

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria e Scienze Informatiche

Evoluzione delle Tecnologie di Desktop Remoto

Tesi di laurea in:
RETI DI TELECOMUNICAZIONI

Relatore
Prof. Franco Callegati

Candidato
Matteo Susca

I Sessione di Laurea
Anno Accademico 2023-2024

Abstract

Negli ultimi decenni, le tecnologie di desktop remoto hanno acquisito crescente rilevanza, trovando applicazione in ambiti diversi, dal telelavoro al cloud gaming. Questa tesi si propone di analizzare l'evoluzione e lo stato attuale delle principali tecnologie di desktop remoto, illustrandone i protocolli, le caratteristiche e le innovazioni. L'analisi parte dalle prime tecnologie di accesso remoto, come l'X Window System e il protocollo VNC, per arrivare a strumenti moderni e ottimizzati per basse latenze come Parsec.

Sono stati inoltre esaminati gli utilizzi attuali delle tecnologie di desktop remoto in contesti lavorativi e di intrattenimento. Il telelavoro e l'assistenza remota dimostrano come queste soluzioni abbiano migliorato la produttività e ridotto i costi operativi. Il cloud gaming, come esempio di applicazione avanzata, evidenzia le sfide e le soluzioni tecniche necessarie per garantire un'esperienza fluida e di alta qualità per l'utente finale.

Infine, sono esplorate le prospettive future delle tecnologie di desktop remoto, incluse soluzioni avanzate come Desktop as a Service (DaaS) ed edge computing, che offrono scenari sempre più dinamici e scalabili. La tesi conclude proponendo riflessioni sull'evoluzione delle tecnologie di desktop remoto, con uno sguardo alle possibili sfide future, come la sicurezza, la gestione della latenza e l'integrazione con reti ad alta velocità.

*Dedicato a me stesso,
senza il quale non sarei riuscito
a scrivere questa tesi.*

Contents

Abstract	iii
1 Introduzione	1
2 Evoluzione delle Tecnologie di Desktop Remoto	3
2.1 Origini prime Tecnologie	3
2.2 Analisi e Funzionamento delle Principali Tecnologie di Desktop Re- moto	4
2.2.1 X Window System	4
2.2.2 Virtual Network Computing	7
2.2.3 Remote Desktop Protocol	9
2.2.4 Parsec	13
2.2.5 Tecnologie degne di nota	15
3 Sviluppi e Applicazioni Attuali delle Tecnologie di Desktop Re- moto	17
3.1 Assistenza Remota	17
3.2 Infrastructure as a Service	18
3.2.1 Caratteristiche di IaaS	18
3.2.2 Provider e Cliente	19
3.2.3 Desktop as a Service	20
3.3 Cloud Gaming	21
3.3.1 Funzionamento	21
3.3.2 Tecnologie di streaming	22
3.3.3 Vantaggi e Svantaggi	23
3.3.4 Principali Servizi di Cloud Gaming	25
4 Prospettive, Sviluppi e Applicazioni futuri del Desktop Remoto	29
4.1 Applicazioni di VR e AR nei Desktop Virtuali	29
4.1.1 Desktop Virtuali in VR e AR	29
4.1.2 Potenziali Vantaggi dei Desktop Virtuali	30

CONTENTS

4.1.3	Vantaggi Attuali ed Effettive Limitazioni	31
4.1.4	L'Importanza delle Tecnologie di Desktop Remoto	31
4.2	Smart Working: Definizione e Impatti Post-Pandemici	32
4.2.1	Vantaggi dello Smart Working	32
4.2.2	Svantaggi e Sfide del Lavoro da Remoto	32
4.2.3	L'importanza e il Ruolo delle Tecnologie di Desktop Remoto nello Smart Working	33
4.2.4	Prospettive Future per il Desktop Remoto e lo Smart Working	33
4.3	Il ruolo del 5G nelle applicazioni di Desktop Remoto	34
4.3.1	Miglioramenti nelle Prestazioni del Desktop Remoto	34
4.3.2	Impatti della Computazione Edge	35
4.3.3	Sicurezza e Affidabilità nel Desktop Remoto	36
4.3.4	Conclusioni	36
5	Conclusioni	37
		39
	Bibliography	39

Chapter 1

Introduzione

Al giorno d'oggi, è sempre più comune incontrare realtà lavorative che offrono la possibilità di lavorare da remoto. La possibilità di connettersi ad un computer aziendale da qualsiasi dispositivo connesso a internet comporta numerosi e inegabili vantaggi, come l'accesso diretto alla rete aziendale, l'utilizzo di hardware specifico per alcune attività senza doverlo trasportare fisicamente, e la flessibilità di lavorare da casa o in mobilità. Tutto questo è reso possibile dalle tecnologie di desktop remoto, che permettono di controllare un computer da un altro dispositivo, ovunque esso si trovi, come se ci si trovasse fisicamente davanti ad esso.

Anche nell'industria videoludica le tecnologie di desktop remoto ricoprono un ruolo importante. Il cloud gaming, ad esempio, è un servizio che permette di giocare a videogiochi in streaming, sfruttando la potenza di calcolo di un server remoto. Il colosso tecnologico NVIDIA, uno dei principali attori in questo settore, ha dimostrato fin dal 2013 con il servizio NVIDIA GRID di essere in grado di offrire un'esperienza di gioco fluida e di alta qualità, grazie all'utilizzo di tecnologie di desktop remoto. Ora il servizio è stato ribattezzato GeForce NOW e offre la possibilità di giocare a numerosi titoli di successo, anche su dispositivi mobili. Anche altre aziende come Google, Microsoft e Amazon stanno investendo in questo settore, con servizi come Google Stadia (attualmente chiuso), Xbox Cloud Gaming e Amazon Luna.

L'assistenza remota è un altro campo in cui le tecnologie di desktop remoto hanno avuto un impatto positivo. I tecnici possono ora accedere al computer di un

cliente e risolvere problemi senza doversi recare fisicamente sul posto, riducendo i tempi e i costi di intervento, risultando quindi un vantaggio per entrambe le parti.

Questo lavoro di tesi si propone di analizzare le tecnologie di desktop remoto, partendo dalle loro origini e arrivando alle applicazioni attuali e future. Alla base del desktop remoto e di tecnologie simili vi è il concetto di virtualizzazione del desktop. La virtualizzazione del desktop consiste nella separazione dell'ambiente desktop da un dispositivo fisico attraverso un modello client-server. In questo modello, il desktop virtualizzato viene memorizzato su un server remoto centrale e non sul dispositivo dell'utente. L'utente può quindi accedere a file, applicazioni e dati da qualsiasi dispositivo compatibile, come un Personal Computer (PC), un tablet o uno smartphone. Quando invece di un server centrale si utilizza un altro computer come host, si parla specificamente di desktop remoto. Questa tecnologia consente di gestire e controllare da remoto un computer come se ci si trovasse di fronte ad esso fisicamente. Le tecnologie di desktop remoto hanno subito notevoli cambiamenti nel corso degli anni, evolvendosi in base alle esigenze emergenti e ai progressi tecnologici. Oggi esistono numerosi protocolli tra cui scegliere, ciascuno con le proprie caratteristiche e peculiarità, rispondendo alle diverse esigenze di utilizzo.

Chapter 2

Evoluzione delle Tecnologie di Desktop Remoto

Il desiderio di connettersi da remoto ad un PC è una necessità che si è manifestata fin dai primi anni dell'informatica. Già negli anni '70, insieme al progetto ARPANET, si iniziò a pensare a come poter accedere a terminali remoti tramite una connessione di rete, successivamente implementata con il protocollo Telnet. Ovviamente ai giorni nostri, in molti casi, non basta più accedere solamente alla shell di un computer remoto, ma è necessario poter interagire con un'interfaccia grafica. Infatti le esigenze di accesso remoto sono cambiate col tempo e continuano a cambiare. Sono inoltre diverse a seconda del contesto in cui ci si trova: un utente che lavora da casa ha esigenze diverse da un gamer che vuole giocare in mobilità, o da un tecnico che deve risolvere un problema su un computer remoto. Anche per questo motivo, nel corso degli anni sono stati sviluppati molteplici protocolli e tecnologie con funzionalità e caratteristiche diverse.

2.1 Origini prime Tecnologie

Negli anni '80 esistevano già tecnologie che permettevano di accedere ad un terminale remoto da una macchina locale. Alcune macchine erano adibite solamente alla connessione con un terminale remoto; queste macchine erano chiamate "dumb terminal" (terminale stupido) o "thin client". Quest'ultimo termine è ancora uti-

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

lizzato oggi per indicare un dispositivo che si connette ad un server remoto per eseguire applicazioni e accedere a risorse di rete. Con l'introduzione e aumento di sistemi operativi con interfaccia grafica, era inevitabile la conseguente evoluzione delle tecnologie di accesso remoto. Fu infatti nel 1984 che fu introdotto, dal Massachusetts Institute of Technology, il X Window System, successore del W Window System.

