

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA



CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INFORMATICA

Reti Geografiche: Struttura, Analisi e Prestazioni

Sguardo al futuro del gaming: Analisi e comparazioni delle nuove piattaforme di Cloud Gaming

Docente: Prof. Delfina Malandrino

Studenti: Alessio Casolaro 0522501326

Ciro Maiorino 0522501303

Antonio Montefusco 0522501306

Domenico D'Alessandro 0522501316

Anno Accademico 2021/2022

1. Sommario

[1. Sommario](#)

[2. Introduzione](#)

[3. Stato dell'arte](#)

[4. Servizi di Cloud Gaming](#)

[4.1. Panoramica Cloud Provider](#)

[4.1.1. Google Stadia](#)

[4.1.2. Nvidia Geforce Now](#)

[4.1.3. Xbox Game Cloud](#)

[4.1.4. Shadow](#)

[4.1.5. Luna](#)

[4.1.6. PlayStation Now](#)

[5. Strumenti utilizzati](#)

[5.1. Python](#)

[5.2. Open Broadcaster Software](#)

[5.3. Netlimiter](#)

[5.4. Metodologia dei test](#)

[5.5. Misurazione della quantità di dati utilizzati](#)

[5.6. Misurazione della latenza](#)

[5.7. Misurazione qualità delle immagini](#)

[6. Algoritmi Python](#)

[6.1. Script VideoAnalyzer](#)

[6.2. Script QualityTest](#)

[7. Panoramica dei risultati](#)

[7.1. Risultati quantità di banda utilizzata](#)

[7.1.1. Risultati quantità di banda utilizzata - Control](#)

[7.1.2. Risultati quantità di banda utilizzata - Dead By Daylight](#)

[7.1.3. Risultati quantità di banda utilizzata - ARK: Survival Evolved](#)

[7.2. Risultati qualità delle immagini](#)

[7.2.1. Risultati qualità delle immagini - Control](#)

[7.2.2. Risultati qualità delle immagini - Dead By Daylight](#)

[7.2.3. Risultati qualità delle immagini - ARK: Survival Evolved](#)

[7.3. Risultati variazione banda](#)

[7.3.1. Risultati quantità di banda limitata - Control](#)

[7.3.2. Risultati quantità di banda limitata - Dead By Daylight](#)

[7.3.3. Risultati quantità di banda limitata - ARK: Survival Evolved](#)

[7.3.4. Risultati qualità banda limitata - Control](#)

[7.3.5. Risultati qualità banda limitata - Dead By Daylight](#)

[Risultati qualità banda limitata - Ark:Survival Evolved](#)

[7.4. Risultati latenza](#)

[8. Conclusioni](#)

2. Introduzione

Il **Cloud Computing** indica, in informatica, un paradigma di erogazione di servizi offerti su richiesta da un fornitore a un cliente finale attraverso la rete internet, a partire da un insieme di risorse preesistenti, configurabili e disponibili in remoto sotto forma di architettura distribuita.

Negli ultimi anni si è diffuso un altro servizio in ambito cloud, il **Cloud Gaming**. Con cloud gaming si intende un tipo di servizio online che esegue videogiochi su server remoti e li trasmette direttamente al dispositivo dell'utente, più semplicemente, è possibile giocare su qualunque dispositivo, grazie alla rete, collegandosi ad un cloud provider. Questo rende l'esperienza dell'utente libera dalla dipendenza dell'hardware performante, rendendogli possibile giocare ad alta qualità su qualunque dispositivo supportato, come ad esempio: smartphone, tablet, smart TV oppure un classico computer non sufficientemente performante per giocare al titolo.

Questo studio si pone l'obiettivo di realizzare un'analisi in termini di prestazioni e qualità di servizio sui tre diversi servizi di Cloud Gaming, i maggiori presenti in Italia: **Microsoft Xbox Game Cloud**, **Google Stadia** e **Nvidia GeForce Now**.



3. Stato dell'arte

Prima di analizzare lo studio che abbiamo realizzato e i risultati ottenuti è importante avere chiaro anche se in piccola parte lo stato dell'arte riguardante il Cloud Gaming.

Molti sono gli studi sull'argomento ma non tutti si sono concentrati su un chiaro paragone tra i vari servizi dal punto di vista di qualità del servizio e approcciabilità per l'utente. Alcuni studi tra cui "Measuring Key Quality Indicators in Cloud Gaming: Framework and Assessment Over Wireless Networks" [1] si è principalmente concentrato per gran parte di esso nello studio della struttura del servizio e sulle problematiche di rete sulle diverse tipologie di connettività, quali ad esempio Ethernet o Wifi.

Lo studio che abbiamo preso invece come riferimento è "Cloud Gaming: Architecture and Performance" [2] il quale prende in considerazione anche il parametro della qualità dell'immagine mostrando come una differenza di rete e piattaforma altera non solo il frame rate e la latenza, ma anche la qualità delle immagini, tutti parametri fondamentali per fornire un'esperienza di gioco gradevole all'utente. La moltitudine di studi a riguardo e la varietà di parametri da analizzare, uniti alla continua crescita di utenza mostra quanto il Cloud Gaming sia ormai una realtà vicina a molti e probabilmente il futuro del gaming.

4. Servizi di Cloud Gaming

Con l'avanzare della tecnologia, anche nell'ambiente videoludico, il cloud gaming si sta affermando sempre di più come una nuova branca dell'esperienza di gaming in tutto il mondo.

Ad oggi possedere una macchina performante con specifiche all'avanguardia che consenta di giocare a qualsiasi videogioco alla massima esperienza possibile risulta essere di difficile accesso per la grande maggioranza degli utenti. Questo è dovuto alla così detta "*global component shortage*", la quale indica una carenza di materiale per la produzione di componenti elettronici, questa crisi ha compromesso il mercato dell'elettronica di consumo rendendo quasi impossibile trovare risorse hardware e allo stesso tempo quelle poche che ci sono vengono vendute a cifre astronomiche.

Al contempo però, una risorsa che risulta maggiormente accessibile all'utenza è una, sempre più potente, rete internet, da ciò la migrazione di molta utenza all'utilizzo dei servizi di Cloud Gaming. Tramite questi servizi è possibile giocare a prodotti videoludici anche dei più recenti senza necessità di una macchina performante, ovviamente ciò prevede il pagamento di un abbonamento (utilizzando il modello di cloud **tiered price**).

Un servizio di Cloud Gaming per essere considerato competitivo e di interesse per gli utenti deve fornire un'esperienza quanto più vicina a quella del gaming in locale, quindi deve avere dei "*Interaction delay*" (Ritardi di interazione) quanto più piccoli possibili e al contempo mantenere di buona qualità l'immagine del gioco trasmessa all'utente. Per mantenere queste

caratteristiche durante una sessione può comportare un ingente peso sulla rete dell'utente, il quale se risente di cali che influiscono in modo ingente sulla sua esperienza, interrompe l'utilizzo del servizio, e passa ad un altro.

Essendo già così vasto il mercato del cloud gaming questi competono sulla loro scalabilità sia in quanto alla connessione internet necessaria, sia per quanto riguarda la potenza della macchina, infatti per alcuni dei servizi presi in considerazione in questo studio è possibile giocare altre tramite dispositivi mobili, quali smartphone e tablet. Altre piattaforme invece offrono numerosi giochi inclusi, a volte a tempo limitato, nell'abbonamento per l'uso del servizio, in modo tale da convincere l'utente ad usare il loro servizio perché magari interessato più al gioco che al tipo di piattaforma da utilizzare per giocarci, dato che molti dei giochi offerti hanno un costo che sarebbe di gran lunga superiore al costo dell'abbonamento.

4.1. Panoramica Cloud Provider

Le piattaforme disponibili sono diverse e ogni servizio presenta caratteristiche e offerte differenti per poter competere con le altre piattaforme. La maggior parte dei servizi permette di operare tramite macchine aventi Windows 8 o superiore, il quale essendo accessibile da ormai qualsiasi computer permette di trasformare ogni macchina poco performante in una macchina high-end da gaming. La scelta della piattaforma da utilizzare va fatta in base a ciò che si sta ricercando, ad esempio economicità, migliore esperienza di gioco, catalogo giochi incluso nell'abbonamento etc., permettendo di trovare un compromesso tra le caratteristiche tecniche di ognuno. Attualmente tra i provider più conosciuti troviamo:

- **Google Stadia**
- **Nvidia GeForce Now**
- **Xbox Game Cloud**
- **Shadow**
- **Playstation Now**
- **Amazon Luna**

Di seguito verranno illustrate le caratteristiche di ognuno.

4.1.1. Google Stadia

È il servizio di Cloud Gaming offerto da *Google LCC* rilasciato il 19 novembre 2019, è presente in molti paesi tra cui Belgio, Canada, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Italia, Olanda, Norvegia, Spagna, Svezia, Stati Uniti, Regno Unito, ma la lista è in continua espansione. Presenta un parco videoludico limitato ai giochi messi a disposizione da Google a seconda del paese in cui lo si utilizza, tuttavia viene aggiornata di frequente a cadenza settimanale. L'abbonamento a Google Stadia Pro non è obbligatorio per l'utilizzo del servizio cloud, infatti a differenza di altri servizi, permette di acquistare giochi sulla piattaforma ed utilizzarli in cloud senza abbonamento. Google Stadia Pro ti permette di avere dei giochi gratuitamente ogni mese e sconti sui giochi acquistabili.

La differenza sostanziale tra **Stadia Standard** e **Stadia Pro** è nella qualità d'immagine raggiungibile, infatti con la versione **standard** si arriva ad una risoluzione di 1080p a 60fps, mentre con **Stadia Pro** arriva ad una risoluzione 4k a 60fps con audio surround 5.1.

Prezzo	9,99€/mese
Piattaforma	Windows, MacOs, Linux, Android, Raspberry Pi
Lista giochi	Limitata al parco videoludico Stadia
Risoluzione Massima	4K / 60 fps / HDR
GPU Hardware	Google/AMD Radeon Custom

4.1.2. Nvidia Geforce Now

GeForce Now è un servizio di cloud gaming di proprietà di *NVIDIA Corporation*. La versione Nvidia Shield di GeForce Now, precedentemente nota come NVIDIA GRID, è stata lanciata in beta nel 2013, mentre il nome ufficiale attuale è stato diffuso il 30 settembre 2015. Il servizio all'inizio forniva agli utenti l'accesso illimitato a una libreria di giochi in streaming ospitati sui server Nvidia, previo pagamento di un abbonamento, oltre a permettere di acquistare giochi non inclusi nell'abbonamento.

Nel gennaio 2017, Nvidia ha presentato GeForce Now per Windows e Macintosh, rendendolo disponibile in Nord America ed Europa attraverso una beta gratuita.

GeForce Now consente agli utenti di accedere ad un computer virtuale da cui è possibile accedere ai propri giochi, acquistati da piattaforme di distribuzione digitale terze, e di riprodurli in remoto. Nel 2019 si è passati ad una nuova versione del servizio che permetteva agli utenti di Shield di giocare solo a titoli già acquistati, anche su altre piattaforme di vendita di giochi online.

Il servizio è uscito dalla beta il 4 febbraio 2020 ed è disponibile su Windows, macOS, Android, Shield TV e Chromebook.

