



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Ingegneria dell'Informazione,
Informatica e Statistica

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria delle Comunicazioni

**Quality of Experience in
applicazioni per terminali mobili**

RELATORE
PROF.SSA MARIA GABRIELLA
DI BENEDETTO

LAUREANDO
DAVIDE MASTROIANNI
MATRICOLA: 1164907

CORRELATORE
DR. MAURO VUOLO

Anno Accademico 2014-2015

A mio nonno Mariano,

Abstract

L'incremento del traffico dati avvenuto negli ultimi anni, dovuto principalmente alla grande diffusione degli *smartphone*, ha condotto gli operatori di telefonia mobile a voler valutare il servizio dati non soltanto attraverso la *Quality of Service (QoS)*, ma anche mediante il più vasto concetto della *Quality of Experience (QoE)*, dove il fattore chiave non è la valutazione dei parametri prestazionali della rete, ma la percezione che gli utenti finali hanno del servizio dati. In questo scenario si inserisce il presente elaborato, il cui obiettivo è definire una relazione tra i parametri prestazionali della rete mobile e la percezione soggettiva degli utenti finali. Per raggiungere tale scopo si è immaginato di rivolgersi all'utente medio che ha necessita di preservare il traffico dati e quindi si è analizzato un *set di mobile app* composto da Youtube, Whatsapp, Instagram e Facebook, individuando le funzionalità più in voga e definendo i parametri di valutazione soggettiva che più impattano sulla *QoE* percepita e i relativi criteri di valutazione soggettiva. In seguito con la finalità di definire soglie minime di parametri di rete in grado di tradurre direttamente lo stato della rete in termini di *QoE* percepita dagli utenti, è stata condotta una fase di misure e *test* in ambiente controllato e in tecnologia 3G. Successivamente è stato condotto lo studio di una sonda DPI (*Deep Packet Inspection*) volto alla definizione di KPI (*Key Performance Indicator*) in grado di monitorare la *QoE* sperimentata dagli utenti. In particolare in questa fase la ricerca si è concentrata sulla visualizzazione video tramite l'*app* Youtube e quindi si è posta

l'attenzione sui campi, misurati dalla sonda in corrispondenza dell'interfaccia GnGp, del protocollo HTTP. Sfruttando la capacità della sonda di discriminare il traffico relativo ad una specifica applicazione utilizzata da un singolo utente in una particolare cella è stato possibile definire dei KPI in grado di fornire informazioni, in merito alla *QoE* sperimentata dagli utenti, sia su base cella che su base utente. Infatti tali KPI forniscono una stima della percentuale di utenti Youtube soddisfatti nell'area di copertura di una cella di tecnologia 3G e permettono di avere informazioni in merito al grado di soddisfazione di un singolo utente Youtube. Attraverso la metodologia proposta è inoltre possibile estendere tali KPI alla tecnologia 4G e definire nuovi KPI in merito all'utilizzo di altre *app* permettendo agli operatori di rete di avere informazioni in merito alla *QoE* sperimentata dagli utenti, migliorando il servizio offerto al fine di incentivare una maggiore fidelizzazione.

Indice

1. Introduzione.....	1
1.1. Quality of Experience (QoE).....	4
1.2. Motivazione tesi.....	6
1.3. Struttuta tesi.....	7
2. Studio del set di applicazioni considerato.....	9
2.1. Individuazione parametri soggettivi.....	10
2.1.1. Parametri soggettivi Youtube.....	12
2.1.2. Parametri soggettivi Whatsapp.....	12
2.1.3. Parametri soggettivi Instagram.....	13
2.1.4. Parametri soggettivi Facebook.....	13
2.2. Definizione criteri di valutazione soggettivi.....	14
2.2.1. Criteri soggettivi Youtube.....	15
2.2.2. Criteri soggettivi Whatsapp.....	16
2.2.3. Criteri soggettivi Instagram.....	17
2.2.4. Criteri soggettivi Facebook.....	17
3. Misure e definizione soglie.....	20
3.1. Test.....	23
3.1.1. Test Youtube.....	24
3.1.2. Test Whatsapp.....	28
3.1.3. Test Instagram.....	31
3.1.4. Test Facebook.....	33
3.2. Definizione soglie per funzionalità considerata.....	41
4. Studio di una sonda DPI volto alla definizione di.....	46

4.1. Sonda DPI (<i>Deep Packet Inspection</i>).....	51
4.2. Definizione KPI (<i>Key Performance Indicator</i>).....	53
4.2.1. KPI di base.....	55
4.2.2. KPI con pesi.....	57
5. Conclusioni e sviluppi futuri.....	59
6. Bibliografia.....	61

1. Introduzione

L'utilizzo della rete dati mobile è notevolmente cambiato da quando gli *smartphone* sono entrati prepotentemente nel mercato dei consumatori, piuttosto che rimanere prodotti di nicchia riservati al settore *business*. Infatti, tramite l'utilizzo delle *app*, facilmente scaricabili dagli *store*, questi dispositivi sono praticamente sempre connessi alla rete. Questo ha contribuito all'aumento significativo del volume del traffico dati che si è registrato negli ultimi anni.

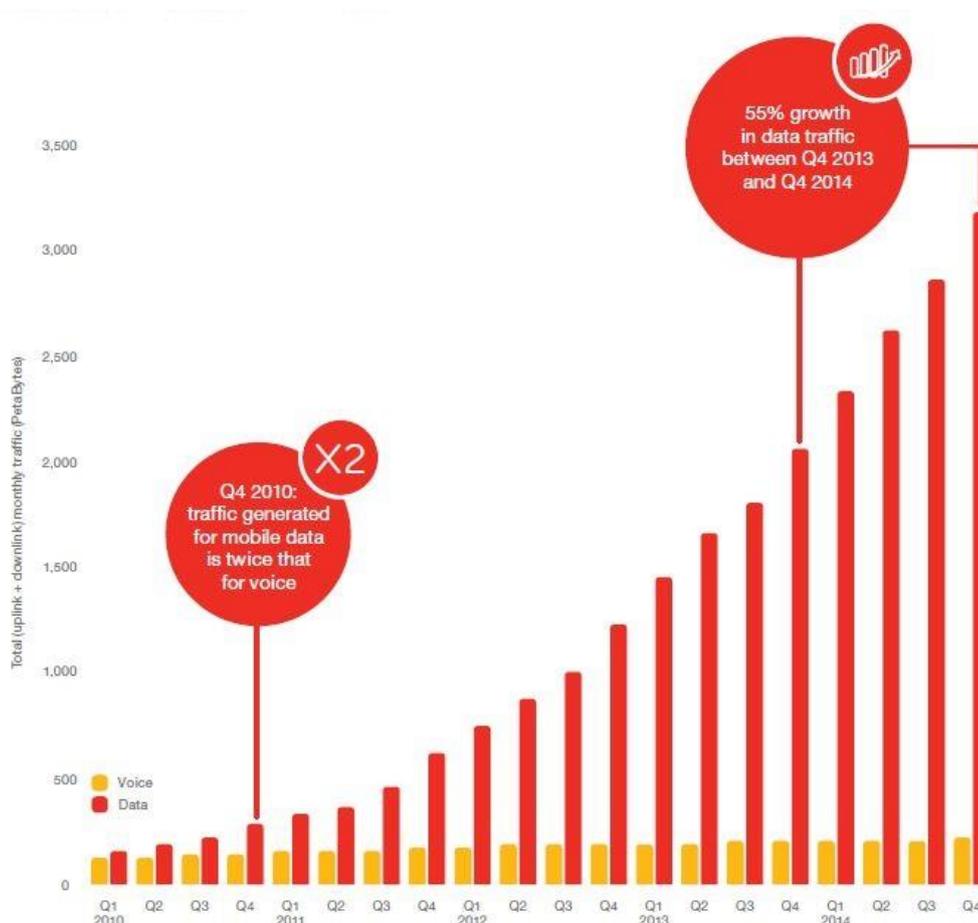


Figura. 1.1 – Volume totale di traffico dati mobile, 2010-2014

La Figura 1.1 mostra come nel periodo osservato (2010-2014), il traffico dati ha subito un incremento di dimensioni considerevoli se confrontato con il lieve incremento subito dal traffico legato alla voce registrato nello stesso periodo di osservazione [1]. A conferma di ciò si osserva che, nel quarto trimestre del 2010, il traffico dati mobile è il doppio del traffico legato alla voce e che tra il quarto trimestre del 2013 e il quarto trimestre del 2014 il traffico dati ha subito una crescita del 55%.

Secondo recenti stime [2], entro la fine del 2016 nel mondo almeno un utente su due sarà possessore di un proprio *smartphone* e le connessioni *machine-to-machine* (M2M) sono destinate a crescere di 3-4 volte entro il 2019.

Questo causerà una crescita esponenziale del traffico dati in mobilità, destinato ad aumentare di 5 volte tra il 2014 e il 2020 [1], come evidenziato in Figura 1.2.

Inoltre, si prevede che, entro la fine del 2020, il 70% del traffico dati mobile globale sarà dovuto agli *smartphone* e la crescita del traffico dati prevista tra il 2019 e il 2020 sarà maggiore della somma totale del traffico dati in mobilità registrato alla fine del 2013 [1].

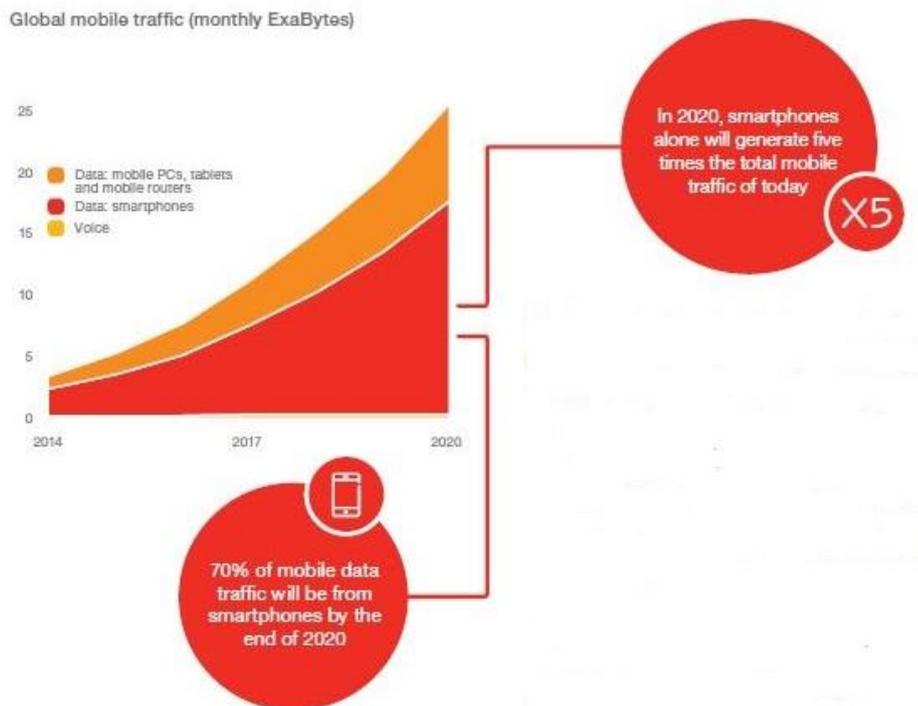


Figura 1.2 – Previsione aumento traffico dati mobile (2014-2020)

In Italia, nel 2014 il numero degli *smartphone* ha superato quello dei cellulari con conseguente aumento degli accessi ad Internet da dispositivi mobili. Infatti il 62% di questi accessi avviene tramite *smartphone* contro il 28% da attribuire ai *tablet*. Rispetto al 2013, è aumentato sensibilmente il numero di persone che quotidianamente accede ai servizi in mobilità, ad esempio *instant messaging* (34% degli utenti mobile nel 2014, rispetto il 20% nel 2013) e *social networking* (31% nel 2014 contro il 21% nel 2013). Inoltre anche la visualizzazione di video da dispositivi mobile ha registrato un notevole aumento; il 69% degli utenti *mobile* guarda brevi filmati online su base settimanale [3].

1.1 *Quality of Experience (QoE)*

L'incremento del traffico dati ha condotto gli operatori di telefonia mobile a voler valutare il servizio dati non soltanto attraverso la *Quality of Service (QoS)*, ma anche mediante il più vasto concetto della *Quality of Experience (QoE)*, dove il fattore chiave non è la valutazione dei parametri prestazionali della rete, ma la percezione che gli utenti finali hanno del servizio dati.

L'**ITU-T P.10/G.100** [4] definisce la *Quality of Experience* come la percezione soggettiva dell'utente finale in merito alla qualità complessiva di un servizio o di un'applicazione. Inoltre viene specificato che la *QoE* comprende tutti gli effetti del sistema *End-to-End* (utente, terminale, rete, infrastruttura, etc..) e che la qualità percepita può essere influenzata dalle aspettative degli utenti e dal contesto.

Secondo *Qualinet "white paper"* [5], *QoE* può essere definita come il grado di gioia o di fastidio dell'utente di un servizio o di un'applicazione. È il risultato della soddisfazione dell'utente rispetto alle sue aspettative in merito all'utilizzo del servizio e/o applicazione alla luce della situazione in esame e della personalità dell'utente stesso.

Inoltre in [6] la *QoE* viene definita come la misura soggettiva dell'esperienza sperimentata dall'utente.

Il termine *QoE* si riferisce, quindi, alla percezione dell'utente rispetto alla qualità di uno specifico servizio. La *QoE*, dunque, non può essere vista come una metrica

oggettiva, ma come un insieme di elementi che un utente percepisce relativamente alle capacità della rete e la misura con la quale questi soddisfano le sue aspettative.

Per determinare la *QoE* percepita da un utente entrano in gioco diversi fattori, tra cui: la fruibilità del servizio, la flessibilità e la disponibilità della rete, la tipologia di terminale utilizzato, la funzionalità considerata, le tariffe applicate dall'operatore di rete, etc.

La *Quality of Service*, invece, è la capacità della rete di fornire un servizio con un determinato livello di qualità [7]. Attraverso il concetto di *QoS* la qualità del servizio offerta viene osservata dal punto di vista della rete. Tale qualità è determinata da caratteristiche tecniche come il *throughput*, il numero di pacchetti persi, la latenza, il *jitter* e può essere valutata e misurata in maniera oggettiva per una determinata rete.

La fornitura del servizio di accesso offerta dalla rete mobile e collegata alle valutazioni della *QoS* rappresenta soltanto uno degli elementi che influenzano la qualità percepita dall'utente finale (*QoE*).

Quindi mentre i parametri che influenzano la *QoS* sono di carattere oggettivo e sono controllati dal fornitore del servizio, quelli che influenzano la *QoE*, anche se strettamente correlati a quelli della *QoS*, dipendono da considerazioni di tipo soggettivo, che difficilmente possono essere misurate in maniera oggettiva.

1.2 Motivazione della tesi

Nello scenario precedentemente descritto si inserisce il seguente lavoro di tesi, svolto presso la sede di Milano della società **Nokia Solutions & Networks**, il cui obiettivo è definire una relazione tra i parametri prestazionali della rete mobile e la percezione soggettiva degli utenti.

Infatti, al fine di garantire un livello di *QoE* soddisfacente, gli operatori sono interessati ad individuare i parametri prestazionali della rete mobile in grado di monitorare la qualità del servizio dati realmente percepita dagli utenti. Allo stesso tempo, per poter valutare la *QoE* è necessario tener conto degli inevitabili fattori soggettivi che influenzano tale qualità.