2.2 Analisi e Funzionamento delle Principali Tecnologie di Desktop Remoto

2.2.1 X Window System

X Window System, noto anche come X o X11, è un sistema di finestre che consente di eseguire applicazioni grafiche localmente o su computer remoti tramite una architettura client-server. Nasce dall'esigenza comune di due progetti del MIT, Athena e il Laboratory for Computer Science, di avere un sistema che permetesse di accedere a risorse grafiche distribuite su una rete di workstation eterogenee, indipendentemente dall'hardware o dal sistema operativo utilizzato [9]. Il nome "X" deriva dal suo predecessore, W Window System, sviluppato presso l'Università di Stanford. A differenza di W Window System, X permetteva di gestire applicazioni grafiche su workstation remote, favorendo il concetto di separazione client-server per l'accesso ai display.

La versione attuale di X è la versione 11 (X11), rilasciata nel 1987. Questa versione è stata estesa ulteriormente negli ultimi anni, ma il suo funzionamento di base è rimasto invariato e compatibile con le versioni precedenti.

Architettura e Desktop Remoto X è una collezione di software che si posizionano tra il kernel e altri software di più alto livello detti X-clients. X si basa su una architettura client-server dove il server è in esecuzione sulla macchina che ospita l'interfaccia grafica e il client è l'applicazione che richiede servizi grafici [9]. Questa terminologia può sembrare contorta in quanto chi non ha familiarità

¹Di Dmitry Makarov - Opera propria, CC BY-SA 4.0 <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1445865>

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

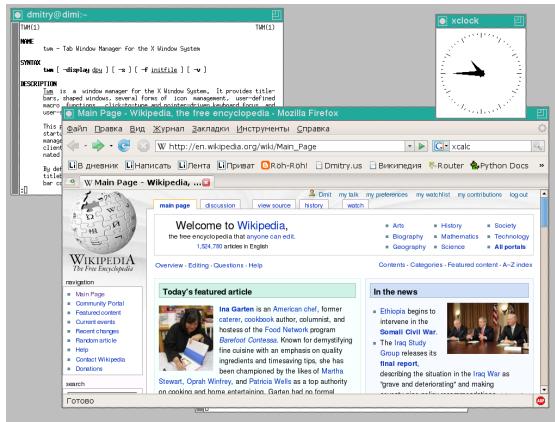


Figure 2.1: Twm, un window manager per X Window System¹

con il sistema X potrebbe pensare che sia invertita. In realtà il tutto deve essere visto dal punto di vista delle applicazioni: queste richiedono servizi grafici e I/O al server X. I client possono essere locali o remoti. Ogni server X può connettersi a molteplici client.

La comunicazione tra server e client avviene in modalità full-duplex, ovvero entrambi possono inviare e ricevere dati contemporaneamente. Lo scambio di messaggi avviene tramite il protocollo TCP/IP, ma spesso vengono utilizzati altri canali comunicativi come Unix domain sockets o memoria condivisa³. Indipendentemente dal canale utilizzato, è necessario che questo sia affidabile e che garantisca l'integrità e l'ordine dei messaggi, in quanto il protocollo X non implementa naturalmente meccanismi di ritrasmissione o di ordinamento dei pacchetti. Quando un client si connette a un server X, avviene una fase di handshake che stabilisce la connessione e verifica l'autenticazione del client. Successivamente, il client può inviare richieste al server, come la creazione di finestre, il disegno di elementi grafici, o la gestione dell'input. Le richieste vengono accumulate in un buffer e inviate in modo asincrono per migliorare l'efficienza della comunicazione. Il server gestisce le richieste di più client contemporaneamente, garantendo l'isolamento tra loro, ma non fornisce alcuna garanzia di ordinamento tra client differenti, a meno che non

²Di David Gerard, recreated by Efitu - Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1391232>

³The X New Developer's Guide: Communication Between Client and Server: <https://www.x.org/wiki/guide/communication/>

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

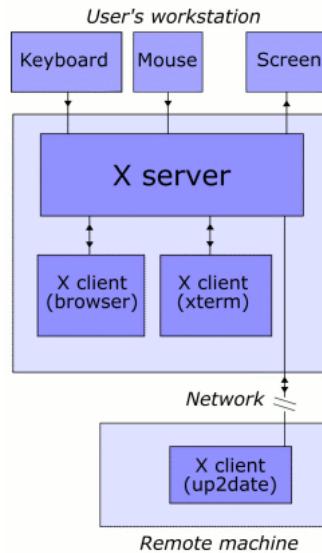


Figure 2.2: Esempio di architettura client-server di X Window System ²

venga esplicitamente richiesto.

A differenza di altri protocolli progettati specificamente per il desktop remoto, X è stato sviluppato principalmente per l'esecuzione remota di singole applicazioni grafiche, piuttosto che per la gestione completa di un ambiente desktop (Desktop Environment, DE). Per eseguire un intero DE in remoto, sarebbe necessario ricorrere a software aggiuntivi come X2Go.

Un'altra limitazione del protocollo X è l'assenza di meccanismi di compressione dei dati. Questo significa che i dati grafici vengono trasmessi senza ottimizzazione, il che può causare un utilizzo eccessivo della larghezza di banda e peggiorare le prestazioni su connessioni lente o instabili. Inoltre, tutta la parte di rendering grafico è demandata alla macchina locale su richiesta del client.

Esempio di utilizzo di X Window System per l'esecuzione remota di applicazioni Per comprendere meglio il funzionamento del X Window System in un contesto di desktop remoto, consideriamo un esempio concreto: l'esecuzione dell'applicazione di editing testuale `gedit` su un server remoto e la sua visualizzazione su un computer locale. Questo può essere realizzato attraverso il X forwarding con ssh, utilizzando il seguente comando:

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

Listing 2.1: Connessione remota con X forwarding

```
1 ssh -X user@remote_server
```

Dopo aver inserito le credenziali e stabilito la connessione, possiamo avviare l'applicazione da linea di comando come avremmo fatto localmente:

Listing 2.2: Esecuzione di gedit su server remoto

```
1 gedit &
```

Funzionamento del protocollo Quando viene eseguito il codice di Listing 2.1, il client e il server X avviano una procedura di handshake per stabilire il canale di comunicazione sicuro. Il server X verifica che il client abbia i permessi necessari per connettersi al display locale e, se tutto è corretto, il client e il server negoziano parametri di comunicazione come il byte-ordering, che permette di gestire correttamente i dati tra macchine con architetture diverse.

Dopo che l'handshake e la negoziazione dei parametri sono stati conclusi, il client remoto `gedit` invia richieste al server X locale per creare finestre, disegnare interfacce grafiche e gestire l'input dell'utente. Queste richieste vengono trasmesse attraverso il tunnel `ssh`. Il client chiede inoltre al server X di intercettare gli eventi di input, come la pressione di un tasto o il movimento del mouse, e di inoltrarli al client remoto. Quindi, quando l'utente interagisce con `gedit` (ad esempio digitando del testo o muovendo il mouse), il server X cattura questi eventi e li inoltra al client remoto tramite il protocollo X11. Il client elabora gli eventi e, se necessario, invia aggiornamenti grafici che vengono visualizzati sul display locale. Questo flusso di comunicazione è gestito in modo asincrono, permettendo al server di accumulare richieste in un buffer e processarle in modo efficiente, ottimizzando così l'uso della rete.

2.2.2 Virtual Network Computing

Il protocollo Virtual Network Computing (VNC) è uno dei più diffusi per l'accesso remoto al desktop. Sviluppato presso il laboratorio di ricerca Olivetti & Oracle Research Laboratory nel 1998, VNC è stato inizialmente progettato per consentire l'accesso alle workstation da diversi dispositivi, sia all'interno che all'esterno del

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

laboratorio. Sebbene X Window System offrisse già funzionalità simili, richiedeva che il dispositivo remoto eseguisse un server X, che risultava spesso troppo oneroso per dispositivi con capacità di elaborazione limitate. Inoltre, X Window System era strettamente legato all'ambiente Unix [7].

VNC, al contrario, è stato concepito per essere indipendente dal sistema operativo e per garantire leggerezza nell'esecuzione. Questo rende possibile la sua implementazione su qualsiasi dispositivo e l'accesso da qualunque altro dispositivo dotato di un client VNC, anche poco potente. Una delle caratteristiche chiave di VNC è la semplicità del client, che non mantiene stati complessi, permettendo una facile disconnessione e riconnessione senza compromettere lo stato del server o l'ambiente desktop.