Il servizio mette a disposizione tre diversi abbonamenti: **Free**, **Priority**, **RTX 3080**.

La differenza sostanziale sta nel fatto che il servizio **Free** offre un rig base, con una durata massima di sessione limitata ad 1 ora. **Priority** offre un rig premium, con accesso prioritario ai server con sessioni massime di gioco limitate a 6 ore fino a 1080p 60 FPS al prezzo di 9,99€/mese oppure 49,99€/6 mesi. **RTX 3080** offre prestazioni più elevate permettendo l'accesso esclusivo ai server dotati di schede video Nvidia RTX 3080 con sessioni di gioco limitate a 8 ore fino a 1440p 120 FPS al prezzo di 99,99€/6 mesi.

Prezzo	9,99€/mese 49,99€/6 mesi 99,99€/12 mesi
Piattaforma	Windows, MacOs, Linux, Android, Raspberry Pi
Lista giochi	Limitata al parco videoludico Geforce Now, acquistati su piattaforma Steam o Epic Games Store
Risoluzione Massima	1440p / 120 fps
GPU Hardware	Tesla T4, GeForce RTX 3080

4.1.3. Xbox Game Cloud

È il servizio di Cloud Gaming offerto dalla *Microsoft Corporation* che, invece di creare un servizio cloud da zero, prende i vantaggi dalla rete Microsoft Azure, un servizio di cloud internazionale usato già da numerose compagnie nel mondo. Ci sono più di 54 data center,

che offrono il cloud a 140 paesi, tuttavia la maggior parte sono dedicati al cloud, mentre per l'ambito gaming sono state messe a disposizione le console Microsoft Xbox Series X.

XCloud permette di avere accesso ad una vasta libreria di giochi ad un prezzo competitivo e soprattutto è possibile giocare su diverse piattaforme offrendo anche interfacce touch per dispositivi mobile.

Prezzo	12,99€/mese
Piattaforma	Windows, IOS, Ipad OS, Mac Os, Linux, Android, Raspberry Pi
Lista giochi	Limitata al parco videoludico presente su Xbox Game Pass Ultimate Cloud
Risoluzione Massima	1080p / 60 fps / HDR
GPU Hardware	Xbox Series X

4.1.4. Shadow

Cloud service offerto da *Blade*, una compagnia francese per il cloud, basato su server con Windows 10 sul quale vengono eseguiti i giochi in remoto. A differenza di altri servizi di cloud gaming, esso non limita l'avvio di giochi rispetto alla piattaforma di distribuzione su cui li si possiede.

Prezzo	a partire da 29.99\$/mese
Piattaforma	Windows, macOS, Android, Android TV, iOS, tvOS, Linux
Lista giochi	Tutti i giochi presenti nella propria libreria, di qualunque piattaforma di distribuzione digitale.
Risoluzione Massima	1440p / 60fps / HDR
GPU Hardware	GTX 1080

4.1.5. Luna

Cloud service offerto *Amazon Inc*, annunciato il 24 settembre 2020 e rilasciato in accesso anticipato il 20 ottobre 2020. Il parco titoli di Luna si aggira intorno al centinaio di giochi, inoltre presenterà un'interazione con Twitch per permettere di effettuare streaming con facilità. Amazon ha anche una partnership con Ubisoft, il quale svilupperà giochi in esclusiva per Luna, ovviamente con un costo aggiuntivo per l'utente che vorrà usufruirne.

Insieme al sistema di Cloud Gaming è stato anche progettato un controller con supporto ad Alexa, il quale è venduto ad un prezzo di 49.99\$.

Attualmente Luna è disponibile solo negli Stati Uniti.

Prezzo	5.99\$/mese (+ 17.99\$/mese Ubisoft+)
Piattaforma	Windows, Mac, Amazon Fire TV, iOS, (Android in futuro)
Lista giochi	Limitato al parco titoli Luna
Risoluzione Massima	1080p (in futuro 4k) / 60fps / HDR
GPU Hardware	GPU NVIDIA T4

4.1.6. PlayStation Now

Cloud service offerto da *Sony Corporation*, basato su tecnologia **Gaikai** e su **Microsoft Azure**.

Esso permette di giocare a titoli **PlayStation** su macchine marchiate **PlayStation**, PC, TV Bravia Sony, tablet e smartphone.

Per i giochi più recenti è necessario un controller PS4 o superiore.

Prezzo	9,99€/mese
Piattaforma	PlayStation, PC, TV Bravia Sony, tablet
Lista giochi	Limitato al parco titoli PlayStation
Risoluzione Massima	1080p (4k su titoli recenti) / 60 fps / HDR
GPU Hardware	AMD Radeon custom

5. Strumenti utilizzati

5.1. Python

È un linguaggio ad alto livello, interpretato, utilizzato in molti ambiti date la vasta scelta di librerie. Una delle peculiarità di python è la dinamicità, infatti essendo interpretato non presenta tipi, e l'uso dell'indentazione per la sintassi, la quale sostituisce le parentesi graffe dei linguaggi più comuni.

Python da un lato rende facile la scrittura del codice al programmatore, ma dall'altro non presenta, ovviamente, la velocità di esecuzione elevata come i linguaggi compilati. Di seguito alcune delle librerie utilizzate:

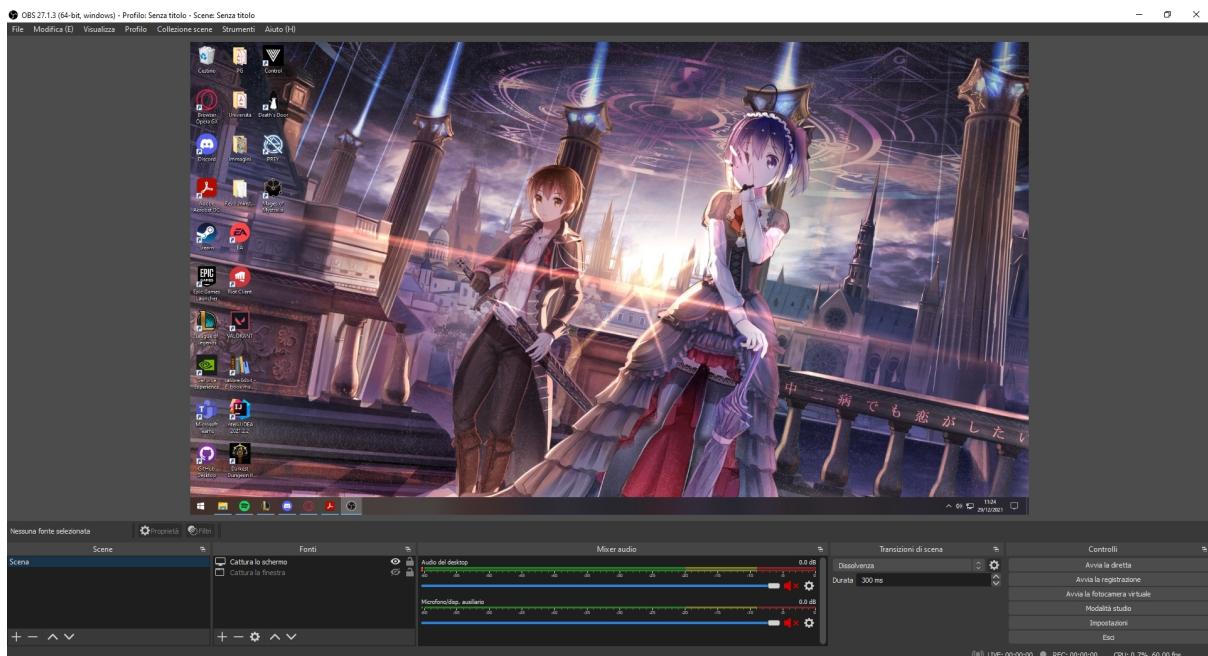
- **Math:** È una libreria per Python che dà l'accesso alle funzioni matematiche definite dal linguaggio C.
- **OpenCV2:** Libreria multipiattaforma nell'ambito della visione artificiale in tempo reale. Essa presenta una vasta scelta di algoritmi ottimizzati per riconoscere facce, oggetti, classificare le azioni umane o per il tracking di oggetti.
- **Skimage:** È una libreria per Python contenente una collezione di algoritmi per l'*image processing*.

5.2. Open Broadcaster Software

È un programma di streaming e registrazione video open source scritto in **C** e **C++** gestito dal **Progetto OBS**. La trasmissione dei dati di registrazione avviene principalmente tramite il protocollo RTMP(Real Time Messaging Protocol), questi dati possono avere come destinazione qualunque sito o dispositivo che possa supportare questo protocollo e sono previsti numerosi preset per i siti di streaming più popolari quali: Twitch, YouTube e Facebook.

Il programma presenta un'interfaccia pulita, semplice da utilizzare e piena di funzioni per ogni evenienza, dalla quale è possibile selezionare le scene, le sorgenti, gestire l'audio

tramite il mixer.

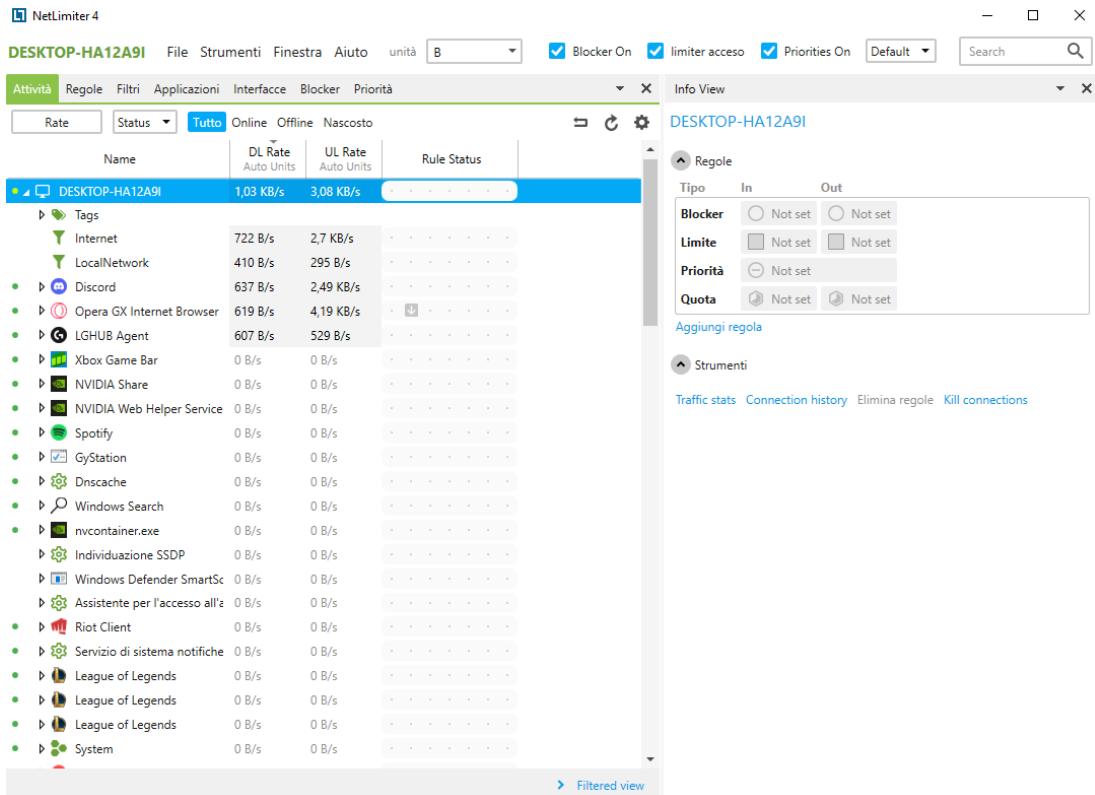


Per quanto riguarda lo svolgimento dello studio si è scelto di utilizzare OBS, in primo luogo per la sua capacità di catturare video in alta risoluzione in tempo reale, in secondo luogo per la possibilità di assegnare l'avvio e la terminazione di una registrazione a delle shortcut, oltre alla possibilità, recandosi all'interno delle impostazioni, di definire il numero di fotogrammi al secondo da includere all'interno della registrazione, fino a un massimo di 100.