Sulla base di questa valutazione, è quindi opportuno individuare dei KPI (*Key Performance Indicators*) per i parametri oggettivi della rete che garantiscano il soddisfacimento della percezione soggettiva del servizio dati mobile da parte degli utenti finali.

In questo modo è possibile ottenere una stima affidabile della *QoE* che consenta agli operatori di prevedere condizioni potenzialmente critiche, migliorando il servizio offerto al fine di incentivare una maggiore fidelizzazione dei clienti.

1.3 Struttura della tesi

Il presente elaborato è strutturato come segue:

Capitolo 1: Nel seguente capitolo viene descritto in breve come l'utilizzo del traffico dati abbia registrato un forte incremento negli ultimi anni che ha spinto gli operatori di rete a volere valutare il servizio dati in mobilità non soltanto attraverso la *Quality of Service* ma anche attraverso il concetto di *Quality of Experience*. Inoltre viene spiegato come tale progetto si inserisce in questo scenario.

Capitolo 2: In questo capitolo viene presentato il *set* di applicazioni su cui si è concentrato lo studio e le funzionalità analizzate per le *app* in questione. Inoltre vengono definiti i parametri di valutazione soggettiva che impattano maggiormente sulla *QoE* sperimentata dagli utenti del *set* di *app* considerate ed i criteri di valutazione soggettiva. Per la definizione di questi ultimi si è scelto di rivolgersi agli utenti medi che hanno necessità di preservare il traffico dati.

Capitolo 3: Nel capitolo in questione viene descritta la fase di misure e *test* che ha condotto alla definizione di soglie minime di parametri di rete in grado di garantire il soddisfacimento dei suddetti criteri soggettivi. Le misure sono state effettuate considerando il segnale relativo ad una rete 3G.

Capitolo 4: Nel presente capitolo l'attenzione si focalizza sulla visualizzazione video effettuata tramite l'*app* Youtube e viene descritto lo studio di una sonda DPI (*Deep Packet Inspection*) volto alla definizione di KPI (*Key Performance Indicator*) in grado di monitorare la *QoE* sperimentata dagli utenti.

Capitolo 5: Infine, in questo ultimo capitolo vengono tratte le conclusioni del presente elaborato, evidenziando le potenzialità dei KPI ottenuti e i possibili sviluppi futuri che potranno portare alla definizione di ulteriori KPI seguendo la metodologia proposta.

2. Studio del set di applicazioni considerato

Lo studio è stato svolto considerando il seguente *set* di *mobile app*:

- Youtube
- Whatsapp
- Instagram
- Facebook

L'approccio adottato si è articolato nei seguenti punti:

- Individuazione dei parametri soggettivi che impattano maggiormente sulla *QoE* relativa all'utilizzo del *set* di applicazioni considerato
- Definizione di criteri di valutazione soggettivi sulla base dell'esperienza personale
- Individuazione dei parametri di rete oggettivi attraverso i quali esprimere tecnicamente i criteri soggettivi precedentemente definiti
- Definizione, mediante misure, di soglie dei parametri oggettivi che garantiscano la soddisfazione dell'utente

Per la definizione dei criteri soggettivi e delle misure da effettuare, si è **ipotizzato di considerare il comportamento dell'utente medio che**, in virtù degli attuali piani tariffari con soglie *internet* limitate, **tende a preservare il proprio traffico dati**.

2.1 Individuazione parametri soggettivi

Considerando il *set* di applicazioni proposto, per ciascuna di esse si è ritenuto opportuno focalizzare l'attenzione solo sulle sue **funzionalità** più rappresentative, che sono state individuate a partire dall'esperienza personale. Inoltre, la scelta delle funzionalità è stata condizionata anche dai parametri tecnici misurabili secondo la procedura che sarà descritta nel Capitolo 3 .

Le funzionalità analizzate per ciascuna applicazione sono riassunte in **Tabella 2.1**, in particolare la **Visualizzazione Video** è stata considerata per le applicazioni Youtube e Facebook, l'**Invio Messaggio** è stato considerato per l'applicazione Whatsapp, l'**Upload Immagine** è stato considerato per le applicazioni Whatsapp, Instagram e Facebook e il **Download Immagine** è stato valutato per l'applicazione Facebook.

APP	Funzionalità valutate				
	Accessibilità	Visualizzazione Video	Invio Messaggio	Upload Immagine	Download Immagine
	●	●			
	●		●	●	
	●			●	
	●	●		●	●

Tabella 2.1 - Funzionalità analizzate per ogni applicazione

Per ogni funzionalità analizzata nelle varie applicazioni, sono stati individuati i **parametri soggettivi** che, sempre sulla base dell'esperienza personale, sono stati ritenuti più rilevanti ai fini della **valutazione della qualità del servizio dati percepita**. A tal proposito, l'**Accessibilità**, intesa come l'effettiva visualizzazione e navigabilità della schermata principale di un'applicazione è stata valutata come **condizione necessaria** alla fruibilità di tutte le *app*, e quindi considerata come parametro imprescindibile per ciascuna di esse.

2.1.1 Parametri soggettivi Youtube

Per la *mobile app Youtube* è stata presa in considerazione solo la **Visualizzazione Video**. Al fine di valutare questa funzionalità, i parametri soggettivi individuati sono il Tempo di Attesa Avvio Video (TAAV) e il Numero di Rebuffering:

- **TAAV:** è il tempo che intercorre tra la richiesta di riproduzione di un video e l'effettivo inizio della visualizzazione dello stesso
- **Numero di Rebuffering:** indica il numero delle interruzioni durante la riproduzione di un video, dovute alla necessità di attendere nuovi dati prima di poter riprendere la visualizzazione.

2.1.2 Parametri soggettivi Whatsapp

Nel caso di **Whatsapp**, le funzionalità valutate sono state l'**Invio Messaggio** e l'**Upload Immagine**. Non si è ritenuto opportuno considerare l'invio di una nota vocale in quanto quest'ultima ha una dimensione tipicamente inferiore rispetto a quella delle immagini acquisite dagli odierni *smartphone*. I parametri soggettivi individuati per queste funzionalità sono:

- **Tempo Invio Messaggio:** tempo necessario affinché un messaggio venga inviato
- **Tempo Upload Immagine:** tempo necessario per il completamento dell'invio di un'immagine

Si osservi che entrambi questi parametri, indipendentemente dal contenuto da inviare, valutano esclusivamente il tempo che intercorre tra la richiesta di invio e la **visualizzazione del primo *flag*** (cerchiato in **Figura 2.1**). Pertanto essi non tengono conto del tempo necessario per l'effettiva ricezione da parte del destinatario. Ciò è dovuto alla volontà di considerare dei fattori soggettivi che dipendano solo dalle condizioni di rete sperimentate dal mittente.



Figura 2.1 - *Flag* che indica l'invio di un messaggio tramite Whatsapp

2.1.3 Parametri soggettivi Instagram

La funzionalità considerata per l'applicazione **Instagram** è l'**Upload Immagine**, per la quale è stato individuato il seguente parametro soggettivo:

- **Tempo Upload Immagine:** tempo che intercorre tra la richiesta di *upload* di un'immagine e la sua effettiva visualizzazione sulla *homepage* del profilo dell'utente

2.1.4 Parametri soggettivi Facebook

Per la *mobile app* **Facebook** sono state considerate le funzionalità di **Visualizzazione Video**, **Download Immagine** e **Upload Immagine**. Per quanto riguarda la

Visualizzazione Video, analogamente a quanto definito per Youtube, i parametri individuati sono il Tempo di Attesa Avvio Video (**TAAV**) e il **Numero di Rebuffering**; invece, per l'Upload Immagine, si è valutato il **Tempo Upload Immagine** così come definito per Instagram. Infine, per il Download Immagine è stato identificato il seguente parametro soggettivo:

- **Tempo Download Immagine:** tempo che intercorre tra l'istante in cui l'utente clicca su un'immagine che intende visualizzare e l'istante in cui essa viene visualizzata singolarmente sullo schermo dello *smartphone*.

2.2 Definizione criteri di valutazione soggettivi

Dopo aver individuato i parametri soggettivi, si è proceduto con la definizione di **criteri soggettivi per la valutazione del servizio dati** relativamente all'utilizzo del set di applicazioni considerato. In particolare, tali criteri sono stati definiti, a valle di una serie di test, sulla base dell'**esperienza** e della **percezione personale**.

A tal proposito ci si è concentrati sulla misura della **reattività** richiesta alle varie applicazioni per percepirne un utilizzo fluido ed interattivo. Ciò ha portato alla definizione dei criteri soggettivi mediante la determinazione di **soglie per i parametri soggettivi** precedentemente individuati.

Pertanto, sulla base delle funzionalità analizzate per ogni applicazione e dei relativi parametri soggettivi, precedentemente descritti (Capitolo 2.1), nei prossimi paragrafi verranno riportati i criteri di valutazione soggettivi definiti per le varie applicazioni.

2.2.1 Criteri soggettivi Youtube

Coerentemente con l'ipotesi iniziale descritta nel Capitolo 2, le soglie che definiscono i criteri soggettivi per la *mobile app* Youtube sono state fissate tenendo conto della durata piuttosto breve dei video tipicamente visualizzati da un utente medio (per esempio: video musicali):

- **TAAV** $\leq 5s$
- **Numero di Rebuffering** ≤ 1 e **Durata Rebuffering** $\leq 5s$

Si osservi che, benché un *rebuffering* sia ritenuto tollerabile, affinché la qualità percepita dall'utente risulti soddisfacente, questo deve durare al più 5 secondi.

I criteri di valutazione soggettivi definiti per l'*app* Youtube sono sintetizzati in Tabella 2.1.

	
Parametri soggettivi	Criteri soggettivi
Accessibilità	✓
Tempo Attesa Avvio Video (TAAV)	$\leq 5s$
Rebuffering	Numero
	Durata
	≤ 1
	$\leq 5s$

Tabella 2.1 – Criteri soggettivi Youtube

2.2.1 Criteri soggettivi Whatsapp

Poichè la dimensione delle immagini acquisite dagli odierni *smartphone* è sicuramente maggiore di quella di un semplice messaggio di testo, i criteri soggettivi per Whatsapp sono stati definiti come segue:

- **Tempo Invio Messaggio** $\leq 3s$
- **Tempo Upload Immagine** $\leq 5s$

In Tabella 2.2 sono riassunti i criteri di valutazione soggettivi definiti per l'*app* Whatsapp.



Parametri soggettivi	Criteri soggettivi
Accessibilità	✓
Tempo Invio Messaggio	$\leq 3 s$
Tempo Upload Immagine	$\leq 5 s$

Tabella 2.2 - Criteri soggettivi Whatsapp

2.2.1 Criteri soggettivi Instagram

Nel caso della *mobile app* Instagram è stata valutata solo la funzionalità di Upload Immagine ed è stato definito il seguente criterio soggettivo:

- **Tempo Upload Immagine $\leq 5s$**

come riportato in Tabella 2.3.



Parametri soggettivi	Criteri soggettivi
Accessibilità	✓
Tempo Upload Immagine	$\leq 5 s$

Tabella 2.3 - Criteri soggettivi Instagram

2.2.1 Criteri soggettivi Facebook

Per quanto riguarda la Visualizzazione Video mediante la *mobile app* Facebook, il relativo criterio di valutazione soggettivo è stato definito sempre nell'ottica dell'**utente medio**, che tende a preservare il traffico dati (Capitolo 2), e tenendo conto della breve durata tipica dei video condivisi sul *social network*.

In queste condizioni si è ritenuto che, affinché la qualità percepita dall'utente risulti soddisfacente, devono essere verificati i seguenti criteri:

- **TAAV** $\leq 5s$

- **Numero di Rebuffering** ≤ 1 e **Durata Rebuffering** $\leq 5 s$

Le altre funzionalità prese in considerazione sono state l'Upload ed il Download Immagine. Dall'esperienza personale, è stato ritenuto che la maggior parte del tempo speso dagli utenti su Facebook è dedicato a prendere visione delle notizie presenti nel flusso della *homepage*.

Questa osservazione, che trova riscontro anche in alcune statistiche svolte da enti specializzati [8] [9], ha condotto alla definizione di due diversi criteri soggettivi per l'*upload* ed il *download* di un'immagine:

- **Tempo Upload Immagine** $\leq 7s$

- **Tempo Download immagine** $\leq 5s$

In particolare, questi due criteri mostrano una maggiore tolleranza nei confronti del tempo di attesa per l'*upload* di un'immagine, in quanto la suddetta osservazione ha consentito di ritenere che la frequenza con la quale un utente visualizza i contenuti condivisi dagli "amici" è maggiore di quella con la quale condivide le proprie informazioni.

In Tabella 2.4 sono sintetizzati i criteri di valutazione soggettivi definiti per l'*app* Facebook.



Parametri soggettivi	Criteri soggettivi	
Accessibilità		
Tempo Attesa Avvio Video (TAAV)	$\leq 5 \text{ s}$	
Rebuffering	Numero	Durata
	≤ 1	$\leq 5 \text{ s}$
Tempo Upload Immagine	$\leq 7 \text{ s}^*$	
Tempo Download Immagine	$\leq 5 \text{ s}$	

Tabella 2.4 - Criteri soggettivi Facebook

3. Misure e definizione soglie

Quanto descritto nei Capitolo 2 è riassunto dalla seguente tabella:

Parametri soggettivi				
Accessibilità al servizio	✓	✓	✓	✓
Tempo di Attesa Avvio Video	≤ 5 s	n.a.	n.v.	≤ 5 s
Rebuffering durante la visualizzazione di un video	≤ 1 s ∩ ≤ 5 s	n.a.	n.v.	≤ 1 s ∩ ≤ 5 s
Tempo Download Immagine	n.a.	n.v.	n.a.	≤ 5 s
Tempo Upload Immagine	n.a.	≤ 5 s	≤ 5 s	≤ 7 s
Tempo Invio Messaggio	n.a.	≤ 3 s	n.a.	n.v.

Tabella 3.1 - Tabella riassuntiva dei criteri di valutazione soggettivi relativi ad ogni applicazione esaminata

dove:

- **n.a.** = **non applicabile** : non è una funzionalità offerta dall'applicazione
- **n.v.** = **non valutato** : funzionalità non ritenuta rilevante ai fini della valutazione

Dopo avere individuato i parametri soggettivi associati alle funzionalità delle varie applicazioni ed i conseguenti criteri soggettivi, sono state effettuate delle **misure** volte a definire delle **soglie minime** per alcuni **parametri di rete** in grado di garantire il soddisfacimento dei suddetti criteri soggettivi.

Si noti che, le **misure** sono state effettuate considerando esclusivamente il segnale relativo ad una **rete 3G**.

Al fine di monitorare in tempo reale quei parametri oggettivi che impattano sulla *QoE* valutata secondo quanto illustrato in Tabella 3.1, si è utilizzata l'applicazione **Qualipoc**, prodotta dalla **SwissQual**, installata su un dispositivo Samsung Galaxy Note 4.

Quindi, per valutare la qualità del servizio dati, sono stati presi in considerazione **Throughput in Download, Throughput in Upload, RSCP** (*Received Signal Code Power*) e **Ec/Io** misurati mediante *Qualipoc*.

Si osservi che, nella definizione delle soglie, questi ultimi due parametri sono stati valutati congiuntamente in quanto il peso del *Ec/Io* varia in funzione del valore del RSCP.