Architettura e funzionamento

Alla base del sistema VNC si trova il protocollo Remote Framebuffer (RFB)⁴, che opera a livello di framebuffer, rendendolo compatibile con qualsiasi sistema operativo, sistema di finestre o applicazione. Il sistema VNC è composto principalmente da due componenti: il server VNC e il client VNC. Il server è responsabile delle modifiche al framebuffer e ospita il sistema di finestre e le applicazioni, mentre il client rappresenta l'endpoint con cui l'utente interagisce attraverso il display e i dispositivi di input [7].

Rendering grafico Il sistema VNC utilizza un metodo di rendering molto semplice, basato su una singola operazione grafica:

”Posiziona un rettangolo di dati di pixel in una determinata posizione x, y .”

Questo approccio, pur sembrando inefficiente a prima vista, offre grande flessibilità grazie all'uso di diversi schemi di codifica dei dati grafici. Ad esempio il server può ottimizzare la trasmissione di dati riciclando informazioni già presenti sullo schermo del client. Se una finestra viene spostata da una posizione all'altra sul desktop, il server VNC invierà semplicemente una richiesta per spostare il rettangolo corrispondente dalla posizione iniziale (x_1, y_1) alla nuova posizione ($x_2,$

⁴VNC - Wikipedia: <https://w.wiki/BoHJ>

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

y2). Inoltre, VNC utilizza tecniche di compressione dei dati per ridurre significativamente la quantità di informazioni da trasmettere.

Un insieme di rettangoli di pixel modificati viene definito "framebuffer update". Ogni rettangolo può essere codificato in modo diverso, consentendo al server di scegliere il metodo di codifica più efficiente in base alla situazione. A differenza di un frame video completo, un aggiornamento del framebuffer riguarda solo la porzione di schermo modificata. Gli aggiornamenti vengono inviati in modo asincrono: il server invia nuovi aggiornamenti solo quando è necessario; questo consente di adattare la frequenza degli aggiornamenti in base agli eventi sullo schermo, alla velocità della rete e alle capacità del client [7]. Ad esempio, se l'utente trascina una finestra su una connessione veloce con un client potente, gli aggiornamenti saranno continui e fluidi. In caso di connessione lenta o client con risorse limitate, il server ridurrà la frequenza degli aggiornamenti, causando un movimento meno fluido.

Input VNC supporta un modello standard di input che include una tastiera e un dispositivo di puntamento multi-pulsante. Il client invia eventi di input ogni volta che un tasto viene premuto o il mouse viene mosso, permettendo al server di elaborare questi eventi e aggiornare l'interfaccia di conseguenza. [7].

Connessione e autenticazione Quando un client richiede la connessione a un server VNC, il server risponde con una richiesta di autenticazione, generalmente basata su un meccanismo di password *challenge-response*. Una volta autenticato, client e server negoziano parametri come la risoluzione dello schermo, il formato dei pixel, i metodi di codifica supportati e altre impostazioni. Dopo la negoziazione, la sessione viene avviata e il client richiede il primo aggiornamento del framebuffer [7].

2.2.3 Remote Desktop Protocol

Remote Desktop Protocol (RDP) è un protocollo proprietario sviluppato da Microsoft per l'accesso remoto a sistemi Windows. Viene introdotto nel 1998 con Windows NT 4.0 Terminal Server Edition e successivamente integrato in tutte le

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

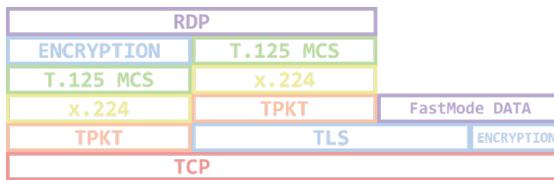


Figure 2.3: Stack di protocolli RDP ⁵

versioni successive di Windows (ad eccezione delle versioni Home).

Il Protocollo

Al suo interno lo stack RDP è composto da diversi protocolli, ognuno con un compito specifico.

- **TPKT**: Anche conosciuto come *ISO Transport Service on top of the TCP (RFC 1006)*, è un protocollo di trasporto che fornisce un servizio di trasporto orientato alla connessione. Permette lo scambio di unità di dati Transport Protocol Data Units (TPDU) tra due host.
- **X.224**: Protocollo di livello di trasporto che fornisce servizi di sessione e di connessione. Gestisce le richieste e risposte di connessione.
- **T.125 MCS**: Protocollo che permette ad RDP di gestire e comunicare attraverso più canali di comunicazione.

L'attività di invio e ricezione dei dati tramite lo stack RDP segue essenzialmente lo stesso schema del modello OSI a sette livelli, comune nelle reti Local Area Network (LAN). I dati di un'applicazione o servizio vengono segmentati, indirizzati a un canale, crittografati, incapsulati e impacchettati nel protocollo di rete, per poi essere inviati al client. I dati ricevuti subiscono il processo inverso: vengono decapsulati, decrittografati e, infine, resi disponibili all'applicazione.

Connessione

La fase di connessione può essere suddivisa nelle seguenti fasi:

⁵Fonte: <https://www.anyviewer.com/how-to/what-is-rdp-2578.html>

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

1. **Inizializzazione della connessione:** Il client invia un Protocol Data Units (PDU) di richiesta di connessione utilizzando il protocollo X.224. Il server risponde con un PDU di conferma di connessione. In questa fase viene stabilito il protocollo di sicurezza da utilizzare.
2. **Scambio delle Impostazioni di Base:** Tramite MCS Connect Initial PDU e MCS Connect Response PDU, client e server scambiano informazioni di base come la versione del protocollo, la dimensione del desktop, dati riguardanti la sicurezza come il server random e il certificato e informazioni di rete come il numero di canali supportati.
3. **Connessione dei Canali:** Il client e il server stabiliscono le connessioni individuali per ogni canale virtuale previsto nella sessione, tramite una serie di richieste e conferme.
4. **Avvio della Sicurezza:** Il client invia un PDU di scambio di sicurezza contenente un numero casuale cifrato, utile per generare le chiavi di sessione. Da questo punto, il traffico RDP può essere cifrato.
5. **Scambio delle Impostazioni di Sicurezza:** Il client invia un PDU crittato contenente informazioni di configurazione come username, dominio e opzioni di compressione supportate.
6. **Verifica della Licenza:** Questa fase verifica se il client è autorizzato a connettersi a un terminal server con un numero maggiore di connessioni simultanee. Se il server non ha una licenza configurata, consente fino a due connessioni.
7. **Scambio delle Funzionalità supportate:** Il server e il client scambiano informazioni sui rispettivi tipi di capacità supportati, come codec per bitmap, supporto per tastiera e mouse, e configurazioni generali.
8. **Finalizzazione della Connessione:** Il client e il server completano la connessione attraverso una serie di PDUs per sincronizzare i rispettivi identificatori utente e definire il controllo condiviso della sessione.

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

9. **Scambio dei Dati:** Una volta stabilita la connessione, il client invia dati di input (come tastiera e mouse) e riceve output grafico dal server, con l'opzione di utilizzare la compressione per ridurre il traffico dati.

Input e Output

Durante una sessione RDP, il client invia dati di input (come ad esempio mouse e tastiera) al server, mentre quest'ultimo invia al client dati di output, principalmente grafici. Questo scambio di dati avviene attraverso due modalità: *slow-path* e *fast-path*:

- **Slow-Path:** Questa modalità è la più completa, in cui ogni pacchetto di dati PDU include l'intera serie di header del protocollo RDP. Questo lo rende adatto per inviare dati critici che richiedono la piena gestione dei metadati, anche se aumenta la dimensione dei pacchetti trasmessi e il consumo di banda.
- **Fast-Path:** Riducendo o rimuovendo alcuni degli header da alcuni PDU, questa modalità permette di ridurre la quantità di dati trasmessi e la latenza di trasmissione. Inoltre così facendo riduce anche il carico di lavoro per processare i pacchetti. Fast-Path è comunemente usato per input a bassa priorità, come movimenti del mouse e sequenze di tasti, dove è importante minimizzare il ritardo.

Canali in RDP

RDP si avvale di diversi canali per la trasmissione di dati. Esistono due tipi principali di canali:

- **Static Virtual Channels (SVC):** Limitati a 31 per connessione, questi canali trasportano comunicazioni essenziali tra client e server, come il canale I/O o il canale utente. Vengono instaurati durante lo "Scambio delle Impostazioni di Base" e rimangono attivi per tutta la durata della sessione.
- **Dynamic Virtual Channels (DCV):** Trasportati su uno specifico SVC (chiamato *DRDYNVC*), i DCV, a differenza degli SVC, possono essere creati

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

e distrutti liberamente durante la sessione. Questi canali possono essere liberamente utilizzate da sviluppatori per estendere le funzionalità di RDP. Utilizzi comuni sono l'input audio (da client a server), rendering grafico e PnP.