5.3. Netlimiter

È un tool client-side per la gestione e il monitoraggio della rete. Il software viene presentato in 3 versioni, freeware, lite e pro. La versione **lite** permette di fare monitoring e impostare limiti alla banda mentre con la versione **pro** vengono aggiunte le funzioni per aggiungere firewall e filtri.

NetLimiter offre una panoramica di tutti i processi e sottoprocessi attualmente attivi e il quantitativo di dati della rete che vengono utilizzati da ognuno di essi. Oltre che i limiti all'upload e download è possibile anche includere un blocker per limitare l'accesso alla rete. La funzionalità più importante per il nostro studio è la generazione delle statistiche sul traffico, simulazione di perdita pacchetti e simulazione della latenza.



NetLimiter è stato scelto per la possibilità di limitare la banda e il facile accesso alle statistiche di consumo in un determinato lasso di tempo. Più nel dettaglio, basta utilizzare una delle icone presenti di fianco ad un processo e selezionare il limite desiderato.



Dalla finestra delle statistiche è possibile avere i dati anche di vari anni a paragone, come visibile in figura.



5.4. Metodologia dei test

Per analizzare i tre servizi di streaming scelti per questo studio abbiamo innanzitutto ottenuto l'abbonamento che permetesse la qualità massima sia per quanto riguardasse le prestazioni che la resa grafica.

Per confrontare le piattaforme abbiamo preso tre differenti giochi che fossero in come ad ognuna di esse:

Control pubblicato da **505 Games**.

Ark: Survival evolved pubblicato da **Studio Wildcard e Snail Game**.

Dead by daylight pubblicato da **Behaviour Interactive, Starbreeze Studios e Koch Media**.

Per tutti e tre di titoli i test sono stati i medesimi. Sono stati presi in considerazione i primi 10 minuti di ogni gioco, sia per la presenza di cutscene sia per la presenza di un tutorial che quindi permettesse di avere a disposizione le stesse immagini, durante i primi 10 minuti di

gioco il gameplay in cloud è stato paragonato con la versione in locale con questa configurazione:

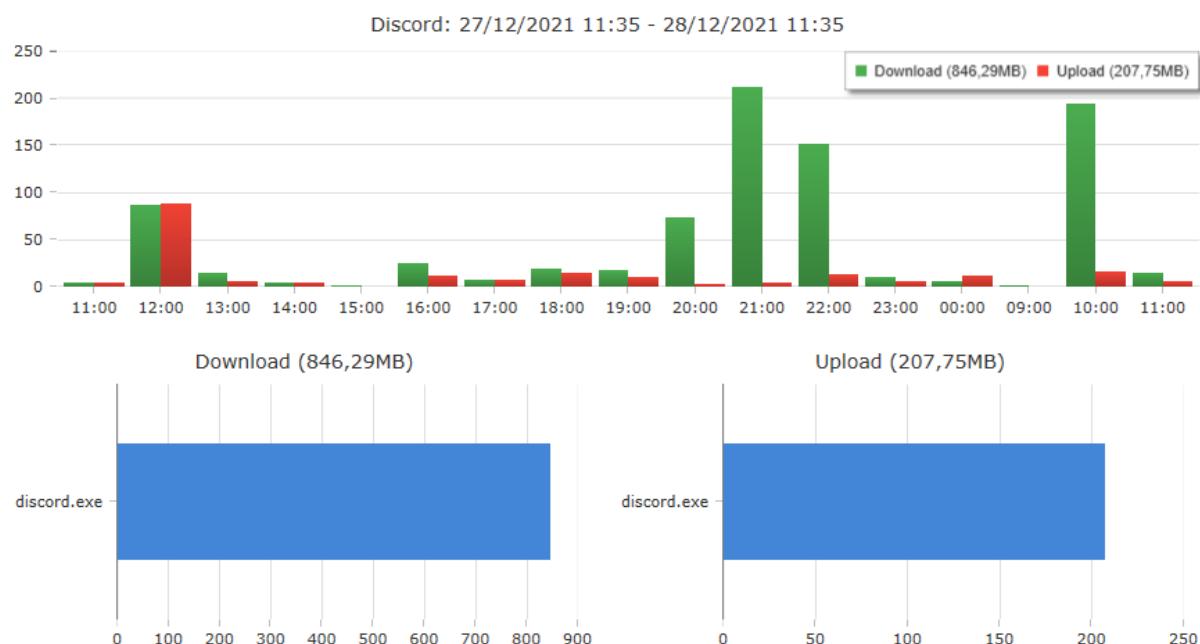
- **Processore:** AMD Ryzen 5 3500x 4GHz
- **RAM:** 16Gb 3200MHz
- **Scheda video:** AMD Radeon RX 5500
- **SSD:** LITEON LCH-256V2S-11 2.5 7mm 256GB

I test effettuati che si è scelto di svolgere sono i seguenti:

- **Quantità di dati utilizzati:** analizzata tramite NetLimiter il consumo dei dati in download e upload durante i primi 10 minuti di gioco.
- **Latenza:** analizzata in un momento casuale del gioco durante i 10 minuti iniziali.
- **Qualità dell'immagine:** analizzata tramite la comparazione di frame equivalenti tra il cloud e il locale durante i primi 10 minuti.
- **Limitazione banda:** analizzata tramite la variazione dei risultati precedenti con la modifica nella disponibilità di banda.

5.5. Misurazione della quantità di dati utilizzati

L'analisi del consumo dati è stata realizzata tramite l'utilizzo del software NetLimiter, che come precedentemente descritto, offre la possibilità di visionare statistiche inerenti ad un singolo processo, come i dati utilizzati, sia in upload che in download in uno specifico lasso di tempo.

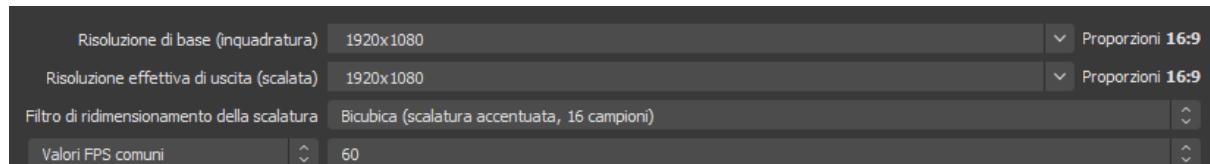


Per accedere alla funzione di analisi basta selezionare il processo desiderato e cliccare la voce **Traffic Stats**, a questo punto verrà visualizzata una nuova finestra contenente un grafico di consumo (solitamente mostra il consumo delle ultime 24 ore quando aperta), tale grafico può essere poi modificato selezionando un periodo personalizzato con data e ora di inizio e fine. Selezionando quindi i 10 minuti del test è stato possibile analizzare il consumo per ogni piattaforma.

5.6. Misurazione della latenza

La latenza dell'input è un aspetto molto importante per misurare la qualità dell'esperienza di gioco. Per latenza dell'input si intende il tempo trascorso tra il momento in cui il giocatore preme il tasto e l'effettiva esecuzione dell'azione. Se questa latenza è molto alta, soprattutto nei giochi più concitati rende impossibile e frustrante l'esperienza.

Per misurare questo dato è stato adoperato il software di registrazione video **OBS**, presentazione in precedenza. È stato scelto per la possibilità di registrare lo schermo ad un numero preciso di fotogrammi al secondo e per la possibilità di scegliere degli shortcut per l'avvio della registrazione.



Più nello specifico, per l'analisi si è scelto di catturare delle brevi clip con un valore di frame per secondo pari a 60, poiché tutti i servizi di Cloud Gaming prevedono gli FPS bloccati a 60. Il test è stato effettuato selezionando come tasto per l'avvio ESC, lo stesso tasto per l'apertura del menù.

Fatto ciò il video viene visionato su VLC, un semplice software di riproduzione video, il quale è fornito di una modalità frame-by-frame permettendoci di contare il numero di frame dalla pressione del tasto, e quindi avvio della registrazione, all'apertura del menù.

$$Latenza = 16.6 * fi$$

Più nello specifico, registrando il video a 60 fps il tempo che intercorre tra ogni frame è di **16.6 ms**, moltiplicando questo valore per il numero di frame contati *fi*.

Questo test è stato effettuato su tutte e tre le piattaforme per tre diverse disponibilità di banda:

- Senza limiti di banda.
- 10 Mb/s in download e 5 Mb/s in upload.
- 5 Mb/s in download e 5 Mb/s in upload.

5.7. Misurazione qualità delle immagini

Al giorno d'oggi i giocatori sono sempre più interessati ad una buona qualità dell'immagine e negli ultimi anni sono state realizzate soluzioni con le tecnologie più recenti quali DLSS e RTX.

Per effettuare tale analisi sono stati selezionati frame simili, come nel caso di Dead By Daylight e Ark che non presentano una cutscene iniziale, o frame dalla cutscene nel caso di Control.

Abbiamo utilizzato anche per questo test OBS per registrare delle clip della durata di 8 secondi da cui poi sono stati estrapolati i frame da analizzare.

Come visto precedentemente, anche in questo caso le clip sono state registrate a 60FPS con una risoluzione 1920x1080.

Analogamente al test precedente anche questo è stato riprodotto 3 volte per piattaforma per analizzare rispetto alle varie disponibilità di banda.