Per poter analizzare il comportamento delle varie applicazioni in differenti condizioni radio, lo *smartphone* è stato inserito all'interno di un **box anecoico**.

Le misure sono state effettuate in due diversi intervalli di RSCP:

- RSCP ∈ [-110 dBm ; -100 dBm]
- RSCP ∈ [-120 dBm ; -110 dBm]

Sono stati scelti due intervalli critici di RSCP poiché, l'obiettivo della fase di misure è quello di definire delle soglie minime in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri di valutazione soggettivi precedentemente descritti (Capitolo 2).



Figura 3.1 - Dispositivo all'interno del box anecoico

Per pilotare dall'esterno il dispositivo racchiuso nel box, e quindi effettuare i *test* sulle varie applicazioni, si è utilizzato il *software Mobizen* [10].



Figura 3.2 - Mobizen

La scelta di Mobizen ha permesso di sfruttare la predisposizione USB del *box* anecoico utilizzato.

3.1 Test

Per ogni *mobile app* sono stati effettuati **15 test in ciascun intervallo di RSCP** considerato.

Al fine di ottenere una valutazione uniforme del comportamento di un'applicazione, si è scelto di utilizzare lo stesso contenuto multimediale per tutti i *test* relativi alla stessa funzionalità analizzata per una singola *app*.

Tale scelta ha portato alla necessità, prima di ogni *test*, di **cancellare i dati dell'applicazione** in esame, in quanto le applicazioni considerate adottano delle tecniche di *caching* che avrebbero altrimenti alterato le misure.

Come verrà mostrato nei successivi paragrafi, i risultati ottenuti dall'analisi dei dati estratti dal *post-processing* delle misure effettuate per ciascuna applicazione sono stati riassunti mediante delle tabelle in cui: nella **prima colonna** sono riportati i **parametri oggettivi** presi in considerazione nei *test*, mentre nella **prima riga** sono riportati i **parametri soggettivi** di interesse con i relativi criteri di valutazione soggettivi definiti (tra parentesi).

In questo modo, per i parametri oggettivi considerati sono state individuate delle **soglie minime** tali da rispettare i vincoli imposti dai vari criteri soggettivi. Inoltre, nei

riquadri **in azzurro**, sono stati evidenziati i **valori massimi** sulla riga che assicurano il soddisfacimento di tutti i criteri soggettivi di interesse.

Per l'individuazione delle soglie minime dei parametri oggettivi sono state adottate delle decisioni "a maggioranza" secondo le quali, per esempio, nel caso in cui 9 test su 10 abbiano verificato il criterio soggettivo, quell'unico valore spurio è stato trascurato.

Infine, per tutte le applicazioni, nella definizione delle soglie minime è stato considerato un margine di **tolleranza di ± 1 secondo** sulle misure temporali effettuate, in quanto non è stato possibile utilizzare dei metodi automatici di rilevazione e quindi le misure hanno inevitabilmente risentito dei tempi di reazione nell'arrestare il cronometro utilizzato. Tale approccio è ulteriormente giustificato del fatto che una variazione di ± 1 secondo risulta essere difficilmente percepibile da un utente.

3.1.1 Test Youtube

Come descritto precedentemente, per Youtube è stata valutata la visualizzazione di un video. In accordo con l'**ipotesi** riportata nel Capitolo 2, per i *test* è stato selezionato un video di durata piuttosto breve (**3m e 54s**) e con una qualità *standard* di **360p** [11]. Per la valutazione delle soglie, il *throughput* medio in *download* ed i valori medi di RSCP e E_c/I_0 sono stati valutati, a seconda del parametro soggettivo cui associarli, durante il Tempo di Attesa Avvio Video o

durante il solo **tempo di caricamento dell'intero video**. Si noti che quest'ultimo tempo può essere anche inferiore alla durata del video visualizzato.

Dall'analisi delle misure effettuate sono stati ricavati i risultati riassunti nella seguente tabella:

	Tempo Attesa Avvio Video $(\leq 5s)$	Rebuffering $(\leq 1 \cap \leq 5s)$
Throughput Medio Download [Kbps]	≥ 800	≥ 900
RSCP medio [dBm] e Ec/Io medio [dB]	≥ -101 e $\geq -10,2$	$\geq -102,2$ e $\geq -11,5$

Tabella 3.2 - Soglie minime di parametri di rete in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Youtube

I valori in Tabella 3.2 sono stati ottenuti graficamente dalle elaborazioni dei dati acquisiti, opportunamente rappresentate secondo quanto segue.

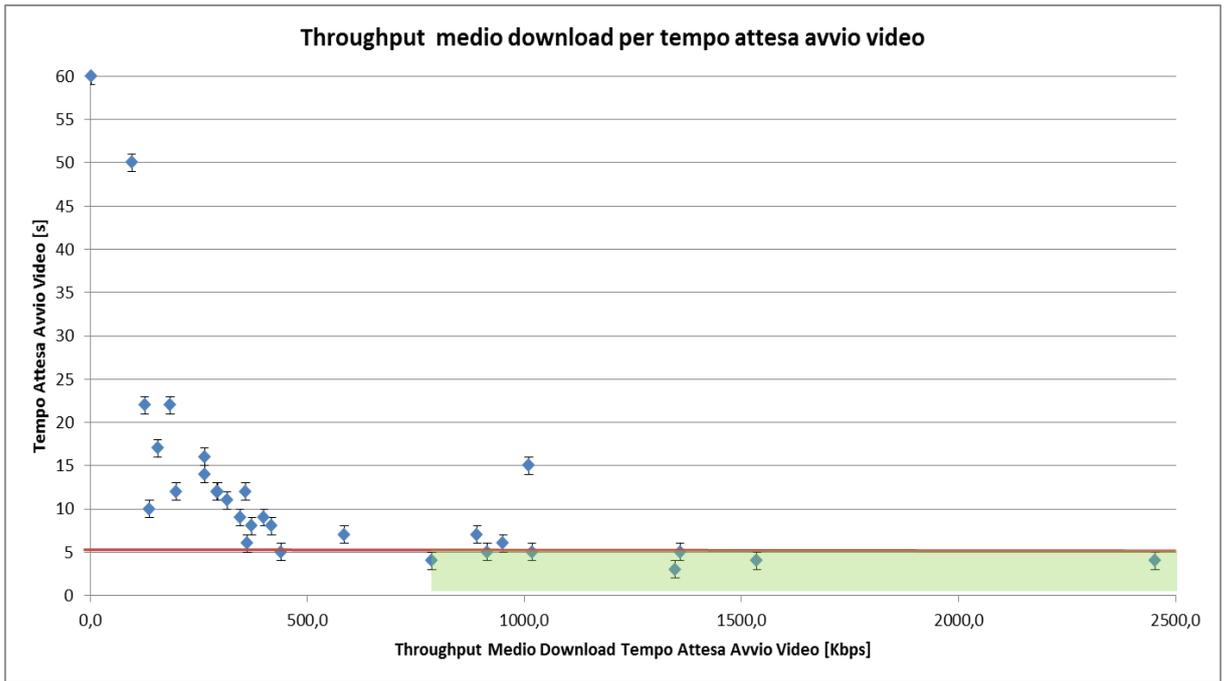


Figura 3.1 - Throughput medio in download per tempo attesa avvio video

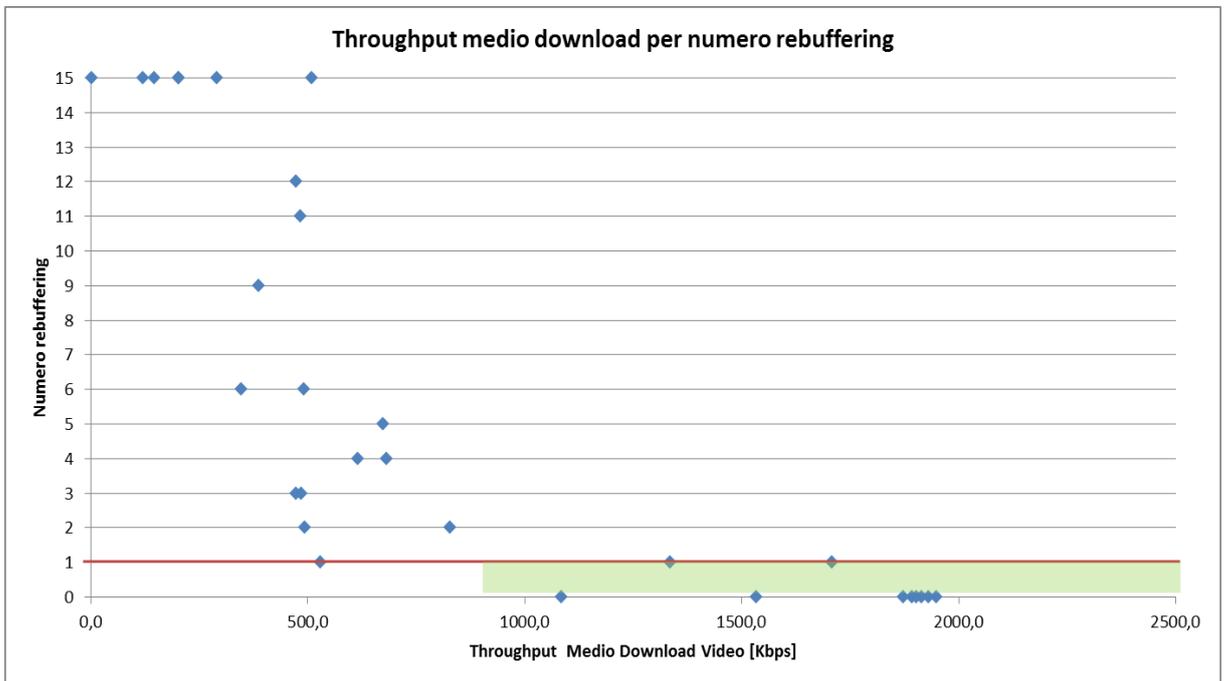


Figura 3.2 - Throughput medio in download per numero rebuffering

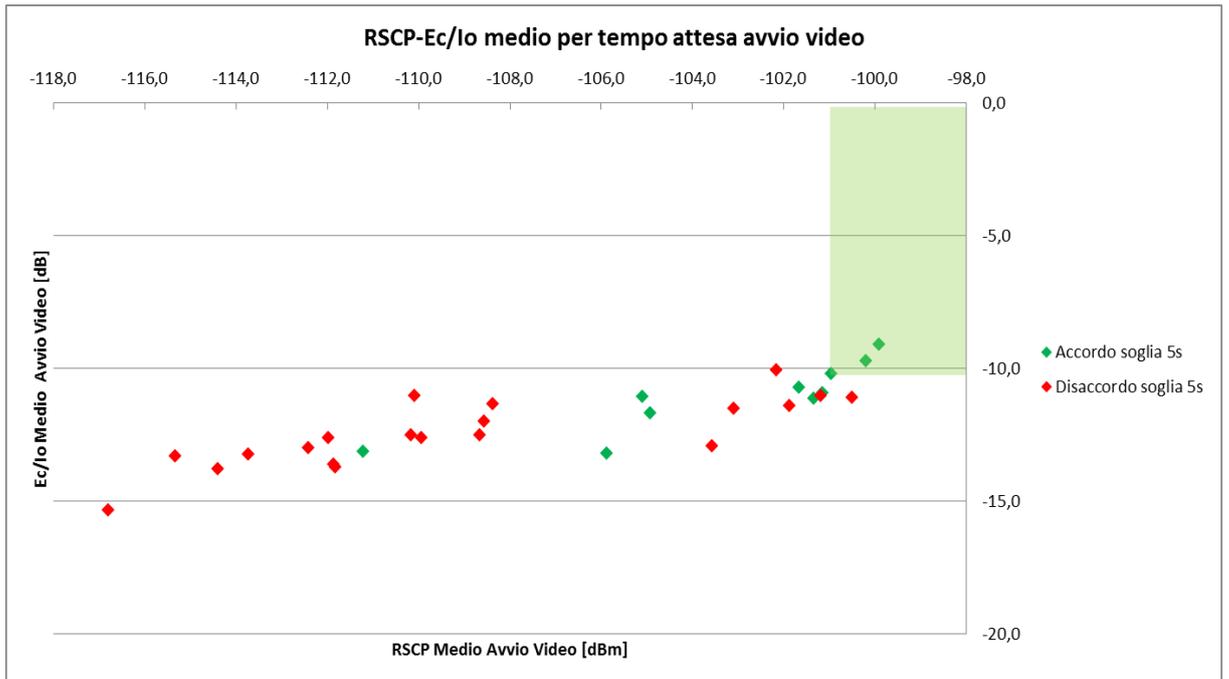


Figura 3.3 - RSCP-Ec/Io medio per tempo attesa avvio video

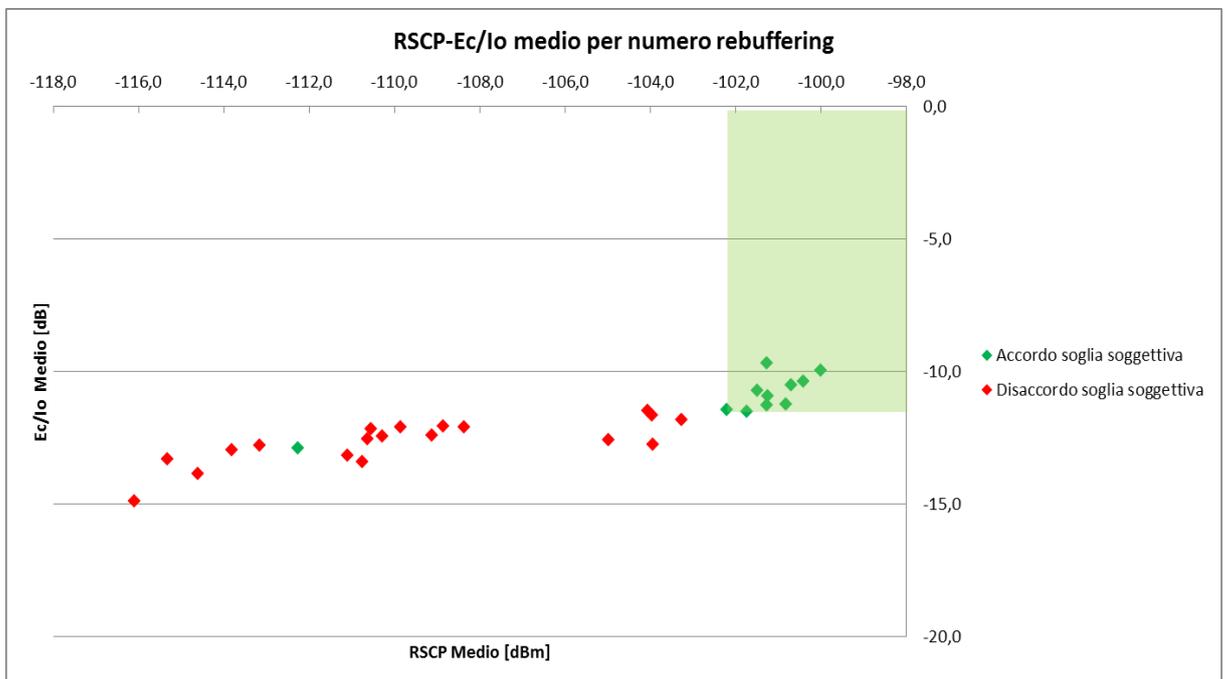


Figura 3.4 - RSCP-Ec/Io medio per numero rebuffering

3.1.2 Test Whatsapp

Nei test effettuati sull'applicazione Whatsapp, al fine di valutare le funzionalità di Invio Messaggio e Upload Immagine, si è fatto riferimento ad un **messaggio di 90 caratteri** (Figura 2.1) e ad un'**immagine** di dimensione pari a **2,4MB** con risoluzione di **6Mp** (Figura 3.5). Si osservi che le caratteristiche dell'immagine utilizzata possono essere ritenute quelle *standard* per le fotocamere presenti sugli odierni *smartphone*.