2.2.4 Parsec

Parsec è un software di desktop remoto focalizzato principalmente sul gaming. Rispetto alle tecnologie precedenti è ideato per ridurre al minimo la latenza tra il client e il server. La capacità di offrire streaming video a bassa latenza, alta risoluzione e alto frame rate lo rende adatto non solo per il gaming ma anche per applicazioni professionali come l'editing video o la progettazione grafica. Nasce dall'idea di utilizzare istanze GPU di Amazon Web Services per lo streaming di giochi a bassa latenza su dispositivi meno potenti e successivamente si evolve in un servizio di desktop remoto completo. A differenza di alcune tecnologie sopracitate, Parsec trasmette come flusso video un "mirror" del desktop dove è presente il server, permettendo di visualizzare l'intero ambiente desktop e non solo singole applicazioni. Quindi parsec si comporta come se dovesse trasmettere un video. Aggiungendo la possibilità di trasmettere input da tastiera e mouse, il client può interagire con il server come se si trovasse fisicamente davanti ad esso.

Il client Parsec è disponibile per Windows, macOS, Linux, Android, Raspberry Pi e web browser. Il server Parsec è disponibile per Windows e macOS.

Procedura di Trasmissione e Visualizzazione

Il flusso di lavoro di Parsec per la trasmissione video si compone delle seguenti fasi:

1. Cattura del frame
2. Compressione
3. Trasmissione
4. Decodifica
5. Rendering

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

Cattura del frame Per la cattura del frame su Windows, Parsec utilizza la Desktop Duplication API (disponibile a partire da Windows 8.1), che consente diretto accesso al framebuffer e permette di trasferire il frame nella memoria video della GPU.

Compressione Per poter trasmettere questo flusso video ad alta risoluzione e frame rate su una rete, è necessario comprimerlo. La compressione di un video può essere eseguita in due modi: software e hardware. La compressione software è eseguita dalla CPU, mentre la compressione hardware è eseguita da un chip dedicato, come una GPU (integrata o dedicata). Il vantaggio della compressione software è la compatibilità in quanto può essere eseguita su qualsiasi dispositivo, ma il suo svantaggio è il tempo impiegato per la compressione. La compressione hardware, al contrario, è molto più veloce ma richiede un chip dedicato, che non è sempre presente su tutti i dispositivi. Parsec utilizza i codec H.264 e H.265, scelti per la loro ampia compatibilità hardware così da permettere compressione hardware per qualsiasi dispositivo relativamente recente.

Per ridurre al minimo le latenza, Parsec è progettato per far sì che il framebuffer, una volta catturato, venga direttamente inviato alla GPU per essere codificato senza passare per la memoria di sistema, evitando operazioni CPU intermedie.

Trasmissione Per garantire una connessione a bassa latenza, Parsec utilizza due connessione Peer-To-Peer UDP sia per client che per host.

Decodifica Una volta ricevuto dal client, il frame compresso viene decodificato. Anche in questo caso Parsec predilige la decodifica hardware, sfruttando ASIC o GPU per ridurre al minimo la latenza.

Rendering L'ultimo passaggio della procedura è il rendering, che consiste nel visualizzare il frame decodificato sullo schermo del client. Parsec, per minimizzare i ritardi e garantire una visione fluida, utilizza la sincronizzazione verticale (V-sync) per allineare la visualizzazione del frame con il refresh rate del monitor, evitando problemi di tearing. Questo implica una sincronizzazione accurata tra i frame inviati dal server e il display del client.

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

Latenza

Come abbiamo detto, la sfida principale di Parsec è ridurre al minimo la latenza tra il client e il server. Eseguendo tutte le operazioni sulla GPU, evitando che la CPU sia coinvolta nella compressione e decompressione dei frame, Parsec riesce a ridurre la latenza a pochi millisecondi. Inoltre, utilizzando connessioni Peer-To-Peer UDP, Parsec evita i ritardi dovuti ai server intermedi, garantendo una connessione diretta tra client e host. Una limitazione che Parsec non può superare è la latenza intrinseca della rete, che può variare in base alla qualità della connessione e alla distanza geografica tra client e server. Fortunatamente negli ultimi anni la diffusione di connessioni ad alta velocità e a bassa latenza è aumentata notevolmente, soprattutto con l'aumento di connessioni Fiber To The Home (FTTH).

Altri Utilizzi

Grazie alla sua capacità di trasmettere video ad alta risoluzione e frame rate, Parsec è spesso utilizzato non solo per cloud gaming o desktop remoto Over The Internet, ma anche per Local Game Streaming. Questo consiste nell'avere una macchina potente da cui potersi collegare da altri dispositivi meno potenti, come una smart TV, così da poter avere un'esperienza di gioco di alta qualità su un dispositivo che altrimenti non sarebbe in grado di supportare i giochi più recenti.

2.2.5 Tecnologie degne di nota

Ci sono altri protocolli proprietari che meritano una menzione, come lo storico Team-Viewer o AnyDesk, che offrono funzionalità di desktop remoto per utenti meno esperti grazie ad un setup minimo evitando l'apertura di porte. Purtroppo le informazioni sul funzionamento di questi sono molto limitate e non è possibile approfondire ulteriormente.

Con la diffusione del local game streaming, sono nate altre tecnologie simili a Parsec, che offrono funzionalità simili ma con alcune differenze. Tra queste troviamo Steam Link (sviluppato da Valve), Rainway e Moonlight.

Moonlight e Sunshine NVIDIA, con la tecnologia Gamestream, permetteva di trasmettere il flusso video di un gioco da un computer con una GPU NVIDIA ad un

2.2. ANALISI E FUNZIONAMENTO DELLE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI DESKTOP REMOTO

dispositivo NVIDIA Shield. Per poter utilizzare questa funzione, e il server messo a disposizione dai driver NVIDIA, e ricevere questo flusso su ogni dispositivo, la community open-source ha sviluppato Moonlight, un client compatibile con qualsiasi dispositivo Android, iOS, Windows, macOS e Linux, in grado di ricevere il flusso video da un server NVIDIA Gamestream.

Quando nel 2022 NVIDIA ha deciso di rimuovere il supporto per i server Gamestream, la community ha sviluppato Sunshine, un server open-source in grado di trasmettere il flusso video di un gioco da un computer con una qualsiasi GPU (Gamestream era limitato a NVIDIA) ad un client Moonlight. Con il passare del tempo Sunshine è migliorato notevolmente, ed utilizzando un concetto molto simile a quello di Parsec, è in grado di ottenere latenze molto basse, rendendolo adatto non solo per il gaming, ma anche per applicazioni professionali. Inoltre la sua natura open-source e i continui impegni della community a migliorarlo, lo rendono migliore di molte soluzioni proprietarie. Sunshine infatti, rispetto a Parsec, è disponibile anche su Linux, oltre che su Windows e macOS. Supporta inoltre numerosi metodi di cattura e permette all'utente di modificare parametri come la qualità del video, la risoluzione e il frame rate, in base alle necessità e alla potenza del computer.

Chapter 3

Sviluppi e Applicazioni Attuali delle Tecnologie di Desktop Remoto

Negli ultimi anni, le tecnologie di desktop remoto si sono evolute da semplici strumenti per l'accesso remoto a sistemi aziendali fino a diventare soluzioni fondamentali in numerosi ambiti. Le applicazioni attuali delle tecnologie di desktop remoto non solo supportano i lavoratori e le aziende nella gestione delle loro operazioni quotidiane, ma sono diventate fondamentali anche per l'intrattenimento, soprattutto in ambito videoludico.

Questo capitolo esplora le principali applicazioni delle tecnologie di desktop remoto di cui si è parlato nel capitolo precedente, analizzando come queste tecnologie vengono utilizzate in diversi scenari e settori.

3.1 Assistenza Remota

L'assistenza remota rappresenta una delle applicazioni più diffuse delle tecnologie di desktop remoto, consentendo a un operatore tecnico di visualizzare e, all'occorrenza, controllare il desktop di un utente remoto. Questo approccio trova applicazione in diversi ambiti, sia professionali che personali, grazie alla possibilità di intervenire su una postazione senza la necessità di spostamenti fisici, riducendo così tempi e

costi operativi in modo significativo.

Nel contesto aziendale, l'assistenza remota permette al personale tecnico di fornire supporto ai dipendenti senza doversi spostare fisicamente tra gli uffici o recarsi presso le sedi dei clienti. Tale supporto risulta particolarmente utile per le aziende che vendono software, poiché i tecnici possono utilizzare strumenti di desktop remoto per mostrare ai clienti l'uso corretto di un'applicazione o per risolvere eventuali problemi in tempo reale.