Per quanto riguarda l'analisi effettiva di queste immagini sono stati considerati tre parametri:

- **PSNR(Peak-Signal-To-Noise-Ratio):** che rappresenta una misura dell'errore di picco. Lo script per il calcolo del PSNR misura il rapporto segnale/rumore di picco, in decibel, tra due immagini. Questo rapporto viene utilizzato per assegnare un valore alla qualità dell'immagine mettendola in paragone con l'immagine originale(copia locale). Maggiore è il valore del PSNR migliore è la qualità dell'immagine. Come



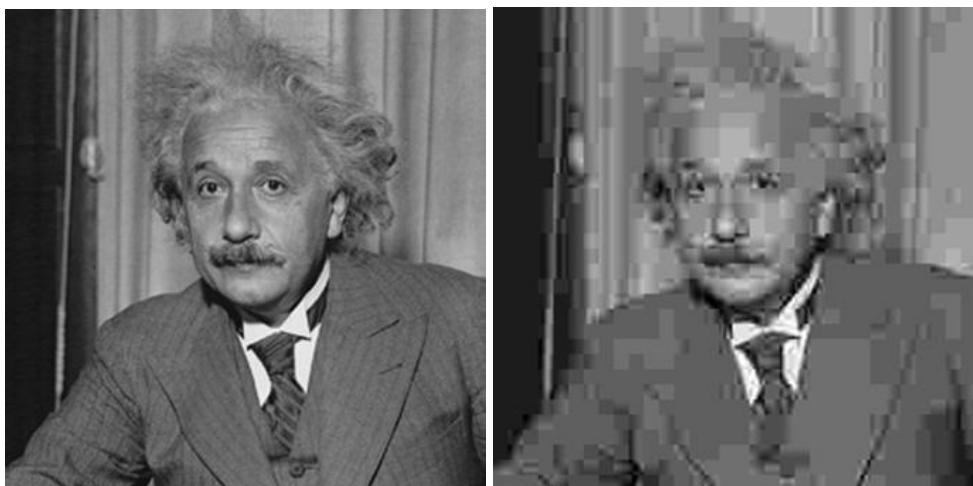
15% random valued impulse noise
(PSNR = 17,47 dB)



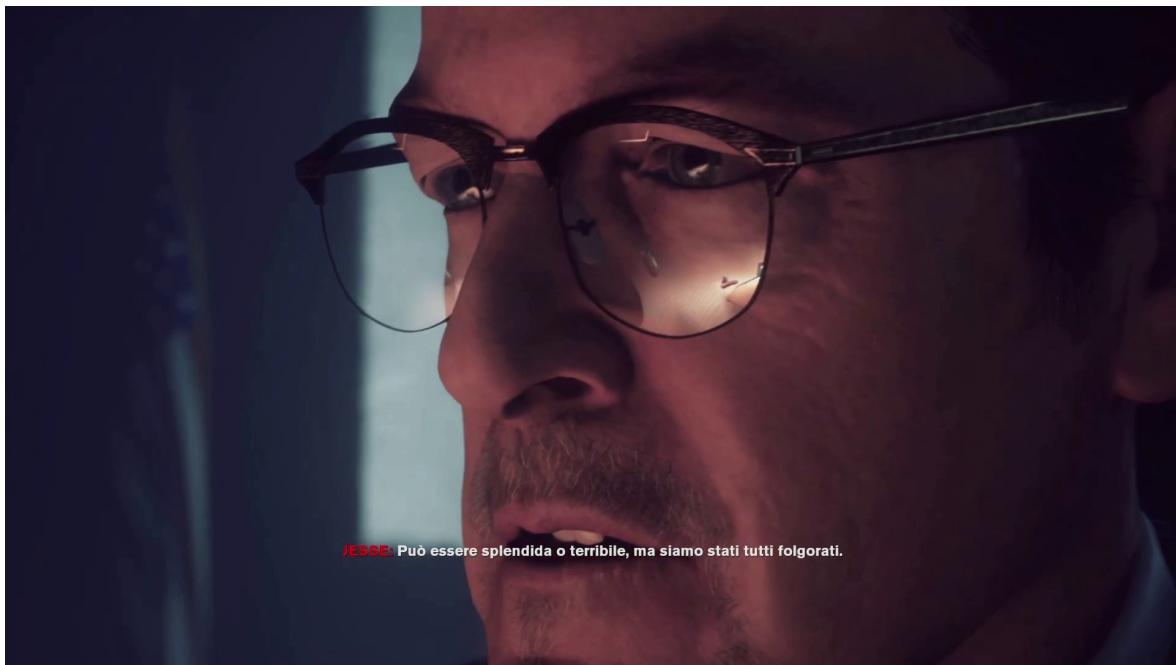
SDROM
(PSNR = 34,70 dB)

visible in Figura una differenza di PSNR permette di notare imperfezione sull'immagine anche con una variazione non troppo elevata.

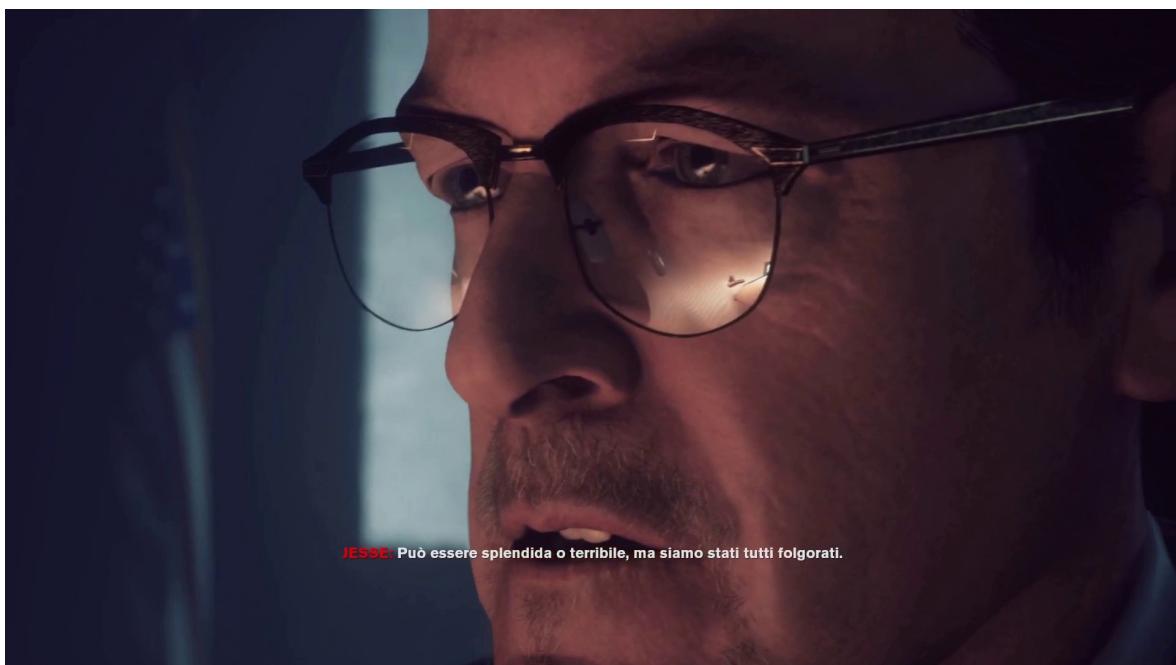
- **MSE(Mean-Square-Error)**: che rappresenta l'errore quadratico cumulativo tra l'immagine compressa del cloud e l'immagine originale. Minore è il valore dell'MSE, minore è l'errore.
- **SSIM(Structural-Similarity-Index-Measure)**: che rappresenta la misura dell'indice di similarità strutturale, viene utilizzato per misurare la somiglianza tra due immagini. Utilizzando il valore di SSIM in combinazioni con i precedenti due parametri è facile mostrare quando vi sono molte imperfezioni in un'immagine, ad esempio: nella prima immagine il valore di MSE è 0 quindi SSIM sarà 1 perché è perfetta, la seconda invece che ha chiaramente delle imperfezioni presenza MSE pari a 142 e SSIM pari a 0.662.



Per il calcolo di tali parametri sono stati realizzati due algoritmi Python, più uno aggiuntivo per l'estrapolazione dei frame all'interno della scena iniziale del gioco, questo con lo scopo di poterli comparare tramite gli algoritmi per il calcolo dei valori di PSNR e SSIM. In figura vengono presentati due frame extrapolati dal filmato su Nvidia Geforce Now e da quello catturato dal filmato in locale. Entrambi i frame sono stati catturati durante il filmato iniziale di Control.



Frame Catturato su Nvidia Geforce Now



Frame catturato in locale

Infine, per aiutare la comprensione dei dati raccolti, sono state redatte le seguenti tabelle atte a dare un'idea di massima sui risultati ottenuti.

Mean Opinion Score Scale per PSNR:

PSNR	MOS	Qualità	Perdita di qualità
valore > 37db	5	Eccellente	Impercettibile
31db <= valore <=37db	4	Buona	Percettibile ma non fastidioso
25db <= valore <=31db	3	Accettabile	Leggermente Fastidioso
20db <= valore <=25db	2	Povera	Fastidiosa
valore < 20db	1	Pessima	Veramente fastidiosa

Mean Opinion Score Scale per SSIM:

SSIM	MOS	Qualità	Perdita di qualità
valore >= 0.99	5	Eccellente	Impercettibile
0.95 <= valore <=0.99	4	Buona	Percettibile ma non fastidioso
0.88 <= valore <=0.95	3	Accettabile	Leggermente Fastidioso
0.5 <= valore <=0.88	2	Povera	Fastidiosa
valore < 0.5	1	Pessima	Veramente fastidiosa

6. Algoritmi Python

Per il calcolo dei valori qualitativi **PSNR**, **MSE** e **SSIM** sono stati realizzati due script in Python:

6.1. Script VideoAnalyzer

```
videoName = "E:/Università/Reti/Progetto Reti Cloud/Nostro/Ark/Test Immagine Locale Ark.mkv" # Dove recuperare il video

cap = cv2.VideoCapture(videoName) # Utilizzato per l'apertura del video acquisito
frameRate = cap.get(5) # Utilizzato per acquisire il framerate del video cv2.CAP_PROP_FPS

count = 0
while cap.isOpened(): # Finché il video non è finito
    frameNum = cap.get(1) # Numero frame CAP_PROP_POS_FRAMES
    ret, frame = cap.read()
    if (ret != True):
        break
    if frameNum % math.floor(frameRate) == 0:
        frameName = "Resources/FramesArkLocale/frame%d.jpg" % count
        count += 1
        cv2.imwrite(frameName, frame)
cap.release()
print("Frame acquisiti")
```

Lo script mostrato in figura, sfruttando le librerie **OpenCv2** e **Math**, ci ha permesso di estrapolare dal video scelto un'immagine per ogni frame salvandola sul disco.

Lo script inizia con una fase di preparazione in cui nella variabile **videoName** viene salvato il percorso all'interno del quale è presente il video che si è scelto di analizzare, passata poi nell'istruzione **VideoCapture** per l'apertura del video e salvato nella variabile **cap**. Una volta scelto il video da aprire si passa la variabile **cap** alla funzione **get(5)** utilizzata per acquisire il frameRate dello stesso. Il video viene lanciato attraverso la funzione **isOpened** posta in un **ciclo while** per assicurare che la lettura dei frame non termini fin quando il video non è finito. Ad ogni ciclo viene salvato all'interno della variabile **frameNum** il frame correntemente analizzato, nella variabile **frame**, mediante la funzione **cap.read()**, si salva il frame di ogni iterazione. Ogni frame viene poi salvato grazie alla funzione **cv2.imwrite** sul disco all'interno della cartella specificata nella variabile **frameName**.