Figura 3.5 - Immagine utilizzata nei test di Upload Immagine

Dall'analisi delle misure ottenute nella fase di test, sono stati ricavati i risultati mostrati in Tabella 3.3.

Si osservi che, in quanto messaggistica istantanea, Whatsapp ha come obiettivo quello di consegnare celermente i contenuti inviati. Pertanto, nel caso di un'immagine, ne effettua una considerevole compressione a discapito della qualità. Per questo motivo i valori di *throughput* ottenuti dai test sono molto bassi se confrontati con la dimensione dell'immagine di riferimento utilizzata.

	Tempo Invio Messaggio $(\leq 3s)$	Tempo Upload Immagine $(\leq 5s)$
Throughput Medio Upload [Kbps]	$\geq 2,1$	$\geq 2,4$
RSCP medio [dBm] e	≥ -114 e	$\geq -115,9$ e
Ec/Io medio [dB]	≥ -14	≥ -14

Tabella 3.3 - Soglie minime di parametri di rete in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Whatsapp

I valori riportati in Tabella 3.3 sono stati ottenuti graficamente dalle elaborazioni dei dati acquisiti, opportunamente rappresentate come segue.

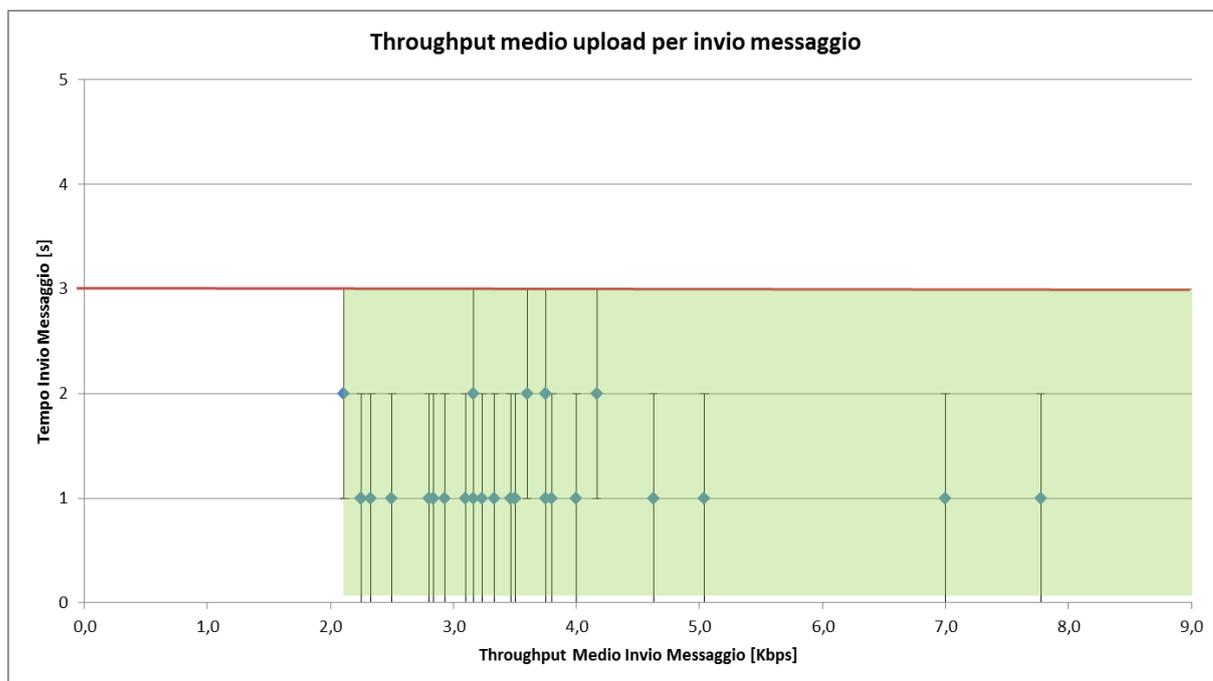


Figura 3.6 - Throughput medio in upload per invio messaggio

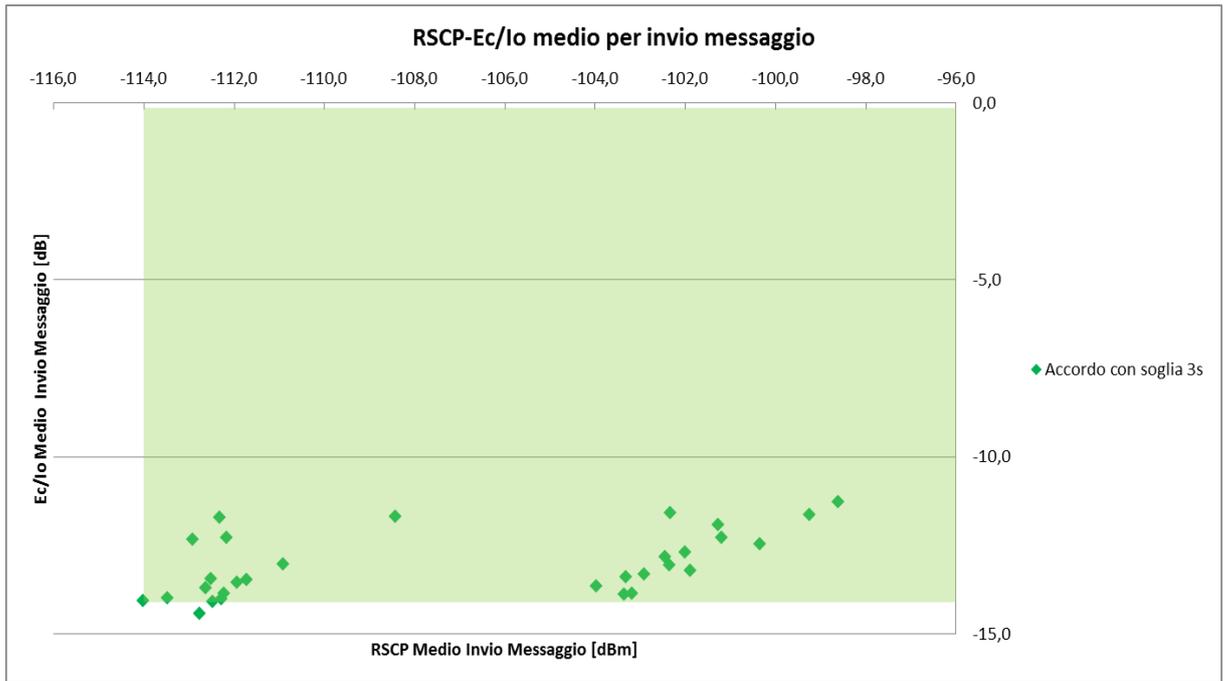


Figura 3.7 - RSCP-Ec/Io medio per invio messaggio

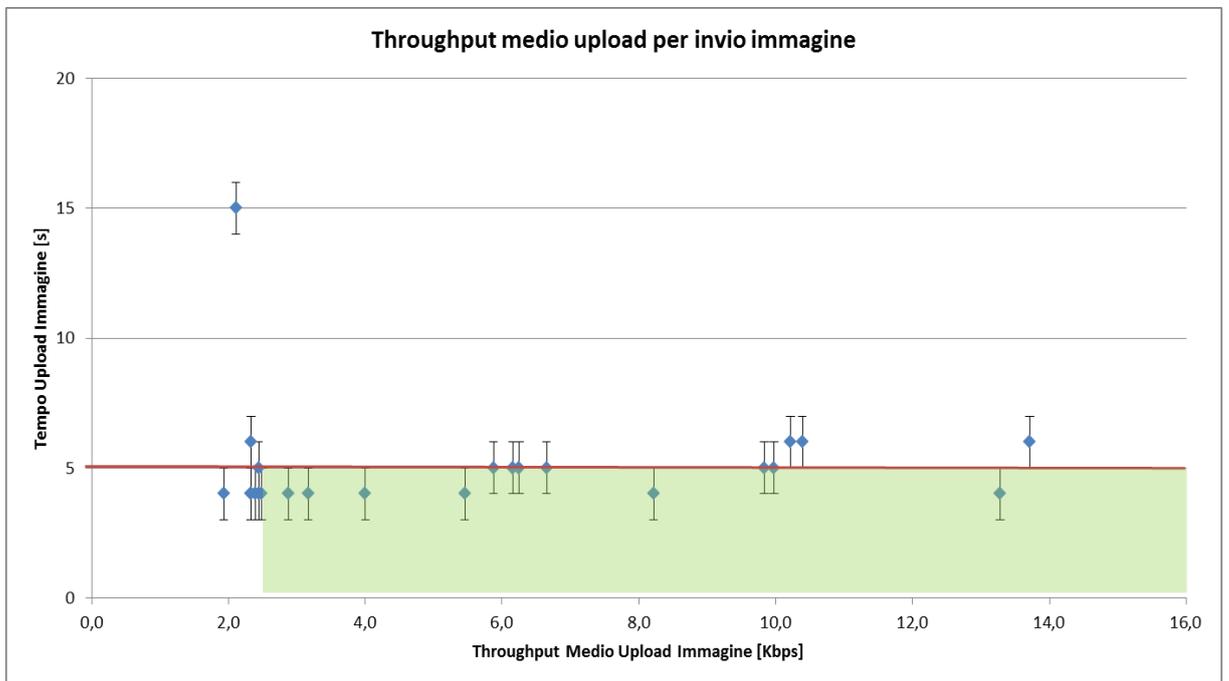


Figura 3.8 - Throughput medio in upload per invio immagine

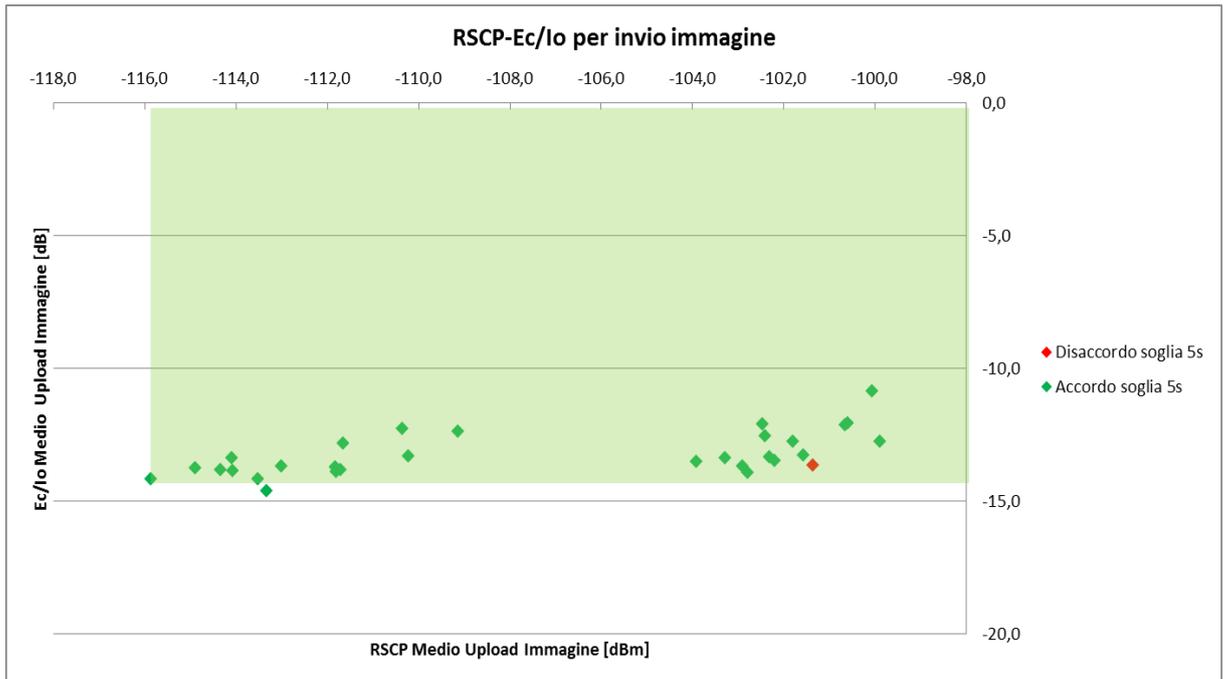


Figura 3.9 - RSCP-Ec/Io medio per invio immagine

3.1.2 Test Instagram

Per valutare l'*upload* di un'immagine attraverso la *mobile app* Instagram, si è fatto riferimento alla stessa **immagine** utilizzata nel caso di Whatsapp (dimensione pari a **2,4MB** e risoluzione **6Mp**).

Le soglie ottenute per i parametri oggettivi che rispettano i criteri di valutazione soggettivi sono mostrate in Tabella 3.4.

	Tempo Upload Immagine $(\leq 5s)$
Throughput Medio Upload [Kbps]	≥ 270
RSCP medio [dBm] e Ec/Io medio [dB]	$\geq -107,6$ e $\geq -11,9$

Tabella 3.4 - Soglie minime di parametri di rete in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Instagram

I valori in Tabella 3.4 sono stati ricavati graficamente dalle elaborazioni dei dati acquisiti, rappresentandole opportunamente come mostrato di seguito.