Anche in ambito domestico, l'assistenza remota è ampiamente utilizzata per risolvere problematiche informatiche a distanza. Un tecnico autorizzato, o anche un conoscente, può accedere al dispositivo dell'utente per fornire supporto tramite software specifici come *Quick Assist* (che utilizza RDP, vedi 2.2.3), preinstallato sui sistemi Windows 10 e 11.

3.2 Infrastructure as a Service

Un possibile e diffuso utilizzo delle tecnologie di desktop remoto è il suo impiego all'interno di servizi di cloud computing, in particolare nell'ambito dell'Infrastructure as a Service (IaaS). Infrastructure as a Service è un termine che indica un modello di servizio dove un fornitore di servizi cloud mette a disposizione degli utenti risorse hardware virtualizzate, come server, reti, spazio di archiviazione e sistemi operativi, su richiesta. In poche parole permette all'utente di noleggiare un'infrastruttura IT completa, senza dover acquistare o gestire fisicamente hardware e strutture di rete.

3.2.1 Caratteristiche di IaaS

Un provider di servizi IaaS mette a disposizione dell'utente l'hardware (tipicamente virtualizzato), i servizi amministrativi per la gestione delle risorse e una piattaforma per poter eseguire applicativi (come sistemi operativi). Come ogni servizio di cloud computing, IaaS ricade sotto queste cinque caratteristiche fondamentali[2]:

- **Self-service on demand:** l'utente può richiedere e configurare risorse in modo autonomo, senza l'intervento del fornitore;

3.2. INFRASTRUCTURE AS A SERVICE

- **Ampio accesso alla rete:** le risorse sono accessibili tramite Internet o una rete privata;
- **Risorse condivise:** le risorse sono condivise tra più utenti, garantendo efficienza e scalabilità;
- **Risorse scalabili:** le risorse possono essere allocate e deallocate rapidamente in base alle esigenze;
- **Misurabilità del servizio:** l'uso delle risorse può essere monitorato e misurato, consentendo una gestione efficiente dei costi.

Questo porta a una serie di vantaggi per le aziende o gli utenti che ne fanno uso, tra cui[2]:

- **Costo incrementale:** l'utente paga solo per le risorse effettivamente utilizzate e per il tempo di utilizzo;
- **Ampio storage:** possibilità di archiviare grandi quantità di dati in modo scalabile;
- **Mantenimento semplificato:** il fornitore si occupa della manutenzione dell'hardware e degli aggiornamenti software (almeno quelli di base);
- **Accesso globale:** le risorse sono accessibili da qualsiasi luogo connesso a Internet;
- **Flessibilità e scalabilità:** le risorse possono essere adattate alle esigenze specifiche dell'applicazione e aumentate o ridotte rapidamente;

3.2.2 Provider e Cliente

Nel modello IaaS, gli attori principali sono il **Provider** e il **Cliente**. Il Provider è responsabile della gestione dell'infrastruttura fisica e virtuale, come server, macchine virtuali, rete e sistemi di archiviazione. Inoltre si occupa della manutenzione e degli aggiornamenti dei software e sistema operativo[2]. Il livello di servizio viene formalizzato in specifici Service Level Agreement (SLA), che stabiliscono standard di disponibilità e prestazioni.

Il Cliente invece si occupa della gestione delle proprie applicazioni e dati all'interno dell'infrastruttura fornita[2].

3.2.3 Desktop as a Service

Desktop as a Service (DaaS) è un modello di cloud computing in cui un provider fornisce desktop virtuali accessibili via Internet. A differenza di IaaS, che mette a disposizione risorse infrastrutturali di base come server e storage su cui un cliente può costruire e gestire autonomamente il proprio ambiente IT, DaaS offre un ambiente desktop pronto all'uso, ideale per utenti finali che necessitano di un accesso immediato a un sistema completo senza doversi occupare di configurazioni hardware.

Similitudini e differenze con IaaS

Entrambi i modelli offrono scalabilità e gestione centralizzata, permettendo di pagare solo per le risorse effettivamente utilizzate. Tuttavia, mentre in IaaS il Cliente è responsabile del sistema operativo e delle applicazioni, in DaaS il provider gestisce interamente il desktop, inclusi aggiornamenti e sicurezza. Questo rende DaaS una soluzione più semplice e immediata, particolarmente utile per scenari di lavoro remoto.

Vantaggi di DaaS e Desktop Remoto

DaaS offre accessibilità da qualsiasi dispositivo, maggiore sicurezza dei dati grazie alla gestione centralizzata, e una riduzione dei costi di manutenzione. In sintesi, IaaS è ideale per chi necessita di infrastrutture flessibili, mentre DaaS è pensato per chi cerca un desktop virtuale pronto all'uso.

Rispetto ad una soluzione IaaS, DaaS potrebbe essere meno flessibile per quanto riguarda la scelta del sistema operativo e applicazioni, ma guadagna in semplicità e immediatezza d'uso. Prendiamo in esempio un 3D artist che necessita di un ambiente di lavoro con una GPU potente per eseguire rendering complessi. Con una soluzione IaaS, l'artista potrebbe configurare un server con una GPU dedicata e installare il software necessario. Con DaaS, invece, potrebbe accedere a un

desktop virtuale già configurato con le specifiche richieste, senza dover gestire l’infrastruttura sottostante. Abbinando un sistema scalabile, immediato e on-demand come DaaS con una tecnologia di desktop remoto a bassa latenza, DaaS diventa un’alternativa competitiva rispetto all’acquisto di hardware fisico costoso e alla gestione di un’infrastruttura IT complessa.

Inoltre bisogna considerare che un utente può accedere al proprio desktop virtuale da qualsiasi dispositivo connesso a Internet. Poder accedere da un laptop in treno, successivamente dalla workstation in ufficio e infine dal tablet a casa senza mai perdere lo stato dell’ambiente di lavoro, è un vantaggio che non può essere sottovalutato, soprattutto in un’epoca in cui il lavoro remoto è sempre più diffuso.

3.3 Cloud Gaming

L’industria dei videogiochi ha visto una enorme crescita negli ultimi anni, soprattutto per quanto riguarda la potenza di calcolo richiesta per eseguire i giochi più recenti. Molti di questi, soprattutto i tripla A (termine utilizzato per indicare giochi con un budget di sviluppo molto alto), utilizzano modelli 3D complessi, texture ad alta risoluzione e tecnologie come il ray tracing, che migliorano notevolmente la qualità grafica ma richiedono una potenza di calcolo molto elevata. Hardware in grado di supportare questi giochi può essere molto costoso, e non tutti gli utenti possono permettersi di acquistare una GPU di fascia alta o un computer con specifiche tecniche elevate. Per questo ed altri motivi che vedremo in seguito, il cloud gaming è diventato una soluzione sempre più popolare. Cloud Gaming, anche noto come Gaming as a Service (GaaS), è un servizio di cloud computing che permette agli utenti di giocare a videogiochi su server remoti, trasmettendo il flusso video del gioco a bassa latenza su dispositivi client di vario tipo. [4]

3.3.1 Funzionamento

Il funzionamento del cloud gaming si basa sull’architettura del cloud computing, che permette di eseguire i giochi in remoto su server e di trasmettere in streaming il video generato all’utente finale. Questo servizio sfrutta i modelli di servizio IaaS, PaaS e SaaS per offrire un servizio scalabile e facile da utilizzare.

Infrastructure as a Service (IaaS)

In GaaS, i provider utilizzano IaaS per fornire l'infrastruttura hardware necessaria. Le risorse includono server con CPU e GPU potenti in grado di eseguire i giochi più "pesanti". Grazie a IaaS, i provider possono gestire dinamicamente l'allocazione delle risorse, adattandole in tempo reale alla domanda e ottimizzando i costi. Inoltre potendo distribuire i server in data center in tutto il mondo, è possibile ridurre la latenza e distribuire il carico in modo efficiente [4].

Platform as a Service (PaaS)

PaaS può essere utilizzato dagli sviluppatori di videogiochi per avere un ambiente stabile e scalabile su cui sviluppare e testare i giochi senza doversi preoccupare dell'hardware sottostante. I provider forniscono piattaforme con librerie, strumenti e software necessari per lo sviluppo di giochi [4].

Software as a Service (SaaS)

Quando si parla di cloud gaming, il livello SaaS è l'ultimo passo per fornire i giochi agli utenti finali. I servizi SaaS permettono all'utente di avviare un gioco direttamente dalla piattaforma di streaming (ad esempio dal browser o da un applicativo installato sul thin-client) senza bisogno di scaricare ed installare pesanti file di gioco. È proprio qui che le tecnologie di desktop virtuale e remoto entrano in gioco, permettendo di trasmettere il flusso video del gioco dal server IaaS al dispositivo dell'utente ed inviare input da tastiera e mouse al server [4].