6.2. Script QualityTest

```
def PSNR(original, compressed): # Peak signal-to-noise ratio
    mse = np.mean((original - compressed) ** 2)
    if (mse == 0): # MSE a 0 indica che non c'è rumore
        return 100 # Quindi la qualità è 100
    max_pixel = 255.0
    psnr = 20 * log10(max_pixel / sqrt(mse))
    return psnr

def MSE(original, compressed): # Mean Squared Error
    mse = np.square(np.subtract(original, compressed)).mean()
    return mse

def SSIM(original, compressed): # Structural similarity index
    # Conversione dell'immagine in scala di grigi
    originalGray = cv2.cvtColor(original, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    compressedGray = cv2.cvtColor(compressed, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    ssim = skimage.metrics.structural_similarity(originalGray, compressedGray,
                                                gaussian_weights=True, sigma=1.5,
                                                use_sample_covariance=False, data_range=255)
    if ssim == 1.0:
        print("I frame forniti sono uguali")
    return ssim
```

Lo script mostrato in figura, permette di utilizzare i frame acquisiti con lo script

VideoAnalyzer per comparare un frame di riferimento del videogioco analizzato in locale e uno compresso acquisito dai vari servizi di Cloud Gaming. Per la realizzazione dell'algoritmo sono state utilizzate le librerie **Math**, **OpenCV**, **Numpy**, **Skimage**. Come primo step è stato calcolare l'**MSE** delle due foto, tramite la funzione **mean**, salvato nella variabile **mse** utilizzata poi per il calcolo del **PSNR**.

Se il valore del **MSE** è pari a 0, allora tra le due immagini non c'è differenza di rumore e quindi ritorna come qualità *100 db*, altrimenti calcola il **PSNR** e lo restituisce all'utente in *db*.

Per il calcolo dell'**SSIM** le due immagini sono state prima convertite in scala grigi e poi passate alla funzione **skimage.metrics.structural_similarity** che salva il risultato nella variabile **ssim**. Il valore verrà poi restituito e se è uguale ad 1.0 allora ciò significa che le due immagini fornite sono identiche.

```

def main():

    original = cv2.imread("Resources/FramesArkLocale/frame4.jpg") # Immagine non compressa
    compressed = cv2.imread("Resources/FramesArkNvidia/frame1.jpg", 1) # Immagine compressa

    valuePSNR = PSNR(original, compressed)
    valueMSE = MSE(original, compressed)
    valueSSIM = SSIM(original, compressed)

    print("PSNR: ", valuePSNR)
    print("MSE: ", valueMSE)
    print("SSIM: ", valueSSIM)

```

Nella funzione main verranno specificati i frame da analizzare, rappresentanti rispettivamente l'immagine originale acquisita in locale e l'immagine compressa acquisita dal servizio Cloud. I frame vengono poi utilizzati nelle funzioni richiamate e ne vengono restituiti i valori come mostrato di seguito.

```

PSNR:  28.01224798123064
MSE:  102.7674458269033
SSIM:  0.20510172333705762

Process finished with exit code 0

```

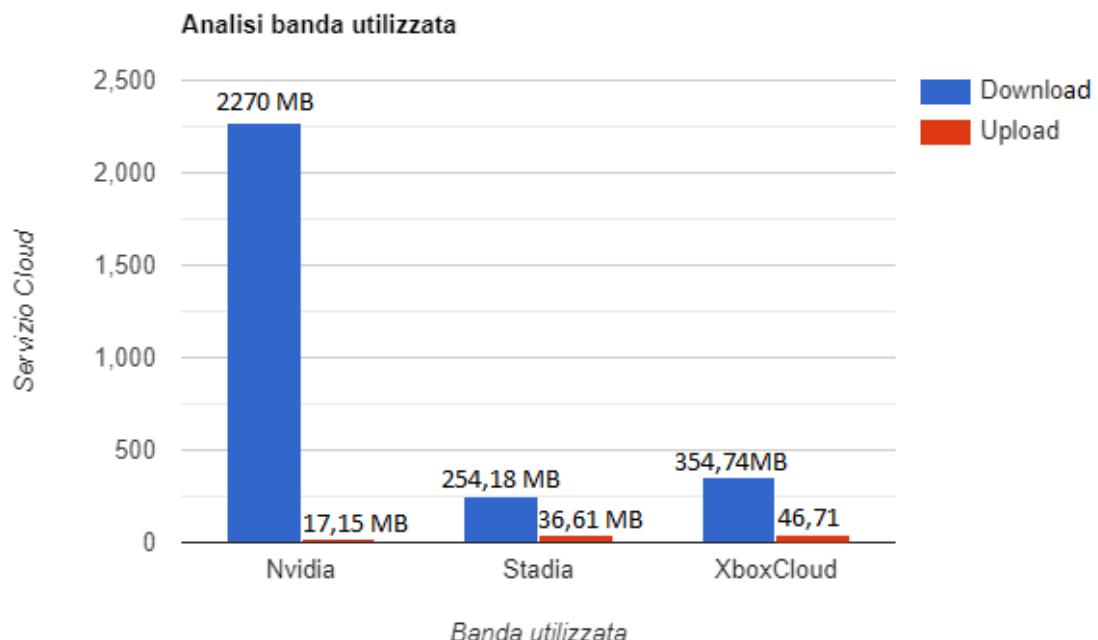
7. Panoramica dei risultati

In questo capitolo verranno mostrati i risultati ottenuti dai tre titoli sulle tre piattaforme Cloud Gaming, mostrati e commentati attraverso dei grafici a barre.

7.1. Risultati quantità di banda utilizzata

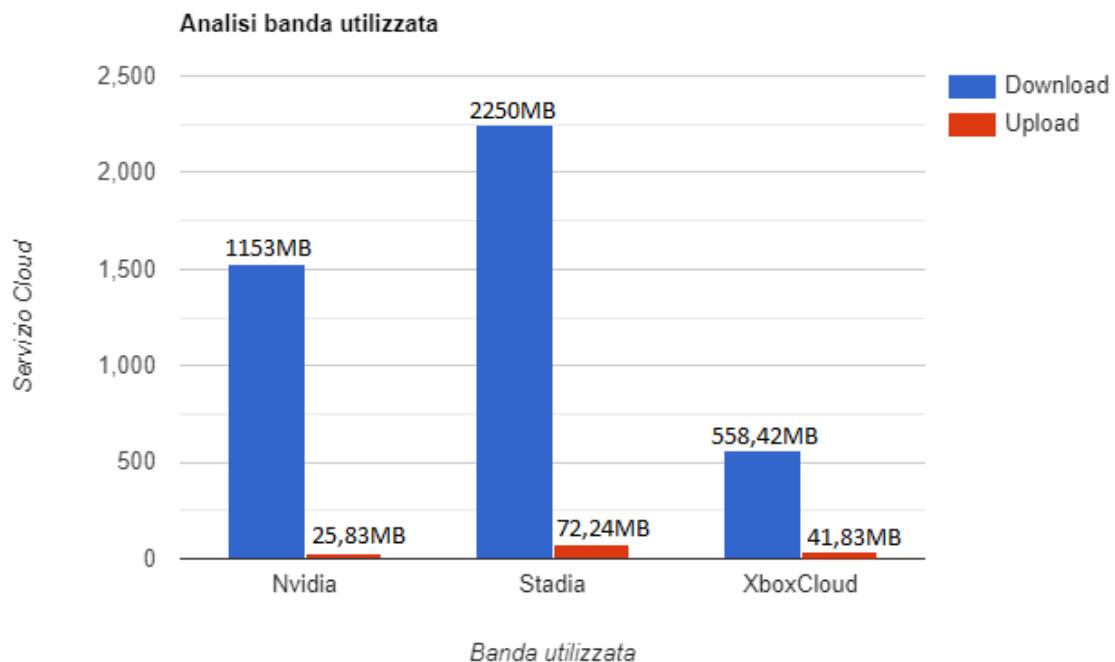
Di seguito troviamo i risultati ottenuti dai vari servizi senza limitazioni di banda, quindi consentendo di sfruttare a pieno le potenzialità della rete.

7.1.1. Risultati quantità di banda utilizzata - Control



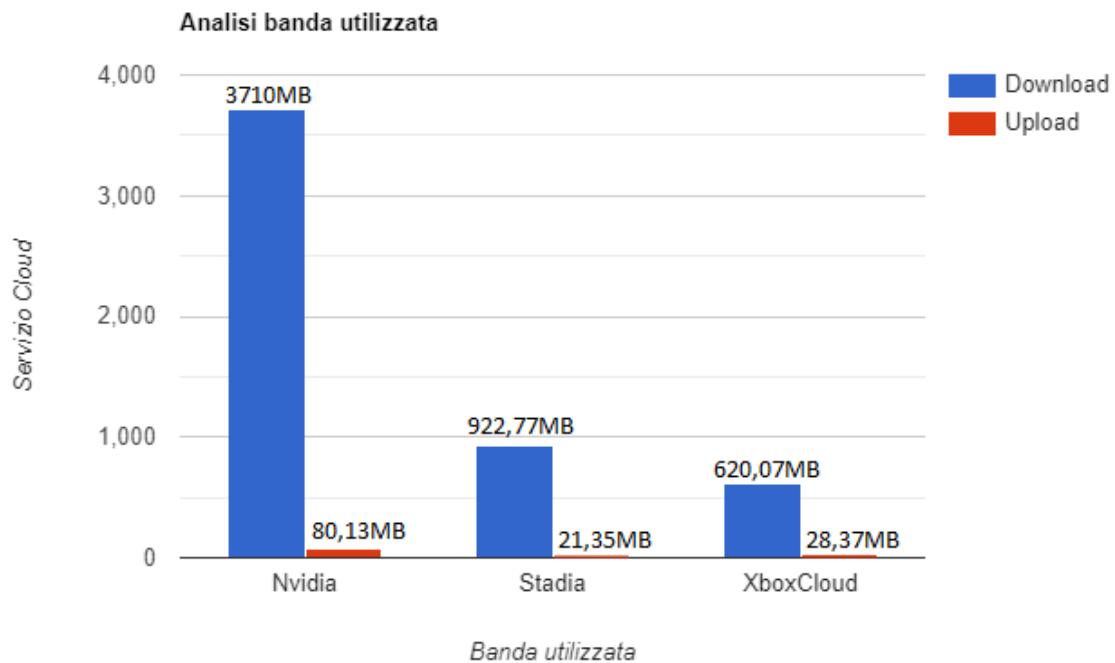
Il grafico in figura, mostra la quantità di banda utilizzata per 10 minuti di gioco su Control per ogni piattaforma testata. Come è possibile notare la piattaforma che ha consumato più banda è stata Nvidia Geforce Now, la quale però in compenso, ha mostrato una qualità eccelsa d'immagine a 1080p con grafica impostata al massimo sfruttando tutte le potenzialità che avrebbe su PC e una latenza minima. Per quanto riguarda invece Xbox Cloud e Stadia, queste hanno consumato una quantità irrisoria di banda per 10 minuti di gioco. La differenza tra le due però sta nella gestione della connessione, Xbox Cloud ha sfruttato più banda rispetto a Stadia, ma ottenendo una pessima resa grafica e in generale un'esperienza frustrante di gioco tra input-lag e stuttering verticale, il quale dava non poco fastidio al giocatore. Stadia invece, sfruttando una gestione migliore della banda è riuscita a tenere sempre un input-lag bassissimo e dei cambi di risoluzione poco fastidiosi.