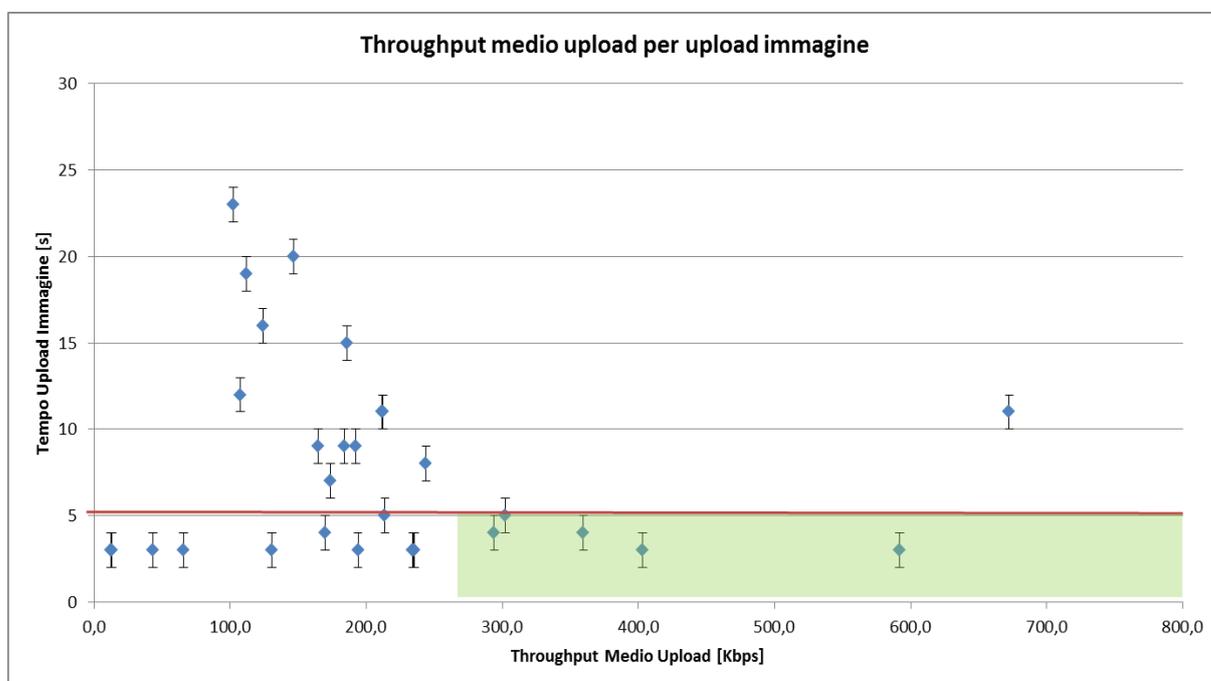


Figura 3.10 - Throughput medio in upload per upload immagine

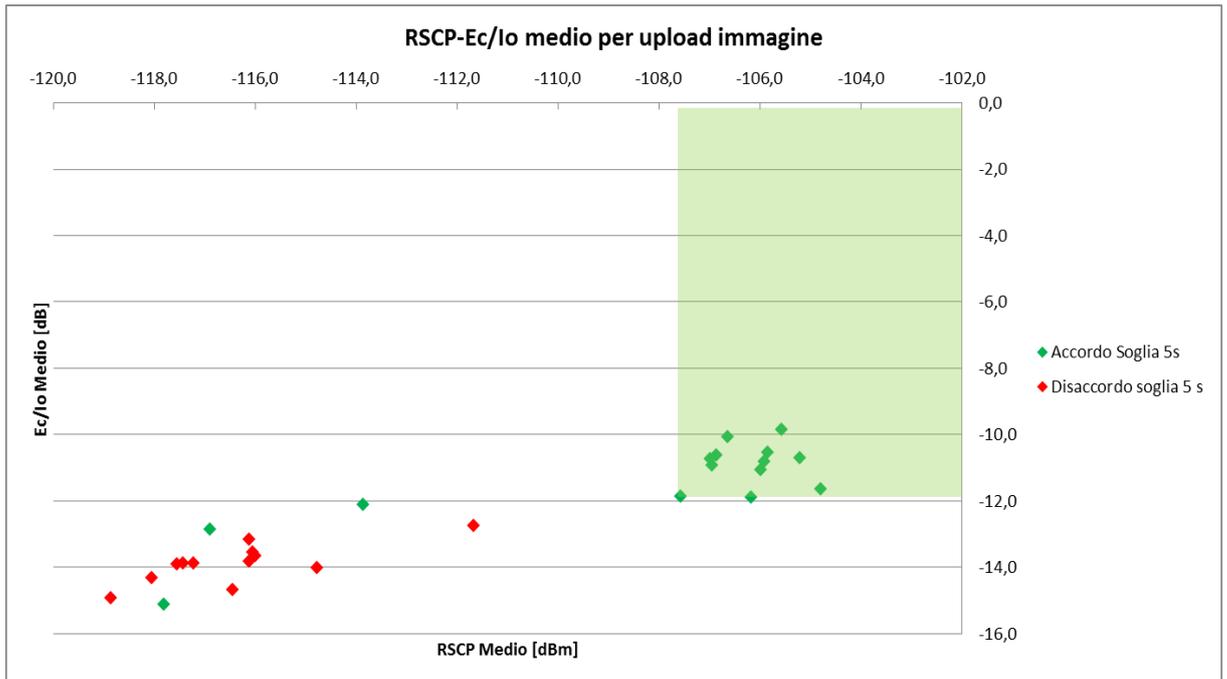


Figura 3.11 - RSCP-Ec/Io medio per *upload* immagine

3.1.2 Test Facebook

Per l'app Facebook sono state valutate le funzionalità di Visualizzazione Video, Download Immagine e Upload Immagine. L'immagine usata per i test in **download** (Figura 3.12) ha le dimensioni tipiche delle foto di media qualità che gli utenti pubblicano su Facebook (**87KB** con una risoluzione di **720x960p**).

Si osservi che tale immagine è stata caricata su profilo Facebook esistente e in origine aveva una dimensione di circa 2 MB con risoluzione di 6 Mp, questo evidenzia che Facebook utilizza automaticamente degli algoritmi di compressione delle immagini.



Figura 3.11 - Immagine utilizzata nei test di Download Immagine in Facebook

Diversamente, per valutare l'*upload* di un'*immagine* si è presa in considerazione ancora una volta la foto mostrata in Figura 3.5, di dimensione pari a **2,4 MB** e risoluzione **6 Mp**.

Infine, il **video** utilizzato nella fase di *test* ha una durata di **2m e 08s** e una risoluzione di **360p** [12], ovvero caratteristiche che possono essere ritenute quelle tipiche dei video pubblicati sul *social network*. Si osservi che, come nel caso di Youtube, per la valutazione delle soglie dei parametri oggettivi associati ai parametri soggettivi relativi alla Visualizzazione Video, il *throughput* medio in *download* ed i valori medi di RSCP e E_c/I_0 sono stati calcolati, a seconda del parametro soggettivo cui associarli, durante il Tempo di Attesa Avvio Video o durante il solo **tempo di caricamento dell'intero video**.

Dall'analisi delle misure effettuate nella fase di test, sono stati ricavati i risultati mostrati in Tabella 3.5.

	Tempo Attesa Avvio video ($\leq 5s$)	Rebuffering ($\leq 1 \cap \leq 5s$)	Tempo Download Immagine ($\leq 5s$)	Tempo Upload Immagine ($\leq 7s$)
Throughput Medio Download [Kbps]	≥ 700	≥ 150	≥ 400	-
Throughput Medio Upload [Kbps]	-	-	-	> 170
RSCP medio [dBm]	$\geq -106,9$	$\geq -114,8$	$\geq -107,3$	$> -106,8$
e	e	e	e	e
Ec/Io medio [dB]	$\geq -10,3$	$\geq -12,6$	$\geq -12,2$	$> -7,8$

Tabella 3.5 - Soglie minime di parametri di rete in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Facebook

Per quanto riguarda l'Upload Immagine, si osservi che a parità di immagine di riferimento, nonostante la soglia soggettiva ($\leq 7s$) sia più alta di quella definita per Instagram e Whatsapp ($\leq 5s$), il criterio soggettivo non è mai stato soddisfatto nei test. Poiché le condizioni radio in cui si è lavorato sono le stesse per tutte le applicazioni, ciò lascia pensare che la compressione delle immagini adottata da Facebook prima dell'*upload* non sia efficiente come quella di Instagram e soprattutto di Whatsapp. A sua volta, questa osservazione sembrerebbe

confermare che il funzionamento della *mobile app* Facebook sia stato ottimizzato per la visualizzazione delle notizie pubblicate dagli amici, così come assunto anche nel paragrafo 2.2.1.

I valori riportati in Tabella 3.5 sono stati ottenuti graficamente dalle elaborazioni dei dati acquisiti, opportunamente rappresentate come riportato di seguito.