3.3.2 Tecnologie di streaming

Per ridurre al minimo la latenza, aumentare la qualità del video e garantire un'esperienza di gioco fluida, i provider di cloud gaming utilizzano tecnologie di streaming avanzate. Alcune di queste tecnologie includono:

Streaming a Bitrate Adattivo Questa tecnologia permette di adattare la qualità del video in base allo scenario presente e alla larghezza di banda disponibile. È molto utile in situazioni in cui la connessione Internet è instabile, permettendo

di mantenere un’esperienza di gioco fluida anche in presenza di fluttuazioni della larghezza di banda.

H.264 e H.265 Questi codec sono utilizzati per comprimere il flusso video in modo efficiente, riducendo la quantità di dati trasmessi e garantendo una qualità video elevata. Vedi 2.2.4.

QUIC Quick UDP Internet Connections (QUIC) è un protocollo di trasporto sviluppato da Google che permette di ridurre la latenza e migliorare la sicurezza delle connessioni Internet. Queste caratteristiche lo rendono particolarmente adatto per il cloud gaming.

3.3.3 Vantaggi e Svantaggi

Il Cloud Gaming condivide molti degli stessi vantaggi e svantaggi dei servizi IaaS e DaaS, con alcune caratteristiche specifiche. Vediamo insieme i principali vantaggi e svantaggi del cloud gaming.

Vantaggi

Facilità d’uso Uno degli aspetti più apprezzati del cloud gaming è la facilità d’uso. Gli utenti devono semplicemente scaricare un applicativo o accedere ad una pagina Web da un qualsiasi dispositivo connesso a Internet e possono iniziare a giocare immediatamente, senza dover installare o configurare software aggiuntivo.

Compatibilità multipiattaforma Una grande limitazione nell’industria videoludica sta proprio nella compatibilità dei giochi con i vari sistemi operativi. Windows è il leader indiscutibile per quanto riguarda il gaming e questo limita molto la quantità di dispositivi su cui è possibile giocare. Il cloud gaming d’altro canto permette di giocare ad un qualsiasi gioco presente sulla piattaforma di streaming, su un qualsiasi dispositivo compatibile con il client di streaming (che risulta molto più semplice da sviluppare rispetto ad un gioco completo).

Riduzione dei costi La possibilità di avere accesso ad hardware potente grazie ad un piano di abbonamento mensile o ad utilizzo, abbassa la barriera di ingresso per i giocatori che non possono permettersi di acquistare componenti hardware costosi.

Prevenzione di pirateria Essendo i giochi eseguiti e archiviati sui server del provider, è molto più difficile, se non impossibile, per un utente eseguire una copia non autorizzata del gioco.

Manutenzione ed aggiornamenti Le piattaforme di cloud gaming possono applicare aggiornamenti e patch in modo centralizzato, garantendo che tutti gli utenti abbiano sempre accesso alla versione più recente del gioco. Inoltre, la manutenzione dell'hardware è a carico del provider, riducendo i costi e i tempi di inattività per l'utente.

Svantaggi

Latenza Per quanto fino ad ora abbiamo parlato di come tecnologie recenti abbiano portato la latenza a livelli impensabili fino a qualche anno fa, questa rimane comunque un problema per il cloud gaming. Anche se molto bassa, quando si parla di gaming, anche pochi millisecondi possono fare la differenza. In giochi First Person Shooter (FPS), la reattività è fondamentale, soprattutto in multiplayer, dove pochi millisecondi di latenza in meno danno un vantaggio competitivo considerevole. Purtroppo la latenza è un problema intrinseco del cloud gaming, e nonostante i continui miglioramenti, non può essere completamente eliminata. Sia chiaro però che i giochi FPS sono un caso limite; per la maggior parte dei giochi, la latenza è più che accettabile e non influisce sull'esperienza di gioco, anche se queste sono valutazioni molto soggettive.

Larghezza di banda e Requisiti di connessione Il cloud gaming richiede una connessione relativamente veloce e stabile per garantire un'esperienza di gioco fluida. Lo scenario ideale sarebbe una connessione cablata e un contratto FTTH in quanto in questo modo la banda è garantita e la latenza è molto bassa. A

3.3. CLOUD GAMING

partire dal 2020, secondo Steam Hardware Survey¹, la percentuale di utenti che utilizzano un monitor con risoluzione 1080p è scesa dal 64.58% al 57.32% mentre la percentuale di utenti con monitor 1440p è salita dal 4.92% al 19.71% (dati di ottobre 2019 e ottobre 2024). Questo significa che sempre più utenti stanno adottando monitor con risoluzioni più alte, che richiedono un bitrate maggiore per garantire la stessa qualità video.

3.3.4 Principali Servizi di Cloud Gaming

In una industria redditizia come quella dei videogiochi, in cui il valore del mercato globale è stimato a circa 184 miliardi di dollari nel 2023 secondo GameIndustry.biz, non sorprende che molte aziende tech abbiano investito nel cloud gaming. Di seguito sono elencati alcuni dei principali servizi di cloud gaming attualmente disponibili sul mercato.

NVIDIA GeForce Now

GeForce Now è probabilmente il leader del mercato del cloud gaming. NVIDIA, nota azienda produttrice di GPU, lancia NVIDIA GeForce Now (precedentemente chiamato NVIDIA Grid) nel 2013, come software beta per i dispositivi Shield. Viene poi rilasciato ufficialmente nel 2015. Questo servizio permetteva agli utenti abbonati di avere accesso illimitato ad una libreria limitata di giochi disponibile nei server NVIDIA. Nel 2017, NVIDIA lancia GeForce Now per Windows e Mac, e successivamente, nel 2019, per Android. Nel 2019 viene cambiato il modello di business; ora l'utente non pagava più un abbonamento mensile per avere accesso ad una libreria di giochi, ma poteva giocare ai propri giochi acquistati su Steam, Epic Games Store, Uplay e altri store, su server NVIDIA. I piani di abbonamento differiscono per il tempo di gioco massimo continuativo e per la potenza della GPU a disposizione. Il servizio esce completamente dalla fase beta nel 2020. GeForce Now è rinomato per la sua bassa latenza e possibilità di trasmettere video ad alte risoluzioni (fino a 4K) e frame rate rispetto ad altri servizi di cloud gaming.

¹Steam Hardware Survey: <https://store.steampowered.com/hwsurvey/>

Xbox Cloud Gaming

Xbox Cloud Gaming, precedentemente noto come Project xCloud, è un servizio di cloud gaming sviluppato da Microsoft e incluso nel servizio Xbox Game Pass Ultimate. Viene rilasciato in beta nel 2019 e ufficialmente nel 2020. Il modello di business consiste nel pagare un abbonamento mensile per avere accesso ad una libreria di giochi disponibili su Xbox Game Pass, che include alcuni titoli di Xbox e PC. Il servizio è disponibile su dispositivi Android, iOS, Windows, Mac, browser e molti altri dispositivi.

Playstation Now

Playstation Now è il servizio di cloud gaming di Sony, disponibile per PlayStation 4, PlayStation 5, PC e dispositivi Android. Il servizio permette di giocare a una vasta libreria di giochi PlayStation 2, 3 e 4 in streaming, senza la necessità di scaricare i giochi. Il servizio è stato ora unito a PlayStation Plus, il servizio di abbonamento di Sony.

Amazon Luna

Amazon Luna è il servizio di cloud gaming di Amazon, lanciato nel 2020. L'abbonamento è simile a quello di Xbox Cloud Gaming o PlayStation Now, con una libreria di giochi disponibili per gli abbonati. Il servizio è disponibile su dispositivi Fire TV, PC, Mac, iOS e Android.

Google Stadia

Google Stadia è stato un servizio di cloud gaming sviluppato e gestito da Google, lanciato nel novembre 2019 e chiuso nel gennaio 2023. L'abbonamento mensile offriva una selezione di giochi gratuiti e sconti esclusivi. Gli utenti della versione gratuita, invece, potevano giocare fino a 1080p senza costi aggiuntivi, limitandosi a comprare i giochi singolarmente. A differenza di altri servizi, Google aveva progettato un controller Stadia specifico, che si connetteva direttamente ai server tramite Wi-Fi per ridurre la latenza di input.

3.3. CLOUD GAMING

Nonostante l'innovatività delle sue funzioni, Stadia ha incontrato critiche per la limitata disponibilità di giochi e la mancanza di titoli esclusivi. Di conseguenza, Google ha annunciato la chiusura della piattaforma a gennaio 2023, offrendo rimborso per gli acquisti di hardware e software effettuati tramite il proprio store.