7.1.2. Risultati quantità di banda utilizzata - Dead By Daylight



Questo grafico invece, mostra la banda utilizzata dal gioco Dead By Daylight in 10 minuti, sulle piattaforme testate. La piattaforma che ha consumato più banda è stata Stadia, la quale ha permesso di avere un'esperienza di gioco perfetta, ovviamente senza considerare il fatto che fosse un gioco console. Per quanto riguarda Nvidia questa, anche se il gioco è stato impostato con impostazioni grafiche al massimo, ha consumato meno banda di Stadia ottenendo però una resa grafica nettamente superiore. Infine Xbox Cloud, la piattaforma che ha consumato meno banda ma al contempo la piattaforma che ha dato l'esperienza di gioco peggiore delle tre. Quest'ultima è risultata molto fastidiosa a causa i vari problemi di stuttering(difetto di qualità che si manifesta con ritardi o tempi irregolari tra i fotogrammi resi dalla/e GPU) che avvenivano durante la partita.

7.1.3. Risultati quantità di banda utilizzata - ARK: Survival Evolved



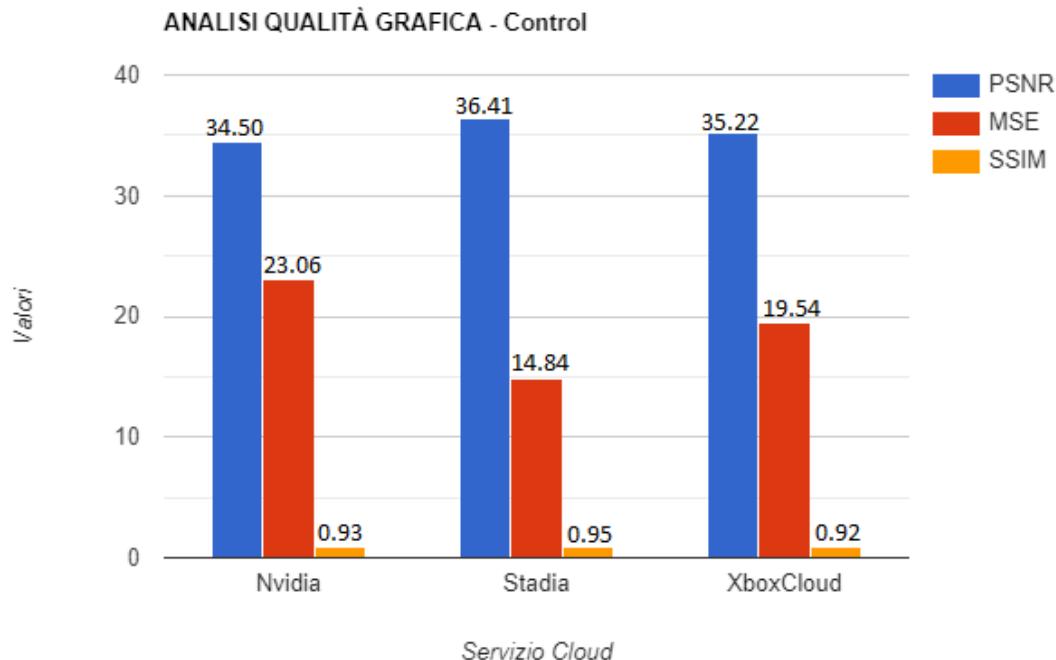
Questo grafico mostra la banda utilizzata dal gioco Ark: Survival Evolved in 10 minuti sulle piattaforme selezionate per i test. Durante questo test, Nvidia ha consumato di gran lungo più delle sue controparti, ciò è principalmente dovuto al gioco, il quale su console è molto limitato nell'aspetto grafico, quindi vede sia Stadia che Xbox Cloud, che appunto fanno utilizzo di console per lo streaming, qualitativamente inferiori a Nvidia la quale permette lo streaming tramite una macchina molto performante che garantisce di poter giocare il titolo alla massima qualità grafica. Questa differenza ovviamente va a pesare in modo significativo sulla rete necessaria e il consumo di banda per giocare il titolo sulla piattaforma.

7.2. Risultati qualità delle immagini

In questo paragrafo verranno illustrati i risultati ottenuti dai tre titoli sulle tre piattaforme cloud. I valori presi in esame sono:

- **PSNR (Peak-Signal-To-Noise-Ratio):** Higher-is-Better.
- **MSE (Mean-Square-Error):** Less-is-Better.
- **SSIM (Structural-Similarity-Index-Measure):** Higher-is-Better. (*max value 1*)

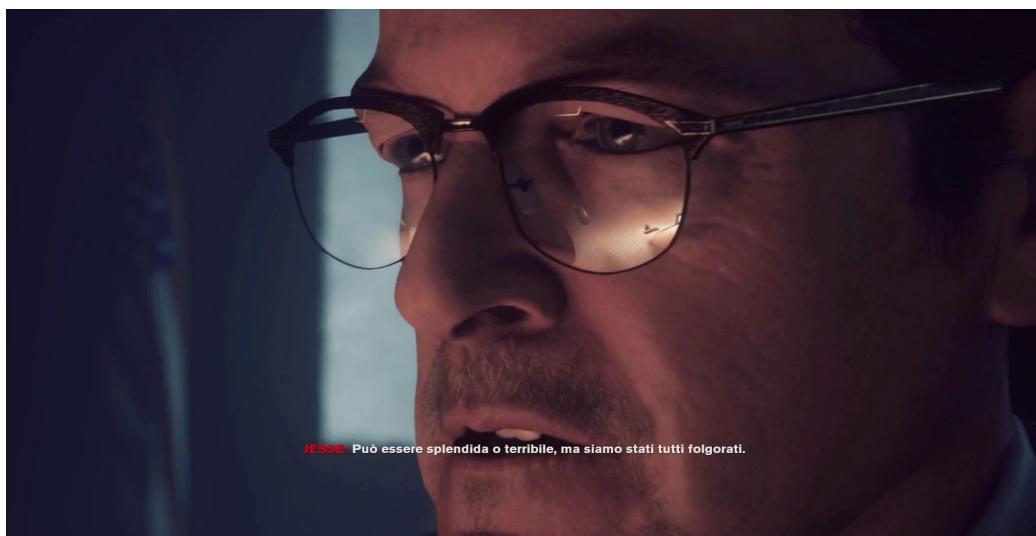
7.2.1. Risultati qualità delle immagini - Control



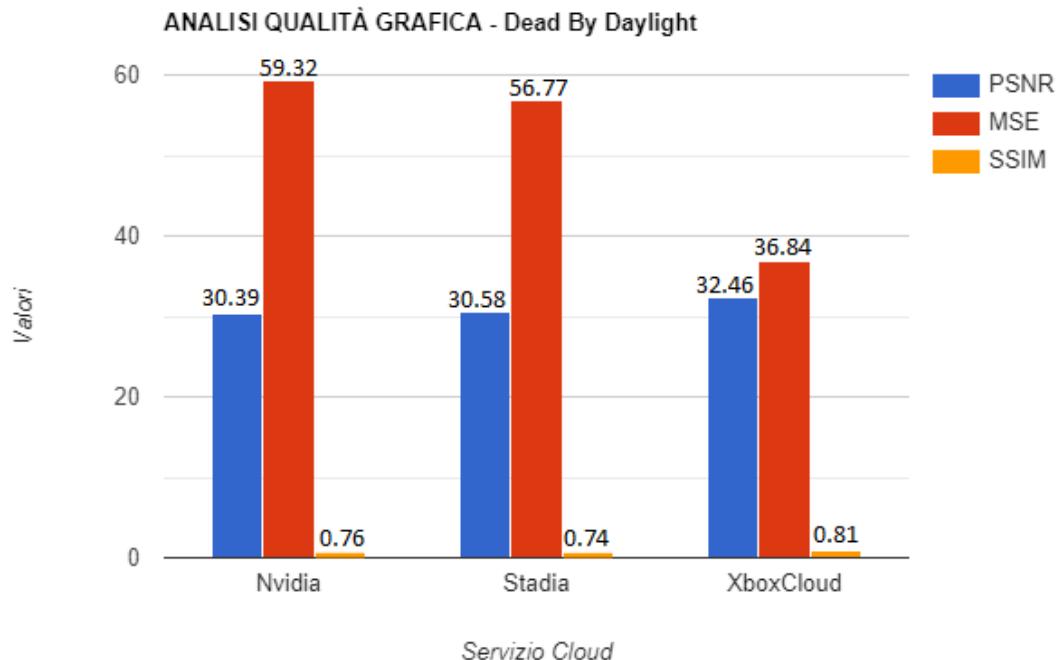
Dai dati mostrati in figura si evince come la qualità delle immagini vari di piattaforma in piattaforma, in particolare nel titolo analizzato sono stati utilizzati frame acquisiti nella cut scene iniziale, quindi tutti perfettamente uguali.

La qualità migliore è stata riscontrata nella piattaforma Stadia, tuttavia le altre hanno ottenuto un buon punteggio, che secondo la scala MOS le immagini sono di buona qualità, con una perdita percettibile ma non fastidiosa.

L'immagine di seguito riportata rappresenta il frame acquisito in locale con cui sono stati paragonati i vari servizi.

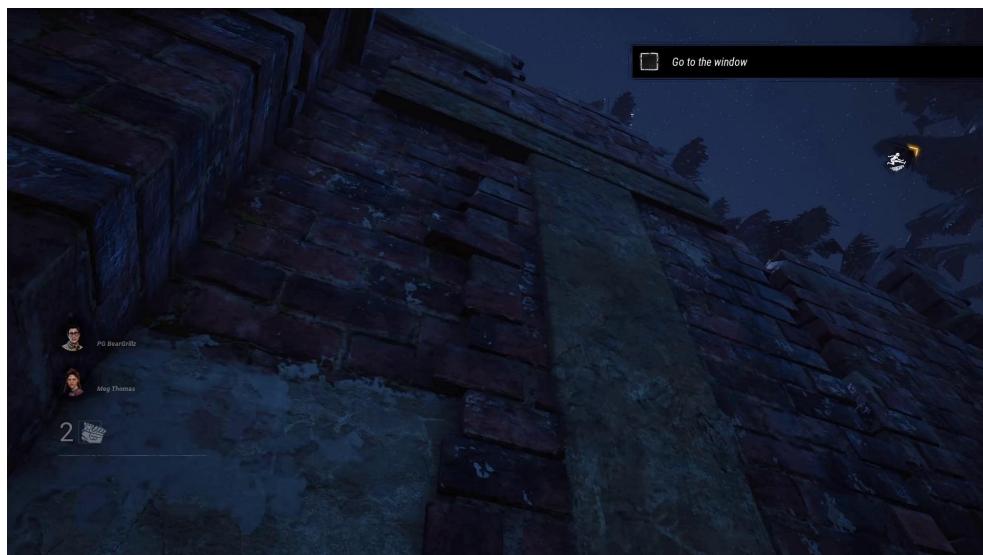


7.2.2. Risultati qualità delle immagini - Dead By Daylight

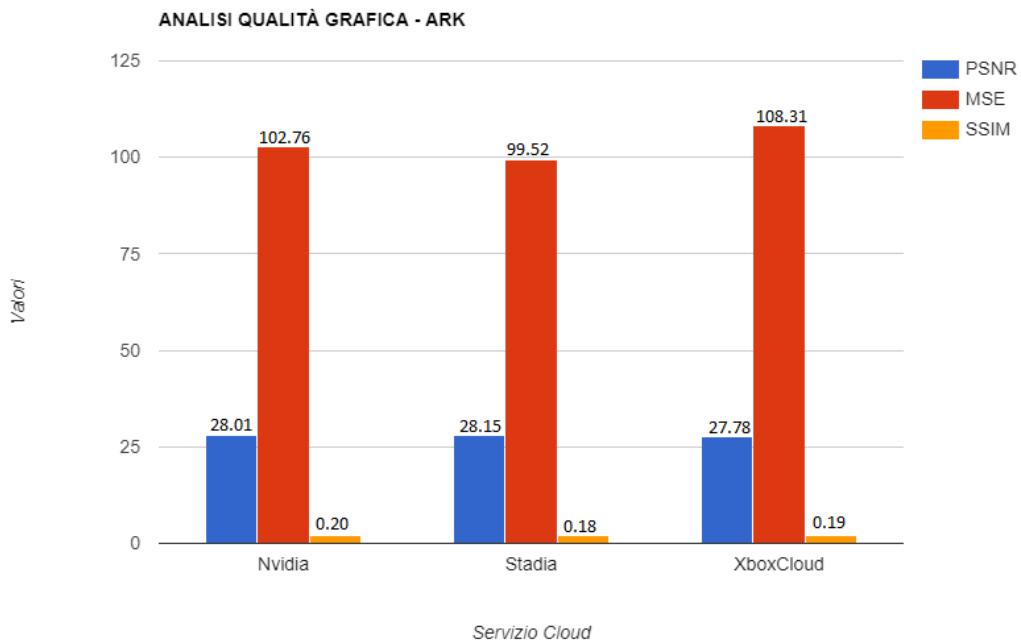


Dai dati mostrati in figura si evince come la qualità delle immagini vari di piattaforma in piattaforma. Non essendoci una cutscene iniziale per questo titolo, il frame è stato acquisito durante la fase di tutorial.