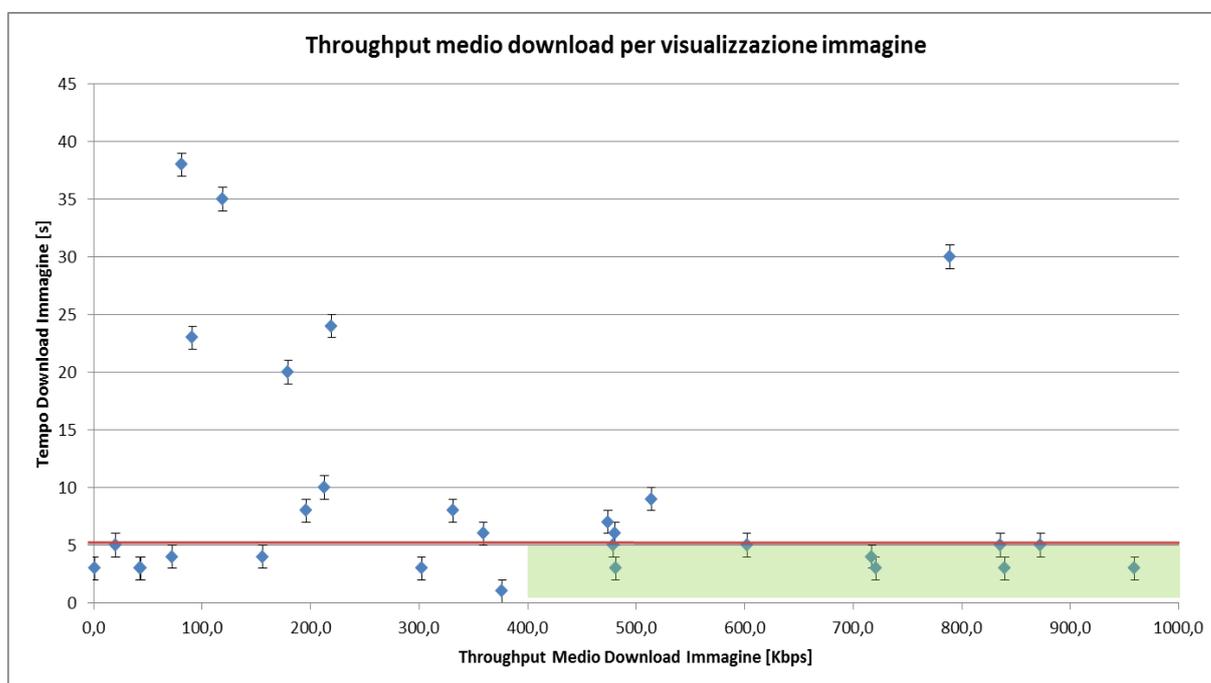


Figura 3.12 - Throughput medio in download per visualizzazione immagine

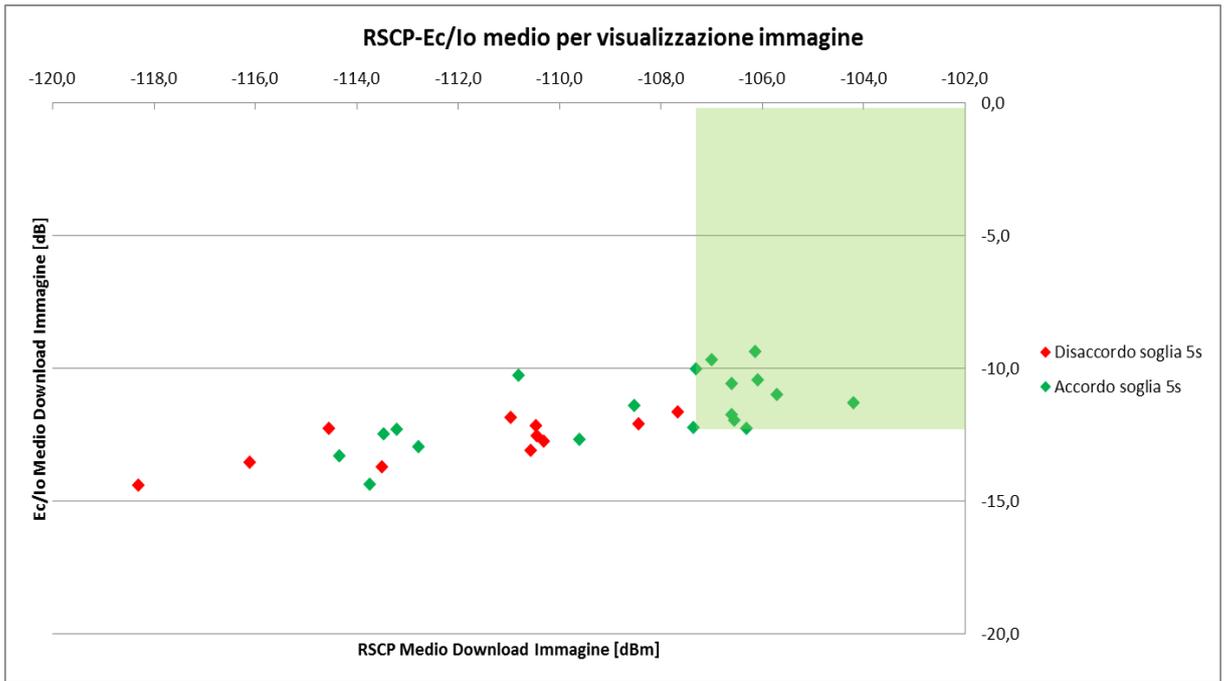


Figura 3.13 - RSCP-Ec/Io medio per visualizzazione immagine

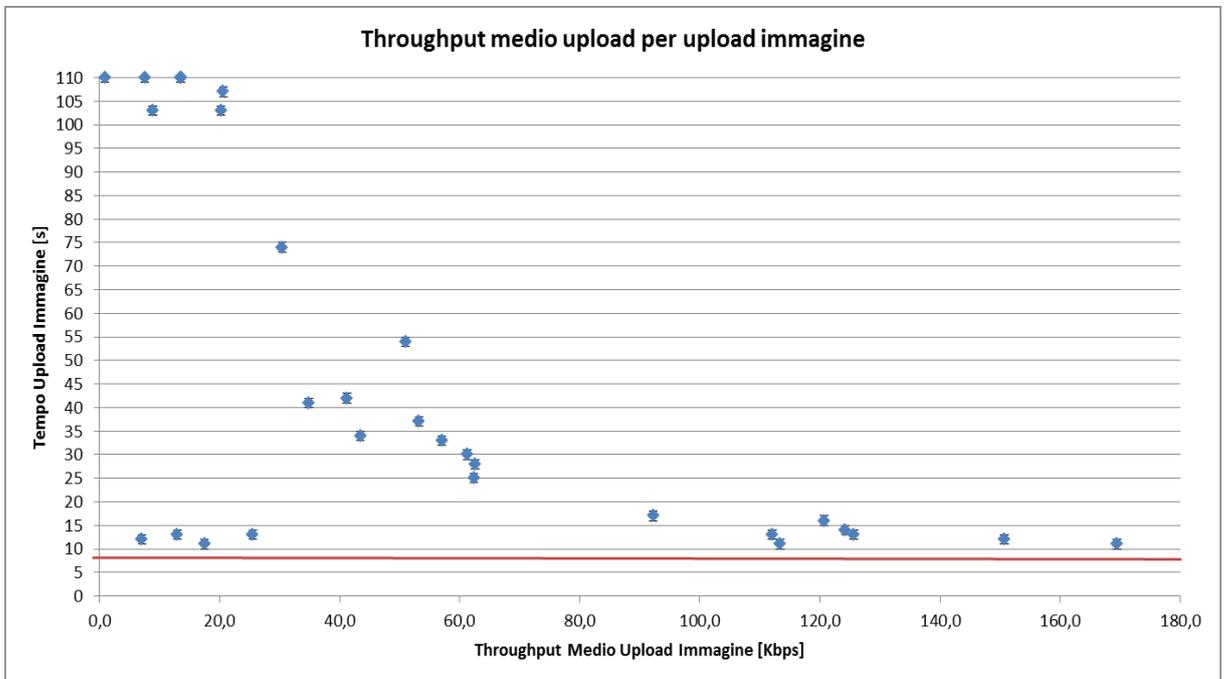


Figura 3.14 - Throughput medio in upload per upload immagine

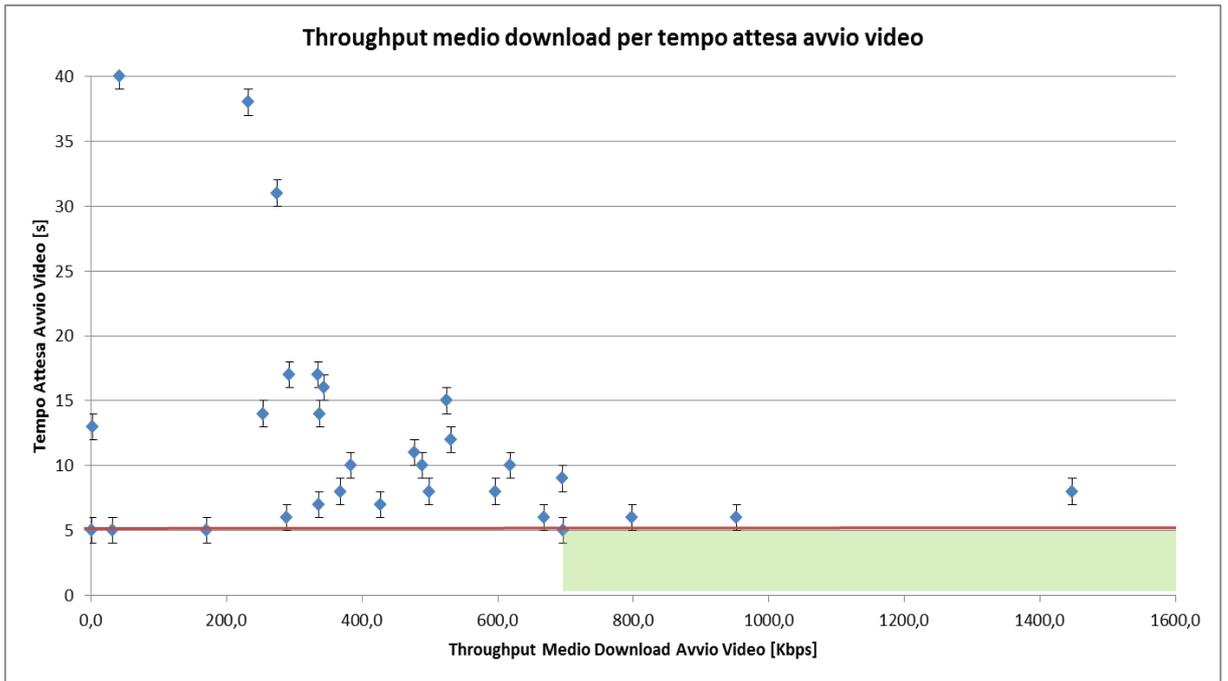


Figura 3.17 - Throughput medio in download per tempo attesa avvio video

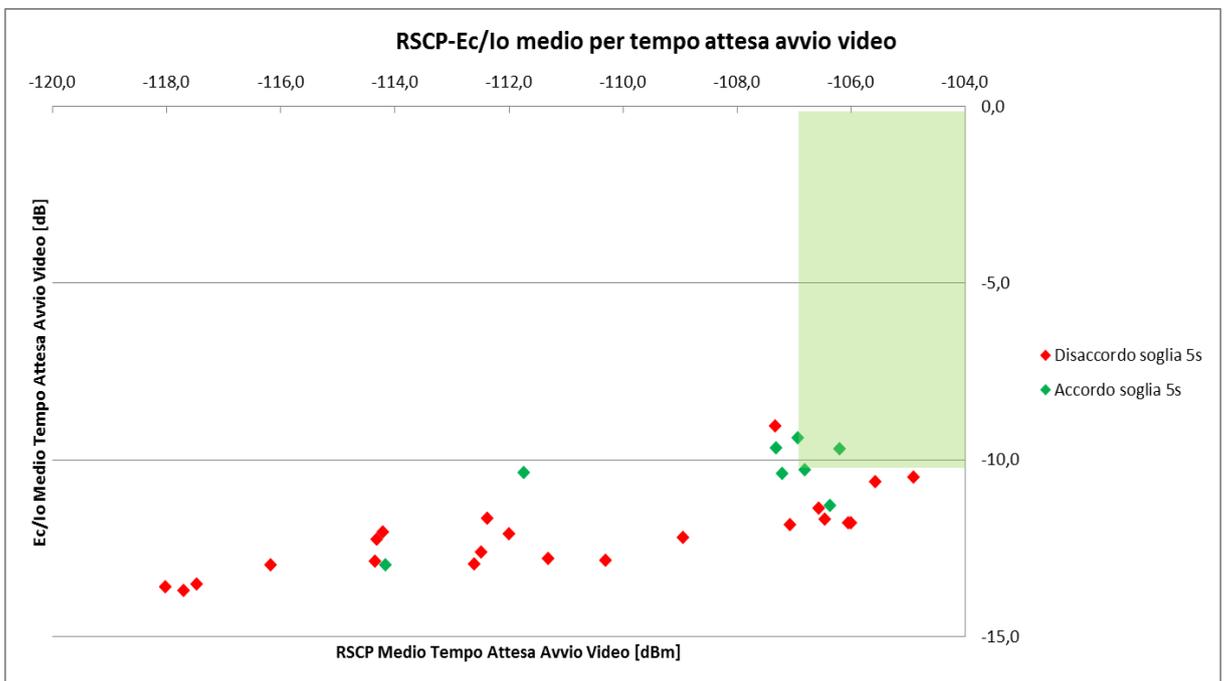


Figura 3.18 - RSCP-Ec/Io medio per tempo attesa avvio video

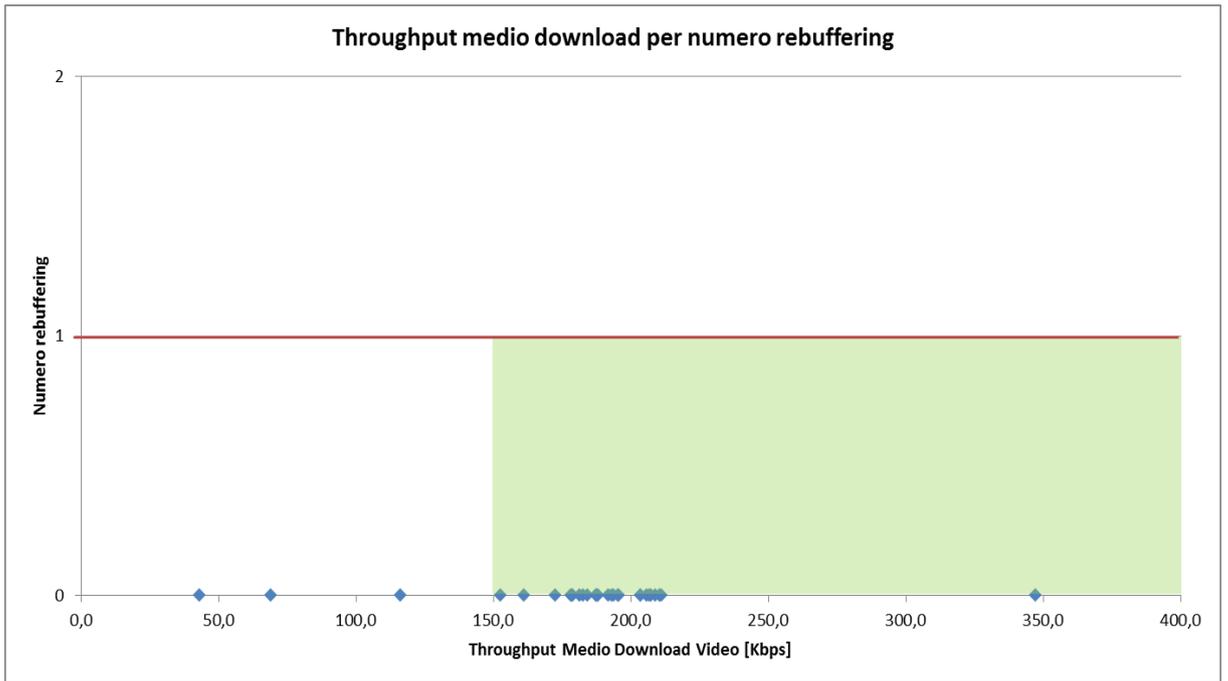


Figura 3.19 - Throughput medio in download per numero rebuffering

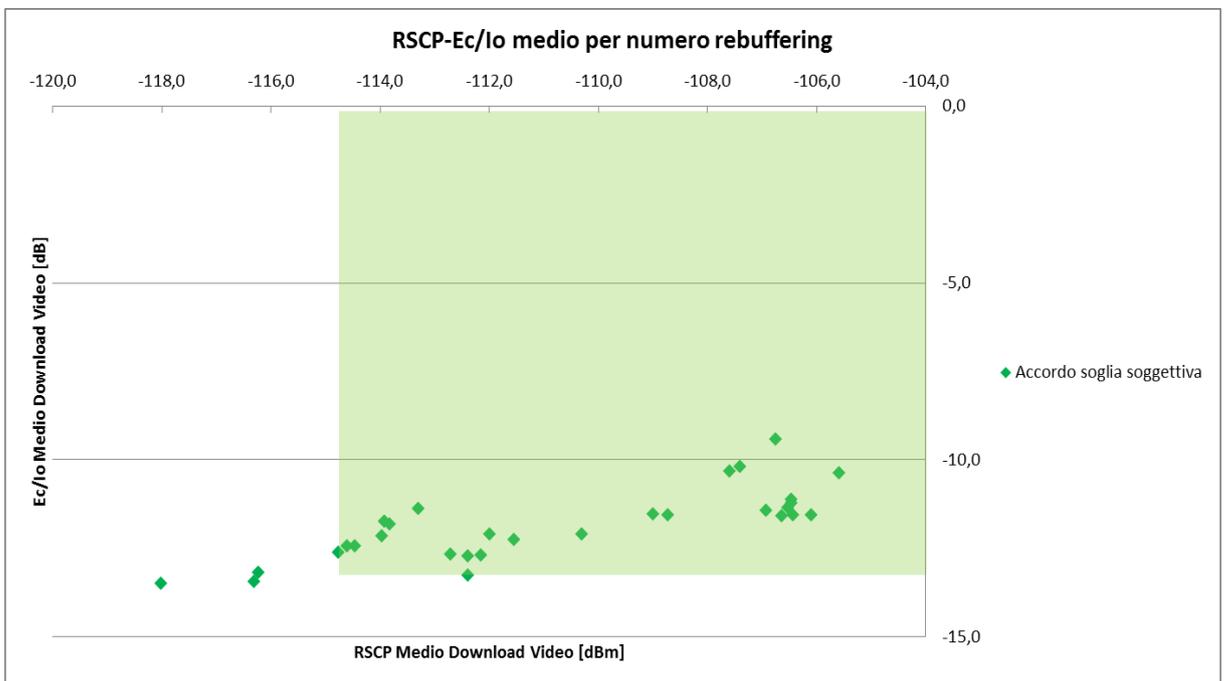


Figura 3.20 - RSCP-Ec/Io medio per numero di rebuffering

3.2 Definizione soglie per funzionalità considerata

Considerando quanto espresso dalle tabelle riportate nel Paragrafo 3.1, per ciascuna funzionalità comune alle varie applicazioni è stato possibile individuare delle soglie minime di parametri tecnici, in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi relativi alla funzionalità considerata per tutte quelle applicazioni che la condividono.

Per quanto riguarda i valori medi di RSCP e E_c/I_0 , la valutazione congiunta di questi due parametri comporta la necessità di analizzare caso per caso i vincoli emersi.

Quindi al fine di ottenere una valutazione uniforme delle funzionalità analizzate nelle varie applicazioni, il parametro tecnico più idoneo risulta essere il *throughput* medio in *download* o in *upload*.

Il risultato di questo confronto è riassunto dalle seguenti tabelle, in cui le **soglie minime** per i **parametri oggettivi** risultano **classificate in base alla funzionalità analizzata**.

I valori ottenuti per la **Visualizzazione Video**, analizzata per l' *app* Yuotube e l' *app* Facebook, sono riassunti in Tabella 3.6.

Visualizzazione Video			
		Tempo Attesa Avvio Video ($\leq 5s$)	Rebuffering ($\leq 1 \cap \leq 5s$)
Throughput Medio Download [Kbps] <i>(Relativo al completo caricamento del video)</i>		≥ 900	

Tabella 3.6 - Soglia minima di *throughput* medio in *download* in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Youtube e Facebook per la Visualizzazione Video

Si noti che il vincolo sul *throughput* medio in *download* riportato in Tabella 3.6 fa riferimento ad un valore calcolato solo durante il tempo necessario per il completo caricamento del video da visualizzare. In particolare si noti che nel caso dei test effettuati su **Youtube**, nelle prove che hanno verificato **entrambi i criteri soggettivi** imposti, il tempo impiegato per l'intero caricamento del video è risultato mediamente pari al **45%** della durata del video da visualizzare.

Invece, nei test effettuati su **Facebook**, nelle prove che hanno verificato **entrambi i criteri soggettivi** imposti, il tempo impiegato per l'intero caricamento del video è risultato mediamente pari al **50%** della durata del video da visualizzare.

In Figura 3.21 e Figura 3.22 vengono riportati, a titolo di esempio, gli andamenti del *throughput* in *download* di due prova che hanno rispettato entrambi i criteri soggettivi.

