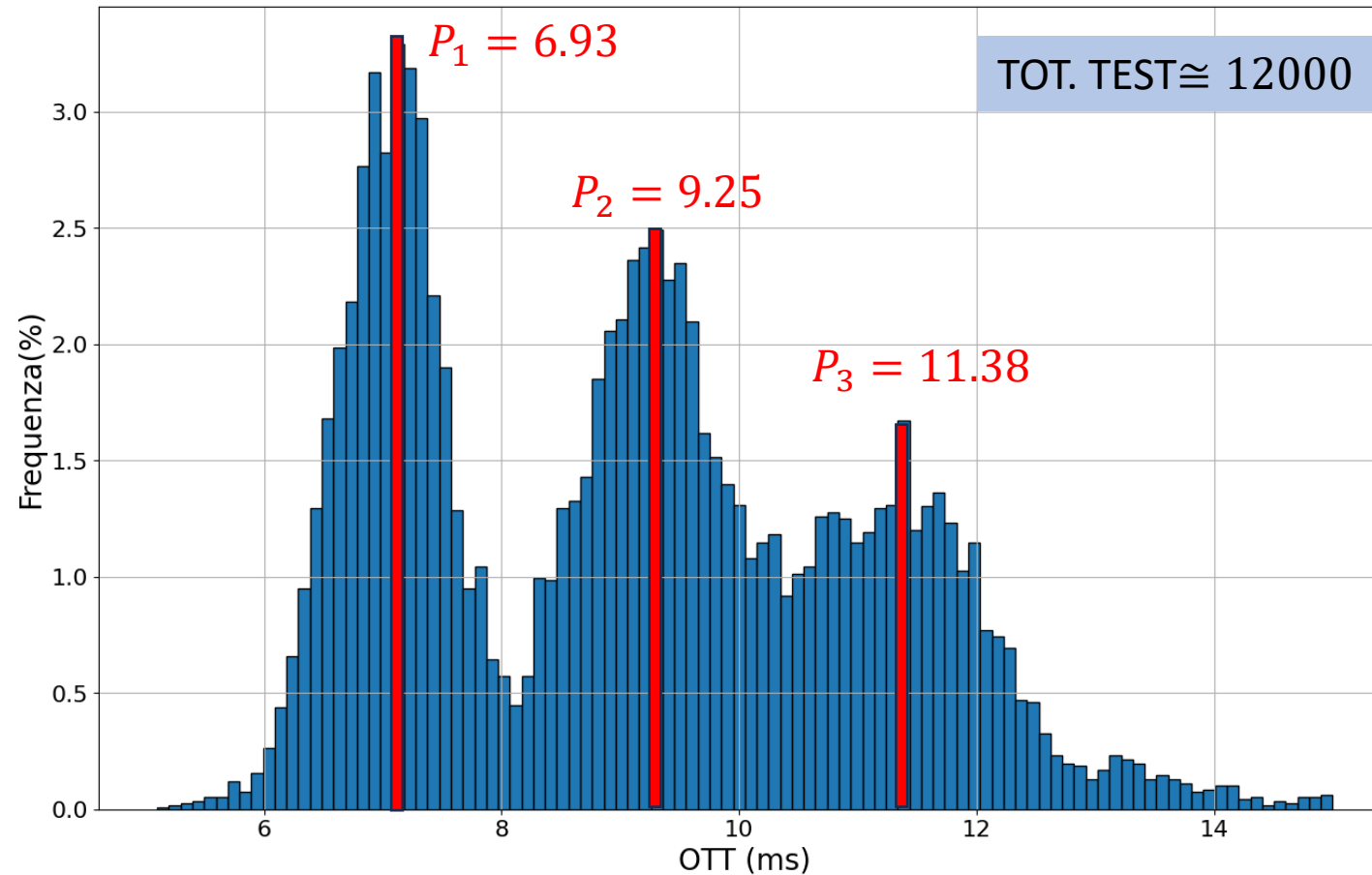


Fig. 17: Istogramma per test OTT con server NTP.

Conclusioni

Obiettivi raggiunti:

1

Comprensione teorica e pratica degli elementi necessari al funzionamento della comunicazione 5G.

2

Scelta di una soluzione commerciale, **Firecell Labkit 40**, basata sul **progetto open-source OAI**.

3

Progettazione e implementazione di un setup sperimentale 5G per **test di latenza** ponendo la rete in diversi **scenari di lavoro** e **analisi e comparazione** dei risultati con quelli ricavati in letteratura.

Conclusioni

Sviluppi futuri:

1

Implementazione dei progetti **open-source**, come **OAI**, su hardware distribuito.

2

Realizzazione di test con differenti livelli di **interferenza** e **traffico**.

3

Analisi e utilizzo di altre **funzionalità specifiche** offerte dal sistema 5G

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**