La qualità migliore è stata riscontrata nella piattaforma Xbox Cloud, secondo la scala MOS le immagini sono di povera qualità su tutte e tre le piattaforme risultando accettabili solo per il parametro **PSNR** sulla piattaforma Xbox Cloud. Quindi generalmente l'esperienza per questo titolo è risultata fastidiosa su tutte le piattaforme. L'immagine di seguito riportata rappresenta il frame acquisito in locale con cui sono stati paragonati i vari servizi.



7.2.3. Risultati qualità delle immagini - ARK: Survival Evolved



Dal grafico in figura nessuno dei risultati risulta soddisfacente, ma questo test per quanto riguarda il titolo ARK: Survival Evolved non è attendibile, poiché, essendo un mondo generato e non presentando cut scene e data la notevole differenza grafica tra la versione console utilizzata da Xbox Cloud e Stadia rispetto alla versione PC di Nvidia non è stato possibile ottenere un frame adatto al test.



7.3. Risultati variazione banda

Per poter simulare l'utilizzo reale su ampia scala di utenti, si è deciso di variare la banda a disposizione dei vari servizi, simulando degli utenti con connessioni scadenti.

Le piattaforme sono state testate con quantità di banda non ottimali per il loro funzionamento, replicando i test precedenti riducendo man mano la banda a disposizione.

Le bande con le quali sono stati effettuati i test sono state:

Download	Upload
10 Mbps	5 Mbps
5 Mbps	5 Mbps

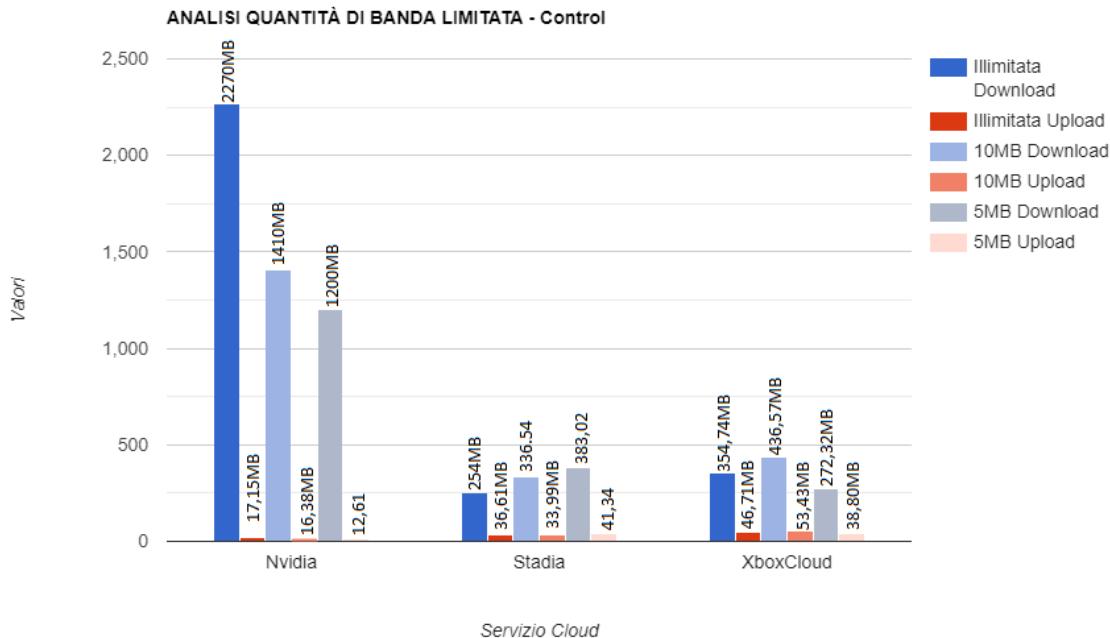
Netlimiter ci ha permesso di porre limiti di banda. Di seguito viene mostrato come, attraverso una regola che è stata creata sono stati posti i limiti applicati al processo dei vari servizi di Cloud analizzati:

Regole

Tipo	In	Out
Blocker	<input type="radio"/> Not set	<input type="radio"/> Not set
Limite	<input checked="" type="checkbox"/> 5 MB/s	<input checked="" type="checkbox"/> 5 MB/s
Priorità	<input type="radio"/> Not set	
Quota	<input type="radio"/> Not set	<input type="radio"/> Not set

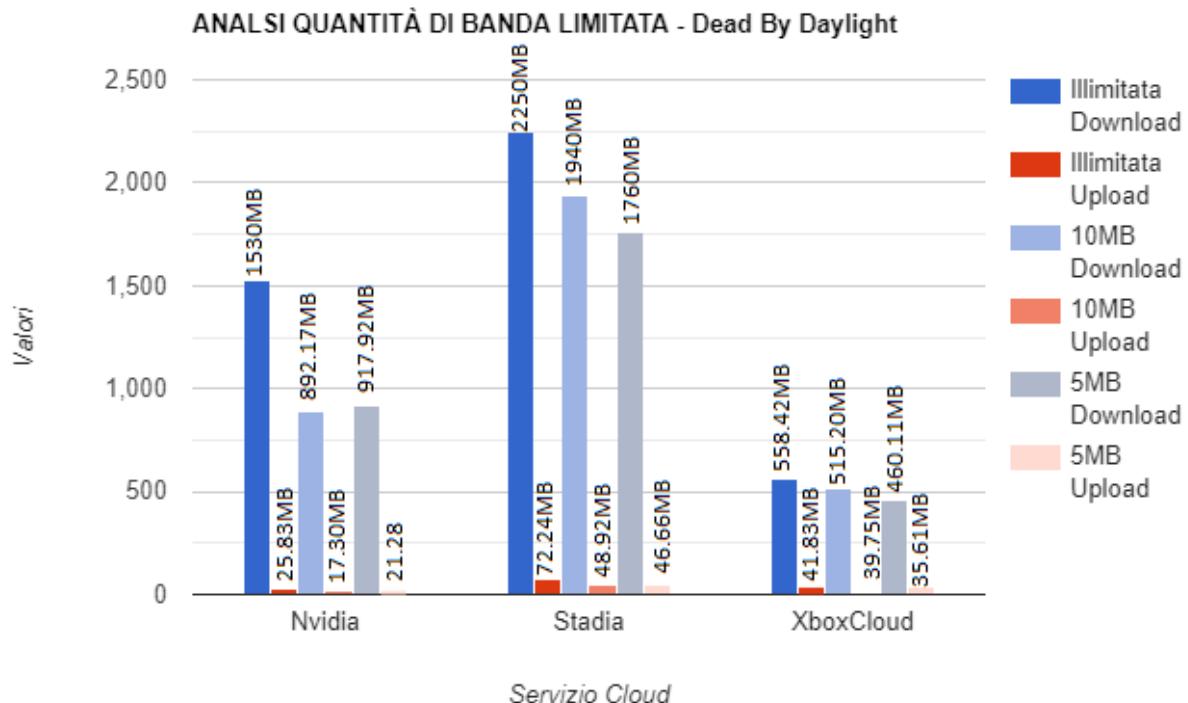
[Aggiungi regola](#)

7.3.1. Risultati quantità di banda limitata - Control



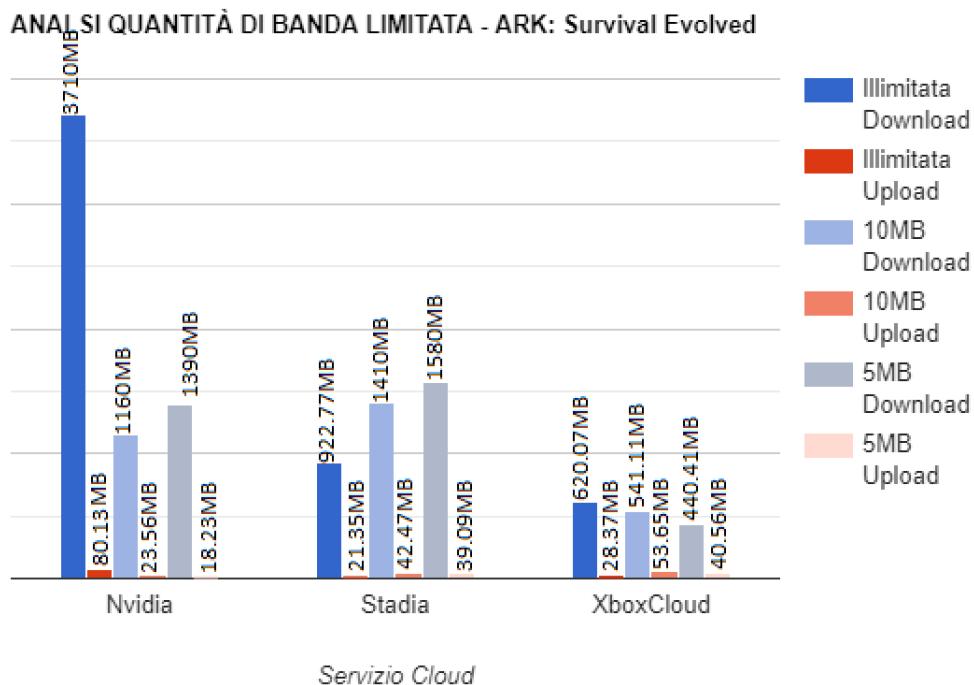
Come possibile vedere da questo grafico, anche limitando la banda, non tutti i servizi hanno avuto una diminuzione dei consumi. Nvidia, unica piattaforma rimasta costante nel caso dei consumi di banda rispetto alle limitazioni, sfrutta macchine particolarmente potenti e prevede un'architettura che permetta l'uso di grandi quantità di rete per fornire un'elevata qualità, un altro fattore determinante nell'alto consumo è ottimo rendimento di Control su Nvidia Geforce Now è dovuto all'alta compatibilità delle schede video Nvidia con Control dato che quest'ultimo può avvalersi anche della tecnologia RTX di casa Nvidia.