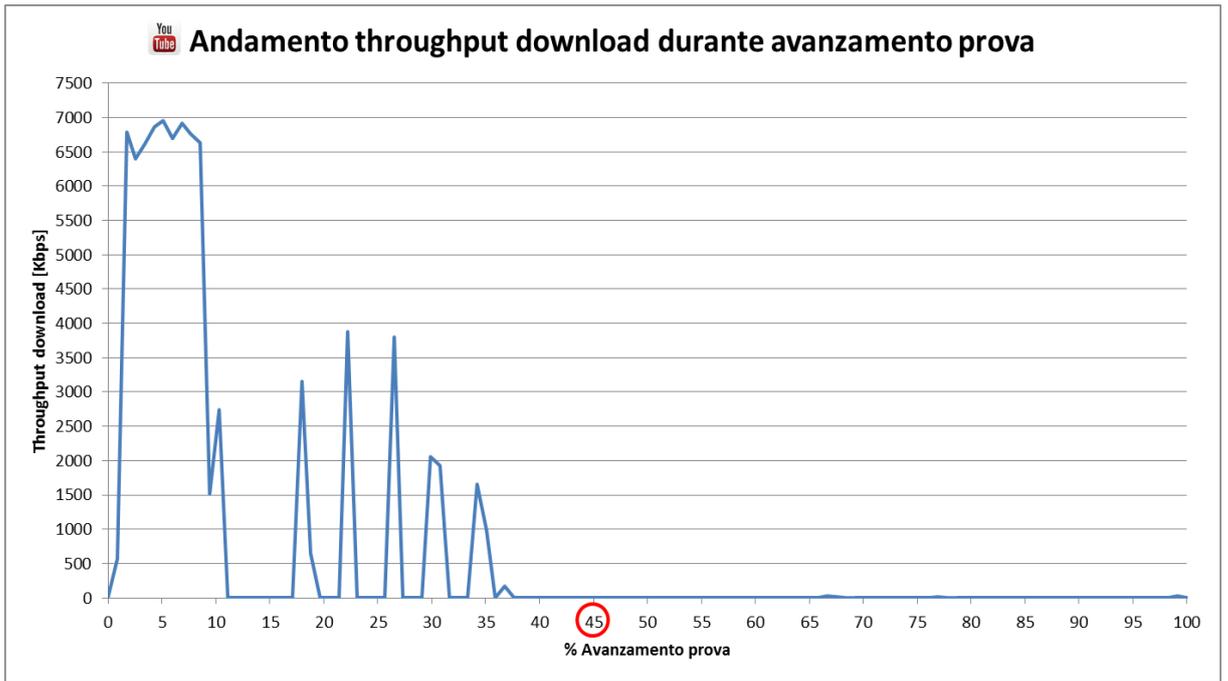


Figura 3.21 – Andamento *throughput* in *download* durante avanzamento prova (Youtube)

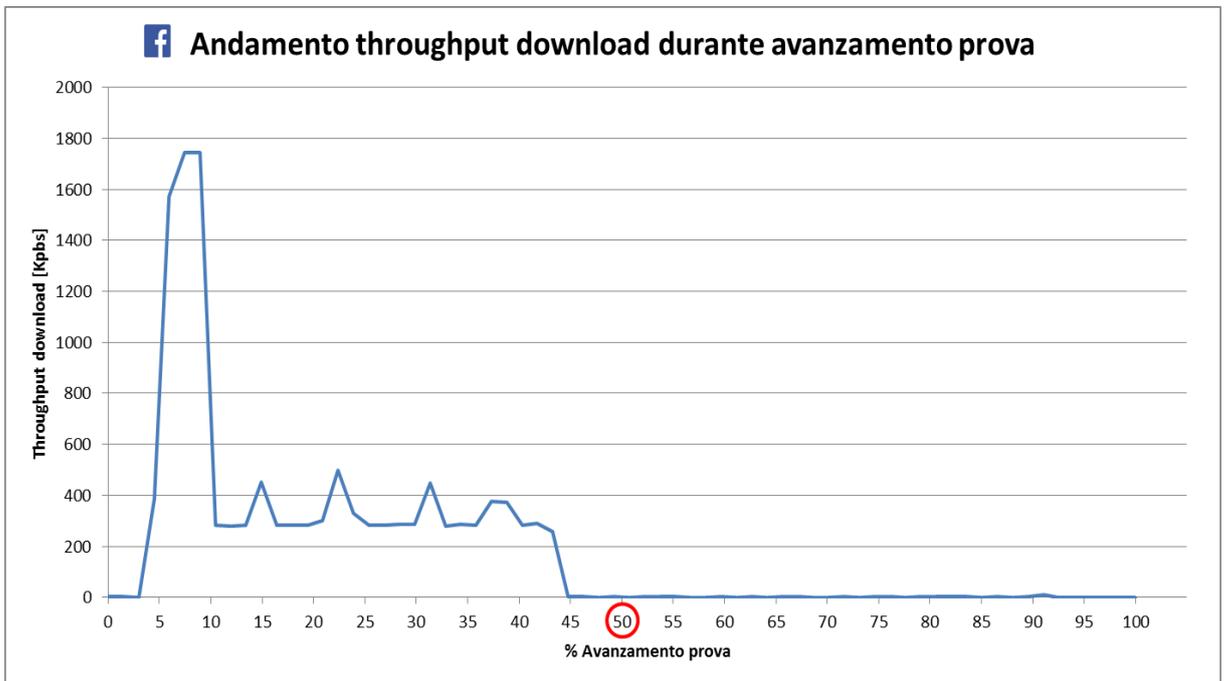


Figura 3.22 - Andamento *throughput* in *download* durante avanzamento prova (Facebook)

Risulta importante sottolineare che per la **Visualizzazione Video** hanno confermato entrambi i criteri di valutazione soggettivi imposti solo le prove svolte per valori di RSCP € [-110 dBm ; -100 dBm].

I risultati ottenuti per la funzionalità **Upload Immagine**, analizzata per le *app* Whatsapp, Instagram e Facebook, sono riassunti in Tabella 3.7.

Upload Immagine	
  	Tempo Upload Immagine
Throughput Medio Upload [Kbps]	≥ 270

Tabella 3.7 - Soglia minima di *throughput* in *upload* in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Whatsapp, Instagram e Facebook per l'Upload Immagine

Si ricordi che i criteri soggettivi precedentemente definiti per l'Upload Immagine nelle varie applicazioni che offrono questa funzionalità sono i seguenti:

- **Whatsapp e Instagram:** Tempo Upload Immagine ≤ 5s
- **Facebook:** Tempo Upload Immagine ≤ 7s

La soglia in Tabella 3.7 assicura il soddisfacimento di entrambi i criteri soggettivi nelle relative applicazioni in cui è stato valutato l'Upload immagine.

Per la funzionalità **Download Immagine**, valutato per la sola *app* Facebook, sono stati ottenuti i risultati riportati in Tabella 3.8.

Download Immagine	
	Tempo Download Immagine ($\leq 5s$)
Throughput Medio Download [Kbps]	≥ 400

Tabella 3.8 - Soglia minima di throughput medio in download in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Facebook per il Download Immagine

Infine, per l' **Invio Messaggio**, analizzato soltanto per l'app Whatsapp sono emersi i risultati riassunti in Tabella 3.9.

Invio Messaggio	
	Tempo Invio Messaggio ($\leq 3s$)
Throughput Medio Upload [Kbps]	$\geq 2,1$

Tabella 3.9 - Soglia minima di throughput medio in upload in grado di garantire il soddisfacimento dei criteri soggettivi definiti per Whatsapp per l'Invio Messaggio

Dall'analisi di queste ultime tabelle risulta evidente che il **vincolo più stringente** per il **throughput medio in download** è quello imposto dai criteri soggettivi relativi alla **Visualizzazione Video**, valutata solo in Youtube e Facebook.

4. Studio di una sonda DPI volto alla definizione di KPI

Dall'analisi delle soglie individuate e descritte nel Capitolo 3, risulta evidente che il vincolo più stringente in relazione al **throughput medio in download** è quello imposto dai criteri di valutazione soggettivi relativi alla **Visualizzazione Video**.

In aggiunta recenti stime mostrano come la **Visualizzazione Video** rappresenta la porzione più grande e maggiormente in crescita del traffico dati da terminali mobili. A tal proposito risulta che circa il 40% del volume del traffico dati globale del 2013 è da attribuire alla visualizzazione video mentre solo il 10% è rappresentato dai *social network* [2].

Inoltre il traffico dati destinato a questa funzionalità, sembra essere destinato a crescere di 13 volte entro il 2019 (rispetto a quello misurato nel 2013), al termine del quale il 50% del volume globale del traffico dati mobile sarà dovuto alla visualizzazione video, come mostrato in Figura 4.1 e Figura 4.2 [2].

>50%

of mobile data traffic will come from video in 2019

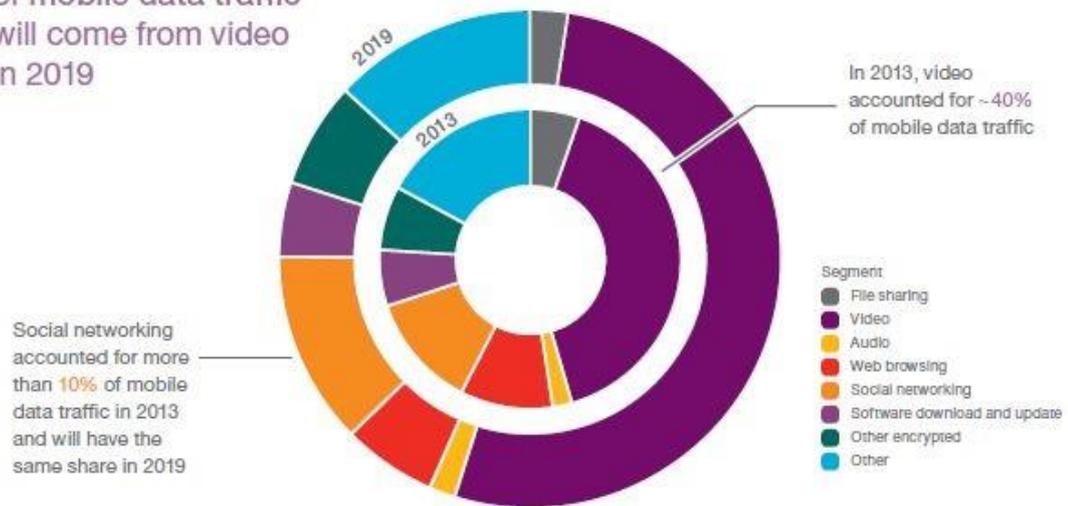


Figura 4.1 – Previsione della percentuale di traffico dati dedicata alla visualizzazione video rispetto al totale (2013-2019)

Mobile data traffic by application type (monthly ExaBytes)



13X

growth in mobile video traffic between 2013 and 2019

Figura 4.2 – Previsione incremento traffico dati (2013-2019)

Quanto detto spinge a focalizzare l'attenzione sulla sola visualizzazione video nella definizione di KPI in grado di monitorare la **Quality of Experience** sperimentata dagli utenti.

In particolare questo tipo di funzionalità verrà valutata per la sola *app* Youtube poiché ritenuta la più utilizzata per tale scopo. A conferma di ciò basta pensare che Youtube registra oltre un miliardo di utenti, quasi un terzo degli utenti globali su *internet*, e quotidianamente gli utenti guardano centinaia di milioni di ore di video su Youtube generando miliardi di visualizzazioni [13].

Inoltre il numero di ore che gli utenti dedicano alla visualizzazione video attraverso Youtube da dispositivi mobili aumenta del 100% su base annua; nel 2013 oltre il 20% delle visualizzazioni video attraverso Youtube sono avvenute attraverso terminali mobili [14], oggi tale dato ha superato il 50% [13].

Al fine di definire dei KPI relativi alla visualizzazione video attraverso l'applicazione Youtube, si è analizzato un documento di specifiche e dei dati misurati relativi ad una **sonda DPI** (*Deep Packet Inspection*) messi a disposizione dalla società **Nokia Solutions & Networks**.

In particolare si è concentrata l'attenzione sull'individuazione dei campi di interesse del protocollo HTTP, utilizzato dall'applicazione Youtube [15] [16], misurati in corrispondenza dell'interfaccia GnGp (mostrata in Figura 4.3).

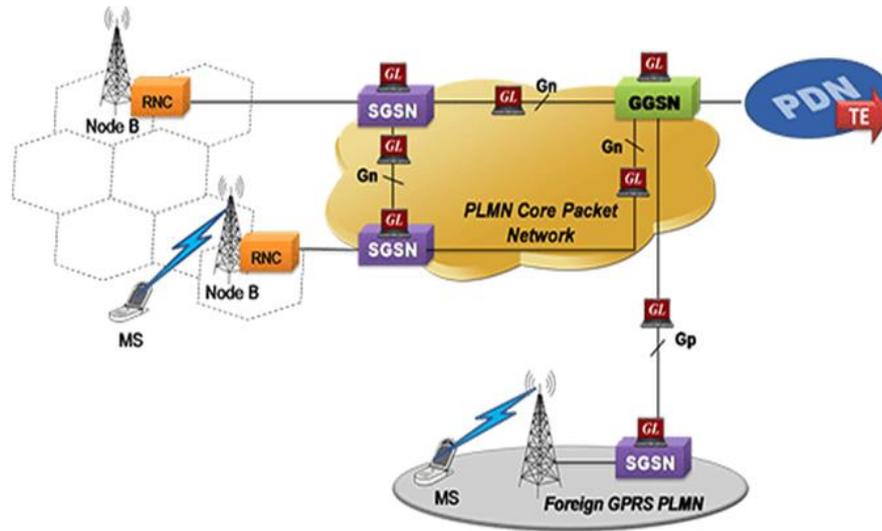


Figura 4.3 - Interfaccia GnGp

Va precisato che in merito alla visualizzazione video attraverso Youtube è opportuno riferirsi alla tecnica del *download progressivo* piuttosto che alla tecnica dello *streaming* video. Infatti Youtube utilizza di *default* il *download progressivo* basato sul protocollo HTTP per *user desktop* e per le *app* Youtube Android ed Apple.

Nei rari casi di dispositivi mobili che non supportano il *download progressivo*, viene utilizzato il protocollo *3GPP Video Streaming* basato su RTSP (*Real Time Streaming Protocol*) [15].

Più in dettaglio il *download progressivo* è una tecnica utilizzata per il trasferimento di file multimediali, da un *server* ad un *client*, il quale può avviare la riproduzione prima che il *download* dell'intero *file* sia avvenuto completamente. Il *media player* capace di riprodurre un contenuto multimediale attraverso la tecnica del *download progressivo* utilizza dei metadati allocati all'inizio del *file* per ricostruirlo ed un *buffer* locale del *file* multimediale così com'è stato scaricato dal *web server*.

Il *media player* avvierà la riproduzione del *file* quando sarà disponibile una determinata quantità di dati [15].

Generalmente questa tecnica utilizza il protocollo HTTP.

Anche lo *streaming*, come il *download progressivo*, permette all'utente di poter iniziare la visualizzazione del contenuto multimediale senza dover necessariamente attendere il *download* dell'intero *file*.

La principale differenza tra il *download progressivo* e lo *streaming* video risiede nella modalità con cui il dispositivo dell'utente finale riceve e immagazzina i dati del contenuto digitale.

Infatti, poiché il *download progressivo* utilizza il protocollo HTTP, il video viene distribuito all'utente che ne fa richiesta attraverso un flusso comunicativo a pacchetti, assimilabile a quello delle normali pagine HTML, eccezion fatta per l'utilizzo di un *media player* necessario per la lettura dei dati.

Lo *streaming* necessita invece di particolari *software*, protocolli ed architetture, che possano consentire l'istaurazione di un flusso di comunicazione costante tra *provider* e *client*.

4.1 Sonda DPI (*Deep Packet Inspection*)

La tecnica DPI (*Deep Packet Inspection*) permette di analizzare e classificare il traffico dati guardando all'interno del contenuto dei pacchetti. Negli ultimi anni ha suscitato particolare interesse in quanto consente di differenziare il profilo di offerta non soltanto su base utente ma anche sulla base della tipologia di servizio scelto [17].

Ogni pacchetto di rete è composto da un campo *header* e da un campo *payload*. Mentre il campo *header* contiene le informazioni necessarie alla trasmissione del pacchetto (indirizzo del trasmettitore, indirizzo del ricevitore, info sulla vita del pacchetto), il campo *payload* contiene tutte le altre informazioni, compresa l'identità dell'applicazione di origine (per esempio una richiesta del *browser* o *e-mail*), così come il contenuto del messaggio stesso. Tipicamente le comunicazioni *internet* vengono elaborate sulla base delle informazioni contenute nell'*header* del pacchetto. La tecnologia DPI, invece, apre e legge il campo *payload* in tempo reale [18.] Infatti le tecniche DPI effettuano un'analisi più accurata del traffico in rete, che coinvolge non soltanto gli *header* IP e TCP/UDP (*Layer* 3 e 4 nello *stack* protocollare OSI), ma permette di analizzare anche la parte di *header* e *payload* applicativo dei pacchetti (*Layer* 7), offrendo in tal modo una classificazione molto più accurata del traffico [17].

Questo consente agli operatori di rete di controllare ed identificare più precisamente, l'utilizzo della rete da parte degli utenti.

È possibile utilizzare la tecnica DPI anche per cercare di categorizzare statisticamente la tipologia di traffico aggregato che attraversa una rete dati.