Chapter 4

Prospettive, Sviluppi e Applicazioni futuri del Desktop Remoto

4.1 Applicazioni di VR e AR nei Desktop Virtuali

La realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata (AR) sono due tecnologie innovative nell’interazione uomo-macchina. La VR permette di immergere completamente l’utente in un ambiente digitale simulato, isolando l’utente dal mondo fisico. L’AR, invece, sovrappone elementi digitali al mondo reale, aumentando, per l’appunto, la realtà, integrando informazioni digitali con l’ambiente fisico circostante. Gli *Head-Worn Displays* (HWD), sono dispositivi indossabili che proiettano contenuti direttamente nel campo visivo dell’utente, costituiscono il fulcro di queste applicazioni [6, 5].

4.1.1 Desktop Virtuali in VR e AR

Un’applicazione promettente delle tecnologie di VR e AR è l’integrazione con i desktop virtuali e monitor virtuali. Questi ultimi sono delle superfici bidimensionali virtuali, che simulano l’aspetto e il funzionamento di un monitor fisico, ma con

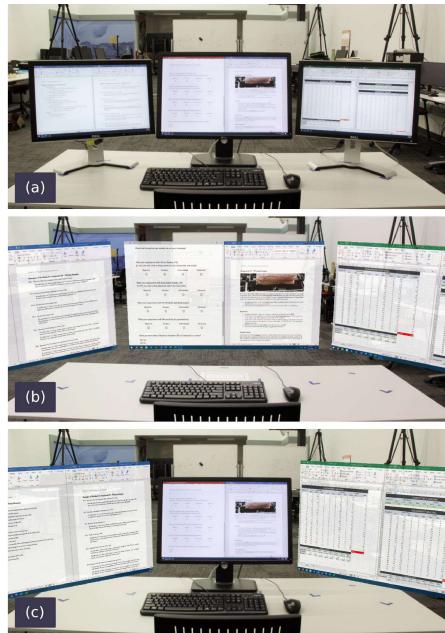


Figure 4.1: Esempio di tre modalità di visualizzazione di monitor. Dall’alto verso il basso: tre monitor fisici, tre monitor virtuali, un monitor fisico e due virtuali. Fonte [6]

una flessibilità superiore[6, 5].

4.1.2 Potenziali Vantaggi dei Desktop Virtuali

I monitor virtuali offrono diversi vantaggi teorici. In primo luogo, eliminano i vincoli fisici dei monitor tradizionali, fornendo all’utente un’area di lavoro completamente personalizzabile. Questi possono essere personalizzati a piacere, modificando grandezza, proporzione, distanza e posizione. Potenzialmente possono essere aggiunti un numero infinito di monitor, permettendo all’utente di avere un’area di lavoro molto più grande di quella fisica. Inoltre, i monitor virtuali possono aumentare la privacy, poiché il contenuto proiettato è visibile solo all’utente che indossa l’HWD [6].

Dal punto di vista economico, l’adozione di HWD potrebbe ridurre i costi, permettendo agli utenti di utilizzare un numero a piacere di monitor virtuali senza dover acquistare un monitor fisico per ciascuno. Inoltre, l’uso combinato di VR e AR può facilitare la collaborazione remota, offrendo ambienti di lavoro condivisi e

altamente interattivi [5].

4.1.3 Vantaggi Attuali ed Effettive Limitazioni

Nonostante il loro potenziale, i desktop virtuali presentano ancora limitazioni significative. Gli studi condotti da Pavanatto [6, 5] evidenziano come la risoluzione ridotta e il campo visivo ristretto degli attuali HWD compromettano la leggibilità e la qualità visiva rispetto ai monitor fisici. Questi problemi diventano particolarmente evidenti durante sessioni di lavoro prolungate, dove l'affaticamento visivo e il disagio fisico, dovuti al movimento frequente della testa, rappresentano ostacoli notevoli.

Inoltre, il design ergonomico degli HWD gioca un ruolo cruciale: molti dispositivi attuali risultano scomodi per un uso prolungato, richiedendo ulteriori miglioramenti nella distribuzione del peso e nell'adattamento alle caratteristiche fisiche degli utenti [5]. La difficoltà nell'integrare elementi fisici, come la tastiera, con l'ambiente virtuale rappresenta un ulteriore limite, che influisce negativamente sulla produttività.

Con l'avanzare della tecnologia, questi problemi potrebbero essere risolti, tramite l'utilizzo di headset più leggeri ed ergonomici, con l'aumento del framerate e della risoluzione e altre migliorie. Bisogna inoltre sottolineare come l'esperienza utente sia estremamente soggettiva, e individui meno sensibili potrebbero non riscontrare questi problemi già ora.

4.1.4 L'Importanza delle Tecnologie di Desktop Remoto

Anche in questo contesto, le tecnologie di desktop remoto possono giocare un ruolo cruciale al fine di fornire un'esperienza utente ottimale. L'utilizzo di dispositivi VR standalone come il Meta Quest 3, combinati con soluzioni di desktop remoto a bassa latenza, permetterebbe il controllo di un computer connesso da qualsiasi luogo. In combinazione ad altre tecnologie come le reti 5G 4.3, l'adozione di HWD potrebbe permettere agli utenti l'utilizzo di setup multi-schermo virtuale in mobilità, ad esempio durante viaggi o spostamenti.

4.2 Smart Working: Definizione e Impatti Post-Pandemici

Smart Working¹, noto anche come lavoro agile o lavoro da remoto, è un neologismo che indica una modalità di lavoro flessibile finalizzata ad aumentare la produttività e il benessere dei lavoratori. Questa è una modalità lavorativa che consente ai dipendenti di svolgere le proprie attività al di fuori dell'ambiente aziendale tradizionale, sfruttando tecnologie digitali e di comunicazione per connettersi con colleghi e superiori.

Anche se questa modalità era già utilizzata in precedenza, la pandemia di COVID-19 ha accelerato di molto la sua adozione. Quando le restrizioni legate alla pandemia hanno reso impossibile o poco sicuro il lavoro in ufficio, molte aziende hanno dovuto adottare il lavoro da remoto per garantire la continuità delle attività[10].

4.2.1 Vantaggi dello Smart Working

Lo smart working ha permesso alle aziende di aumentare la flessibilità organizzativa, riducendo i costi di gestione degli spazi fisici e migliorando la gestione delle risorse umane. Per i dipendenti, ha significato una maggiore autonomia e un miglior bilanciamento tra vita privata e lavoro, grazie alla riduzione dei tempi di pendolarismo e alla possibilità di adattare le proprie giornate in funzione delle esigenze personali e familiari. Secondo uno studio condotto sui manager polacchi, questa modalità ha portato a un incremento delle competenze digitali tra i dipendenti, incentivati a utilizzare nuovi strumenti per collaborare da remoto [10]. Anche le aziende hanno tratto beneficio dalla digitalizzazione dei propri processi, che le ha rese più resilienti e preparate per affrontare futuri imprevisti.

4.2.2 Svantaggi e Sfide del Lavoro da Remoto

Nonostante i vantaggi, lo smart working ha evidenziato alcune criticità. Molte aziende hanno riscontrato difficoltà nel mantenere alto il livello di coinvolgimento

¹Smart Working - Treccani: [https://www.treccani.it/vocabolario/smart-working_\(Neologismi\)/](https://www.treccani.it/vocabolario/smart-working_(Neologismi)/)

4.2. SMART WORKING: DEFINIZIONE E IMPATTI POST-PANDEMICI

e produttività dei dipendenti, a causa della mancanza di supervisione diretta. Inoltre, i dipendenti stessi hanno riferito di sentirsi isolati e meno motivati rispetto al lavoro in ufficio, dove la presenza fisica favorisce l'interazione e il supporto tra colleghi. Gli strumenti di monitoraggio della performance, sebbene necessari, possono risultare invasivi e generare un clima di sfiducia, riducendo così i benefici percepiti del lavoro da remoto [10].

4.2.3 L'importanza e il Ruolo delle Tecnologie di Desktop Remoto nello Smart Working

Le tecnologie di desktop remoto hanno svolto un ruolo cruciale nel consentire il lavoro a distanza, permettendo ai dipendenti di accedere alle risorse aziendali in modo sicuro e da qualsiasi luogo. Tali strumenti consentono a un lavoratore di connettersi alla propria workstation aziendale da dispositivi personali o dedicati forniti dall'azienda, come laptop configurati per agire da thin client tramite connessione sicura ai server aziendali. Questo approccio ha permesso una transizione agile tra lavoro in ufficio e lavoro da casa, rispondendo alle esigenze di continuità operativa emerse durante la crisi sanitaria [10, 1].