7.3.2. Risultati quantità di banda limitata - Dead By Daylight



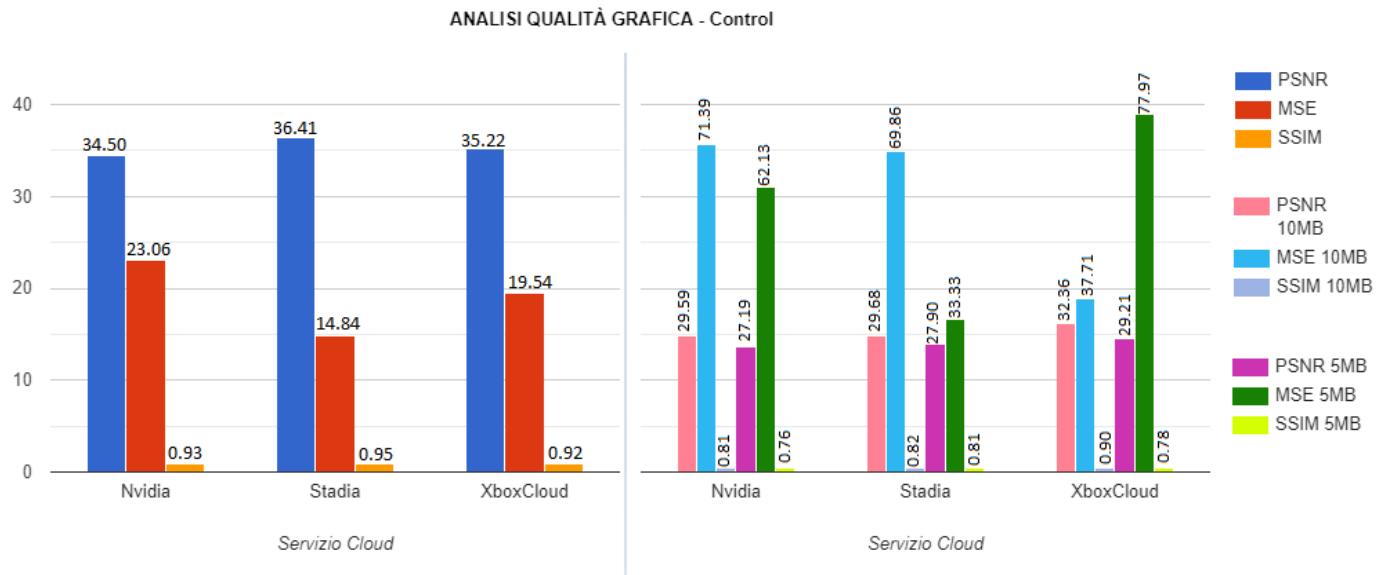
Come è possibile vedere da questo grafico, limitando la banda si è ridotto di molto il consumo per il servizio di Nvidia, che risulta quasi dimezzato, mentre Xbox Cloud si mantiene costante. Ciò è probabilmente riferibile allo scarso consumo della piattaforma sugli altri test senza limitazioni, dimostrandosi la piattaforma che pur offrendo una qualità altalenante risulta comunque la più agevole per reti internet poco potenti. Infine per quanto riguarda il servizio Stadia ha avuto lievi cali nei consumi cercando comunque di sfruttare pienamente la banda messogli a disposizione.

7.3.3. Risultati quantità di banda limitata - ARK: Survival Evolved



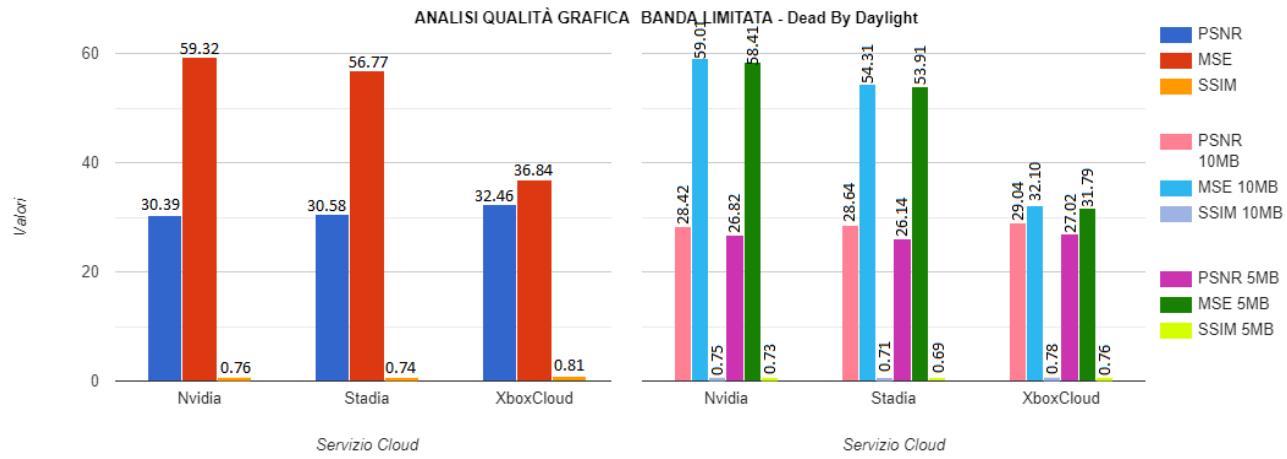
Nell'ultimo grafico, così come per i titoli analizzati in precedenza Nvidia riesce ad avere alti consumi vista l'alta qualità che fornisce, ma non appena la banda risulta limitata o altalenante si nota subito il calo dei consumi come anche nella qualità fornita, mentre le altre piattaforme rimangono maggiormente costanti anche con la differenziazione di banda.

7.3.4. Risultati qualità banda limitata - Control



Nel grafico in figura è possibile vedere la fedeltà d'immagine riscontrata dai Servizi Cloud per quanto riguarda il titolo "Control", la migliore piattaforma in questo ambito è risultata la piattaforma Stadia, considerando anche il consumo di banda non eccessivo risulta nel complesso un'ottima esperienza dato anche il valore di SSIM quasi alla perfezione e il valore di MSE molto basso. Anche Nvidia, risulta qualitativamente molto fedele, tuttavia è da tenere in mente l'elevato consumo di banda a differenza di Stadia, cioè quasi il doppio rispetto alle altre piattaforme. Infine Xbox Cloud ha mostrato anch'essa una buona qualità d'immagine ma allo stesso tempo bisogna tenere conto dell'input lag e alla scarsa giocabilità dovuta dall'infrastruttura che ospita il cloud.

7.3.5. Risultati qualità banda limitata - Dead By Daylight



Infine, nel grafico in figura è possibile vedere la fedeltà d'immagine riscontrata dai Servizi Cloud, con il titolo Dead By Daylight. Xbox Cloud ha presentato la migliore qualità grafica, però questo dato risulta falsato poiché la qualità dell'esperienza di gioco era terribile ma essendo il test della qualità grafica su un unico frame il test risulta positivo quando in realtà presentava molto rumore nell'immagine e problemi vari durante la sessione di test. Stadia e Nvidia che si assestano su risultati simili, entrambi permettendo la fruizione di immagini nitide anche a bassa disponibilità di banda.

Risultati qualità banda limitata - Ark:Survival Evolved

Il test di analisi della qualità grafica per Ark: Survival Evolved a banda limitata non è stato riportato dato che, come espresso in precedenza, a causa di alcune caratteristiche del gioco, come la generazione del mondo e l'enorme differenza tra il gioco versione console e versione PC, non era possibile avere un frame che fosse adatto ad essere usato per il test.

7.4. Risultati latenza

Dai dati analizzati la latenza varia al variare della quantità di banda messa a disposizione al servizio, in particolare tutti i servizi si sono mantenuti più o meno costanti nonostante lo stress inflittogli, tuttavia non c'è stato un servizio migliore dovuto dal fatto che la latenza variava in base al titolo. In tutti i test con Xbox Cloud sono state riscontrate latenze alte imputabili all'hardware scarno fornito al servizio.

Nella tabella di seguito sono stati riportati i valori ottenuti dalle varie piattaforme sui vari titoli al variare della banda a disposizione:

Risultati latenza - Control			
BANDA	Nvidia	Stadia	Xbox Cloud
Senza limiti	445.4 ms	1029.2 ms	564.4 ms
10 MB	514,6 ms	1128.8 ms	614.2 ms
5 MB	813,4 ms	1311.4 ms	846.6 ms

Risultati latenza - Dead By Daylight			
BANDA	Nvidia	Stadia	Xbox Cloud
Senza limiti	83 ms	29,8 ms	49.8 ms
10 MB	49,8 ms	37 ms	50 ms
5 MB	66,4 ms	49 ms	70 ms

Risultati latenza - ARK: Survival Evolved			
BANDA	Nvidia	Stadia	Xbox Cloud
Senza limiti	49 ms	99.6 ms	464,8 ms
10 MB	49,8 ms	215.8 ms	116.2 ms
5 MB	62,1ms	249 ms	182.6 ms

8. Conclusioni

In conclusione il progetto ha mostrato le potenzialità delle infrastrutture di Cloud Gaming più famose attualmente, mostrando le potenzialità e i difetti di ognuna. Allo stesso tempo ha permesso di capire quanto si possa effettivamente utilizzare costantemente i servizi dati i consumi misurati permettendo quindi di poter scegliere il servizio che meglio è per l'utente. Come ad esempio per l'utente esigente per la qualità grafica dell'esperienza è consigliata la scelta di Nvidia Geforce Now, il quale permette si un'ottima esperienza, ma al contempo necessita di una connessione non a consumo dato l'eccessiva quantità di banda utilizzata e necessità che l'utente abbia già una libreria titoli, poiché non fornisce alcun gioco incluso nell'abbonamento. A differenza di Xbox Cloud il quale mette a disposizione, compreso nell'abbonamento, centinaia di giochi tra cui scegliere ma, essendo ancora in beta, non è il miglior servizio per qualità grafica ed esperienza di gioco nel totale. Stadia, infine, lo si può considerare una via di mezzo tra i due. Infatti permette di acquistare giochi direttamente sul suo store, i quali saranno per sempre fruibili dall'utente, in più tramite l'abbonamento Stadia Pro vengono forniti, mensilmente, dei giochi. L'esperienza di gioco è tutto sommato ottima, considerando il fatto che, nel caso di cali di connessione, gestisce in automatico la risoluzione del gioco, abbassando la qualità grafica per avere una latenza minima.

Bibliografia

[1] [Peñaherrera-Pulla, Oswaldo Sebastian, et al. "Measuring Key Quality Indicators in Cloud Gaming: Framework and Assessment Over Wireless Networks." Sensors 21.4 \(2021\): 1387.](#)

[2] [R. Shea, J. Liu, E. C. - Ngai and Y. Cui, "Cloud gaming: architecture and performance," in IEEE Network, vol. 27, no. 4, pp. 16-21, July-August 2013, doi: 10.1109/MNET.2013.6574660.](#)