Inoltre congiuntamente alla *Policy Manager* l'utilizzo di tecniche DPI può contribuire al miglioramento della *user experience* dell'utente finale sfruttando la capacità di classificazione del traffico in base alla specifica applicazione e protocollo. Grazie a questa classificazione è possibile, ad esempio, misurare l'incidenza delle diverse applicazioni utilizzate dagli utenti sul traffico totale trasportato in rete. Inoltre gli apparati DPI consentono di effettuare un'efficace gestione del traffico al fine di garantire a tutti i clienti un uso equo delle risorse di rete, prevenendo ed evitando fenomeni di congestione [19].

La **sonda DPI** considerata per la definizione dei KPI, che verranno descritti nel Paragrafo 4.2, è in grado di discriminare il **traffico** relativo ad una **specific app** (per esempio Youtube, Facebook, Whatsapp ed Instagram) utilizzata da un **singolo utente** che si trova nell'area di copertura di in una **particolare cella**; quindi è in grado di distinguere gli utenti sulla base dell'**area geografica** in cui si trovano ed in base alla **tecnologia utilizzata**.

4.2. Definizione KPI (*Key Performance Indicator*)

Come precedentemente detto nel Capitolo 4, sono stati definiti dei KPI (*Key Performance Indicator*) in merito alla Visualizzazione Video analizzata per l'app Youtube. Quindi si sono analizzati dei file di *export* di misure e un documento di specifiche di una sonda DPI al fine di individuare dei campi di interesse del protocollo HTTP, utilizzato dall'applicazione Youtube [15] [16], misurati in corrispondenza dell'interfaccia GnGp.

In particolare i campi ritenuti di interesse per tale finalità sono i seguenti:

- Campo **Answered**: campo booleano che indica se la richiesta ha avuto risposta
- Campo **Request**: specifica il tipo di messaggio della richiesta (per esempio GET)
- Campo **Host**: URL della risorsa (per esempio puntata da una GET)
- Campo **Bytes Download**: numero totale di *byte* complessivamente scaricati relativamente alla richiesta considerata
- Campo **Retransmitted Download**: numero totale di *byte* ritrasmessi in *download* relativamente alla richiesta considerata
- Campo **Time Download**: tempo effettivo del *download* dei dati relativi alla richiesta considerata [msec]
- Si è scelto di indicare con Δt l'intervallo di osservazione definito **dalla granularità della sonda**

I KPI sono stati definiti in relazione al singolo **utente attivo in una cella** con tecnologia **3G** individuabile attraverso i seguenti campi:

- Campo **IMEI** (*International Mobile Equipment Identity*): codice che identifica in maniera univoca un terminale mobile
- Campo **RAT** (*Radio Access Technology*): identificativo della tecnologia utilizzata (nel caso specifico 3G)
- Campo **CGI** (*Cell Global Identity*): da questo campo è possibile ricavare il campo **CI** (*Cell Identifier*) che identifica univocamente la cella

A partire dall'individuazione dei campi di interesse sono stati definiti i seguenti parametri di base utili alla definizione dei KPI.

- **Bitrate** in **download** (**R**):

$$R = \frac{\text{Bytes Download}}{\text{Time Download}} \cdot \frac{8}{10^{-3} \cdot 1000} = \frac{\text{Bytes Download}}{\text{Time Download}} \cdot 8 \text{ [Kbps]}$$

- **Retransmission rate** in **download** (**TR**):

$$T_R = \frac{\text{Retransmitted Download}}{\text{Bytes Download}}$$

Inoltre **attraverso test condotti con il software Wireshark** è emerso che tutte le **richieste HTTP** di tipo **GET** relative ad un video visualizzato attraverso l'applicazione **Youtube** hanno nel **Campo Host un URL che termina con "googlevideo.com"**.

4.2.1 KPI di base

Sono stati definiti ulteriori parametri necessari per la definizione e la formulazione di un primo KPI, detto **KPI di base**.

In particolare, siano:

- 1) $T_k = [\Delta t_{1+(k-1)\cdot 30}; \Delta t_{1+(k-1)\cdot 30+29}]$ con $k \in \mathbb{N}$, dove Δt è un intervallo temporale della durata di **1 minuto** definito dalla granularità della sonda
- 2) $IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G} = i$ -esimo IMEI (utente) che in T_k è all'interno della cella con RAT = {3G} e CI = { α }
- 3) $GET_You_{m,k}^{IMEI(\alpha)_{i,k}^{3G}} = m$ -esima GET verso un HOST che termina con "...googlevideo.com" effettuata in T_k dall' i -esimo IMEI (utente) che in T_k è all'interno della cella con RAT = {3G} e CI = { α }
- 4) $N_{i,k} =$ numero totale di GET verso un HOST che termina con "...googlevideo.com" effettuate in T_k da $IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G}$
- 5) $R_{GET_You_{m,k}^{IMEI(\alpha)_{i,k}^{3G}}} =$ *bitrate in download* relativo all' m -esima GET verso un HOST che termina con "...googlevideo.com" effettuata in T_k dall' i -esimo utente che in T_k è all'interno della cella con RAT = {3G} e CI = { α }
- 6) $T_{R_{GET_You_{m,k}^{IMEI(\alpha)_{i,k}^{3G}}}} =$ *retransmission rate in download* relativo all' m -esima GET verso un HOST che termina con "...googlevideo.com" effettuata in T_k dall' i -esimo utente che in T_k è all'interno della cella con RAT = {3G} e CI = { α }

Si noti che il KPI è stato definito considerando un intervallo di osservazione di **30 minuti**.

Se $N_{i,k} \neq 0$,

$$C_k^{(IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G})} = \frac{1}{N_{i,k}} \sum_{m=1}^{N_{i,k}} [(1 - T_R) \cdot R]_{GET_You_{m,k}^{IMEI(\alpha)_{i,k}^{3G}}}$$

$C_k^{(IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G})}$ rappresenta il *throughput* medio per l'applicazione Youtube di un singolo utente che nell'intervallo T_k si trova all'interno della cella con RAT = {3G} e CI = { α }.

Quindi sulla base delle soglie, ottenute a valle della fase di test, precedentemente definite e descritte nel Capitolo3, si può affermare che:

$$\text{Se } \begin{cases} C_k^{(IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G})} \geq 900 \text{ [Kbps]} \Rightarrow \text{TAAV} \leq 5 \text{ sec} \cap \{\text{numero rebuffering} \leq 1 \cap \text{durata rebuffering} \leq 5\text{sec}\} \\ 800 \text{ [Kbps]} \leq C_k^{(IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G})} \leq 900 \text{ [Kbps]} \Rightarrow \text{TAAV} \leq 5 \text{ sec, ma il numero di rebuffering può essere} \geq 1 \\ C_k^{(IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G})} \leq 800 \text{ [Kbps]} \Rightarrow \text{può accadere che TAAV} > 5 \text{ sec} \cap \{\text{numero di rebuffering}\} > 1 \end{cases}$$

dove, **TAAV** è il Tempo di Attesa Avvio Video.

Attraverso questo KPI (KPI di base) è possibile calcolare/prevedere la percentuale di utenti che, all'interno cella con RAT = {3G} e CI = { α }, sperimentano una buona *Quality of Experience (QoE)* nell'utilizzare l'applicazione Youtube.

4.2.2 KPI con pesi

In alternativa al precedente KPI (KPI di base), ne è stato definito un secondo, detto **KPI con pesi**. Per la definizione di quest'ultimo è stato necessario definire altri due parametri in aggiunta a quelli definiti in precedenza.

In particolare, siano:

- 1) **Byte_{i,m}** = *byte* scaricati con l' *m*-esima GET verso un HOST che termina con "googlevideo.com" effettuata in T_k dall'*i*-esimo IMEI (utente) che in T_k si trova all'interno dell'area di copertura della cella con RAT = {3G} e CI = { α }
- 2) **Tot_byte_GET_{i,k}** = somma dei *byte* scaricati da tutte le GET verso un HOST che termina con "googlevideo.com" effettuate in T_k dall'*i*-esimo IMEI (utente) che in T_k si trova all'interno dell'area di copertura della cella con RAT = {3G} e CI = { α }

Se $N_{i,k} \neq 0$ è possibile definire il seguente KPI:

$$CW_k^{(IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G})} = \frac{1}{\text{Tot_byte_GET}_{i,k}} \sum_{m=1}^{N_{i,k}} [\text{Byte}_{i,m} \cdot (1 - T_R) \cdot R]_{\text{GET_You}_{m,k}^{IMEI[\alpha]_{i,k}^{3G}}}$$

Si noti che il KPI è stato definito considerando un intervallo di osservazione di **30 minuti**.

Rispetto al precedente KPI, il **throughput medio** è ricavato dando un maggior peso a quei valori di **throughput** relativo alle richieste che comportano una maggiore mole di dati.

Tale scelta vuole differenziare le richieste di *throughput* che richiedono volumi di dati piuttosto elevati, in modo tale che gli operatori possano diversificare il traffico nella maniera più efficiente possibile.

In questo senso, il KPI con pesi potrebbe fornire un valore di *throughput* medio che si avvicina meglio alla reale esigenza/soddisfazione dell'utente finale e quindi potrebbe garantire un'indicazione più veritiera della *Quality of Experience* sperimentata dall'utente finale.

Sulla base delle soglie, ottenute a valle della fase di *test*, precedentemente definite e descritte nel Capitolo3, si può affermare che:

$$\text{Se} \begin{cases} CW_k^{(IMEI|\alpha|_{i,k}^G)} \geq 900 \text{ [Kbps]} \Rightarrow TAAV \leq 5 \text{ sec} \cap \{\text{numero rebuffering} \leq 1 \cap \text{durata rebuffering} \leq 5\text{sec}\} \\ 800 \text{ [Kbps]} \leq CW_k^{(IMEI|\alpha|_{i,k}^G)} \leq 900 \text{ [Kbps]} \Rightarrow TAAV \leq 5 \text{ sec, ma il numero di rebuffering può essere} \geq 1 \\ CW_k^{(IMEI|\alpha|_{i,k}^G)} \leq 800 \text{ [Kbps]} \Rightarrow \text{può accadere che } TAAV > 5 \text{ sec} \cap \{\text{numero di rebuffering}\} > 1 \end{cases}$$

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Nel presente elaborato si è voluto definire una relazione tra i parametri prestazionali della rete mobile e la percezione soggettiva degli utenti, al fine di creare una metodologia di monitoraggio della *Quality of Experience* sperimentata dagli utenti finali. A tale scopo sono state prese in considerazione le *mobile app* Youtube, Whatsapp, Instagram e Facebook. In particolar modo si è scelto di rivolgere l'attenzione all'utente medio che, in virtù degli attuali piani tariffari con soglie internet limitate, tende a preservare il traffico dati.

Si è proceduto con la definizione dei parametri di valutazione soggettivi sulla base delle funzionalità analizzate per il *set* di *mobile app* considerato, seguita dalla definizione dei criteri di valutazione soggettivi e soglie di *throughput* ottenute a valle di una fase di *test* relativi alla tecnologia 3G. I criteri soggettivi definiti e le soglie di *throughput* basate su di essi consentono di tradurre direttamente lo stato della rete in termini di QoE percepita dagli utenti.

Dalla definizione delle soglie è risultato evidente che il vincolo più stringente in relazione al *throughput* medio in *download*, è stato ottenuto per la visualizzazione video che oltretutto rappresenta la porzione più grande e maggiormente in crescita del traffico dati mobile [2]. In particolare lo studio si è focalizzato sulla visualizzazione video effettuata attraverso l'*app* Youtube poiché risulta essere la più utilizzata per tale scopo [13] [14].

Sulla base di ciò sono stati individuati dei KPI (*Key Performance Indicators*) per i parametri oggettivi della rete in grado di valutare il soddisfacimento della percezione soggettiva del servizio dati mobile in merito a questa funzionalità.

Per la definizione dei KPI si sono utilizzate le informazioni ricavate da una sonda DPI (*Deep Packet Inspection*) in grado di discriminare il traffico relativo ad una specifica applicazione utilizzata da un singolo utente in una particolare cella. Nello specifico, si è concentrata l'attenzione sull'individuazione dei campi di interesse del protocollo HTTP, utilizzato dall'applicazione Youtube [15] [16], misurati dalla sonda in corrispondenza dell'interfaccia GnGp.

Attraverso queste caratteristiche della sonda DPI considerata è stato possibile definire dei KPI in grado di fornire informazioni, in merito alla *QoE* sperimentata dagli utenti, sia su base cella che su base utente. Infatti questi KPI forniscono una stima della percentuale di utenti Youtube soddisfatti nell'area di copertura di una cella 3G ed inoltre consentono di analizzare il grado di soddisfazione di un singolo utente Youtube.

Grazie ai campi misurati dalla sonda, gli stessi KPI individuati potrebbero essere estesi anche al monitoraggio della soddisfazione degli utenti Youtube su una rete di tecnologia 4G. Inoltre, questi KPI possono essere utilizzati per altre applicazioni che utilizzano il protocollo HTTP.

Infine, la metodologia proposta può sicuramente essere estesa per ottenere ulteriori KPI in grado di valutare la *QoE* sperimentata dagli utenti di altre *mobile app* sia in tecnologia 3G che in tecnologia 4G.

Bibliografia e riferimenti

- [1] Ericsson Mobility Report, (02/2015)
- [2] Ericsson Mobility Report, (06/2014)
- [3] http://www.ericsson.com/it/news/evento_annuale_venezia_254740125_c
(ultimo accesso 02/01/2016)
- [4] Recommendation ITU-T P.10/G.100 Amendment 2, Std., (07/2008)
- [5] Qualinet, “Definitions of quality of experience,” White Paper, Version 1.2, COST Action IC 1003, (03/2013)
- [6] I. Martnez-Yelmo, I. Seoane, and C. Guerrero. Fair “Quality of Experience (QoE) Measurements Related with Networking Technologies”
Wired/Wireless Internet Communications, pag. 228-239, (2010)
- [7] Fondazione Ugo Bordoni, “Qualità dei servizi di comunicazioni mobili e personali”
- [8] ComScore , “Cosa fanno gli utenti su Facebook”, (07/2011)
- [9] Censis , “8° Rapporto Censis/Ucsi sulla comunicazione”, (2009)
- [10] <https://www.mobizen.com/> (ultimo accesso 29/12/2015)

- [11] <https://m.youtube.com/watch?v=FEMS-d88kPY> (ultimo accesso 14/09/2015)
- [12] <https://m.facebook.com/803747672981496/videos/vl.571594159644254/833063850049878/?type=1&theater> (ultimo accesso 14/09/2015)
- [13] YouTube Press Room - Statistics, http://www.youtube.com/t/press_statistics
(ultimo accesso 03/01/2016)
- [14] Pedro Casas, Raimund Schatz, and Tobias Hoßfeld “Monitoring YouTube QoE: Is Your Mobile Network Delivering the Right Experience to your Customers?”
- [15] Nokia - Youtube Protocols.pdf
- [16] Vasilios A. Siris, Konstantinos Balampekos and Mahesh K. Marina “Mobile Quality of Experience: Recent Advances and Challenges”
- [17] Alessandro Betti, Stefano Di Mino, Ivano Guardini, Notiziario tecnico Telecom Italia, “La core network mobile a pacchetto: dal 3G al 4G”, (02/2013)
- [18] M. Chris Riley, Ben Scott Free Press, “Deep Packet Inspection – the end of the internet as we know it?”, (03/2009)
- [19] Paolo Fasano, Domenico Marocco, Giovanni Picciano, Notiziario tecnico Telecom Italia, “Rete dati fissa di Telecom Italia”, (02/2012)
- [20] <https://www.wireshark.org/> (ultimo accesso 05/01/2016)