Uno degli sviluppi più significativi è stato l'uso di soluzioni di virtualizzazione, come il *Desktop-as-a-Service* (DaaS), che permettono alle aziende di fornire ambienti desktop completi ospitati nel cloud, accessibili dai dipendenti da qualunque dispositivo connesso a Internet. Questo non solo migliora l'efficienza, ma consente anche una gestione centralizzata, riducendo i costi IT e potenziando la sicurezza delle reti aziendali. Le soluzioni di desktop remoto non si limitano solo a facilitare l'accesso remoto, ma migliorano anche la resilienza delle aziende, permettendo l'adozione di politiche di lavoro flessibili che rispondano rapidamente a nuove crisi.

4.2.4 Prospettive Future per il Desktop Remoto e lo Smart Working

Guardando al futuro, è probabile che l'uso del desktop remoto continui a crescere nel contesto dello smart working, grazie alla continua evoluzione delle tecnologie digitali. A partire dagli anni '60, la percentuale di lavoratori che svolgono almeno

4.3. IL RUOLO DEL 5G NELLE APPLICAZIONI DI DESKTOP REMOTO

una parte del loro lavoro da remoto è raddoppiata circa ogni 15 anni. Se tale tendenza dovesse proseguire, si prevede che il 30-40% dei giorni lavorativi potrebbe essere svolto da remoto nei prossimi decenni [1]. Inoltre, con l'espansione delle reti 5G, i miglioramenti nella velocità di connessione e nelle prestazioni di accesso remoto potranno ridurre ulteriormente la latenza, facilitando collaborazioni efficaci in tempo reale e aumentando la produttività dei team distribuiti.

In conclusione, lo smart working e le tecnologie di desktop remoto, accelerate dalla pandemia, rappresentano una modalità lavorativa con potenzialità significative e sfide sostanziali. La capacità delle aziende di trarre beneficio da questa modalità dipende dall'approccio alla gestione dei dipendenti e dalle soluzioni tecnologiche che supportano un accesso sicuro e performante ai dati e alle applicazioni aziendali, oltre a bilanciare monitoraggio e autonomia.

4.3 Il ruolo del 5G nelle applicazioni di Desktop Remoto

Il 5G è la quinta generazione di tecnologia per le reti cellulari che promette di rivoluzionare le comunicazioni grazie a velocità di trasmissione elevate, latenza minima e capacità di connettere simultaneamente un numero elevato di dispositivi. Queste caratteristiche lo rendono particolarmente adatto per le applicazioni di desktop remoto, dove la reattività e l'affidabilità, come abbiamo visto fino ad ora, sono cruciali per l'esperienza dell'utente finale.

4.3.1 Miglioramenti nelle Prestazioni del Desktop Remoto

Le reti 5G offrono una serie di vantaggi rispetto alle tecnologie precedenti, come il 4G. Promettono latenze più basse rispetto alle reti 4G, fino a 1 ms, e velocità di trasmissione fino a 10 Gbps [3].

Le reti 5G, con la loro capacità di fornire latenze estremamente ridotte e velocità di trasmissione fino a 20 Gbps, possono migliorare notevolmente le applicazioni di desktop remoto in ambiti professionali, educativi e di intrattenimento. In particolare, il supporto alle comunicazioni ultra-affidabili e a bassa latenza (URLLC) permette di ottenere una maggiore fluidità nell'interazione, rendendo

4.3. IL RUOLO DEL 5G NELLE APPLICAZIONI DI DESKTOP REMOTO

l'esperienza di utilizzo simile a quella offerta da una connessione locale [3, 8]. Questo potrebbe risolvere o ridurre significativamente i problemi di cui parlavamo in 2.2.4.

Il 5G introduce inoltre un'architettura basata su tecnologie come Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) e il beamforming, che consentono di migliorare la copertura e la capacità della rete, riducendo l'interferenza e migliorando la qualità della connessione in ambienti densi di dispositivi [3]. Grazie a questi sviluppi, le applicazioni di desktop remoto possono beneficiare di connessioni più stabili e reattive, anche in situazioni di mobilità o in aree metropolitane densamente popolate.

Infatti attualmente l'utilizzo di desktop remoto in mobilità è limitato dalla qualità della connessione, che spesso non è in grado di garantire una latenza bassa, una velocità di trasmissione elevata e una stabilità tale da garantire un'esperienza utente soddisfacente. Il 5G grazie alle caratteristiche di cui sopra, supera queste limitazioni, estendendo le possibilità di utilizzo del desktop remoto anche in mobilità, ad esempio durante gli spostamenti o in situazioni in cui una connessione Wi-Fi non è disponibile.

4.3.2 Impatti della Computazione Edge

Un altro vantaggio significativo del 5G per il desktop remoto risiede nell'integrazione della computazione edge, che consente di spostare una parte dei processi computazionali più vicini agli utenti finali, riducendo la latenza associata alla trasmissione dei dati a server remoti. Questo approccio è particolarmente utile per applicazioni che richiedono una bassa latenza, come il cloud gaming e la realtà aumentata, in cui l'esperienza di utilizzo dipende dalla rapidità di risposta della rete [8].

Nel caso specifico del desktop remoto, la computazione edge può contribuire a ridurre la latenza tra l'input dell'utente e la risposta visiva del sistema remoto, rendendo l'interazione più naturale e immediata. Inoltre, la presenza di infrastrutture edge nei nodi della rete consente di ottimizzare il traffico e di evitare congestioni che potrebbero compromettere la qualità della connessione [3].

4.3.3 Sicurezza e Affidabilità nel Desktop Remoto

Oltre alle prestazioni, il 5G introduce nuove sfide e opportunità per la sicurezza delle applicazioni di desktop remoto. Le reti 5G devono affrontare rischi legati alla sicurezza, come gli attacchi informatici e la protezione della privacy, soprattutto considerando l'elevato numero di dispositivi e connessioni simultanee. Tuttavia, le funzionalità avanzate di slicing di rete offerte dal 5G permettono di creare segmenti di rete virtuali con requisiti di sicurezza specifici per le applicazioni di desktop remoto, rendendo possibile una gestione più efficace delle risorse e una maggiore protezione dei dati sensibili [3].

La sicurezza rimane un aspetto critico, poiché le applicazioni di desktop remoto richiedono un livello elevato di protezione per prevenire accessi non autorizzati e garantire l'integrità dei dati. Le reti 5G possono sfruttare tecniche avanzate come l'autenticazione basata su AI e la crittografia end-to-end per aumentare la sicurezza dei sistemi remoti [8].

4.3.4 Conclusioni

Il 5G è destinato a trasformare il panorama delle applicazioni di desktop remoto, rendendole più accessibili e performanti grazie alle sue caratteristiche di bassa latenza, alta velocità e supporto per un numero elevato di dispositivi. In combinazione con la computazione edge e la possibilità di gestire le risorse di rete in modo flessibile e sicuro, il 5G offre prospettive promettenti per il futuro del desktop remoto, sia per il lavoro da remoto che per applicazioni avanzate come la realtà aumentata e il cloud gaming.

Chapter 5

Conclusioni

Questa tesi ha esaminato in dettaglio l'evoluzione, le applicazioni attuali e le prospettive future delle tecnologie di desktop remoto, evidenziandone i principali progressi tecnici e le molteplici possibilità di applicazione in contesti diversi. La nostra analisi è partita dalle origini storiche di queste tecnologie, come l'X Window System e il protocollo VNC, sviluppati per rispondere a specifiche esigenze di accesso remoto all'interno di contesti aziendali e di ricerca. Attraverso una revisione dettagliata dei protocolli principali, abbiamo osservato l'emergere di soluzioni sempre più efficienti e compatibili, fino a tecnologie più recenti, come Parsec, progettate per garantire esperienze a bassa latenza e di alta qualità.

Nella seconda parte della tesi, ci siamo focalizzati sulle applicazioni attuali delle tecnologie di desktop remoto, dimostrando come queste soluzioni abbiano trovato largo impiego in ambiti quali il telelavoro e l'assistenza remota, ma anche in settori più innovativi come il cloud gaming. Questo ha permesso di evidenziare i vantaggi di accessibilità, risparmio economico e flessibilità resi possibili dal desktop remoto, mostrando come queste tecnologie siano diventate fondamentali anche per l'intrattenimento e la produttività.

Infine, nel capitolo dedicato alle prospettive future, abbiamo esplorato le nuove opportunità di sviluppo, tra cui l'adozione del 5G e l'integrazione con soluzioni di edge computing e tecnologie immersive come la realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata (AR). Queste prospettive promettono di migliorare ulteriormente le capacità e le performance del desktop remoto, rendendo queste tecnologie sempre

più adatte a scenari di lavoro remoto avanzato e multi-utente. In questo contesto, l'implementazione del Desktop as a Service (DaaS) si profila come una soluzione altamente scalabile e flessibile, in grado di rispondere alle crescenti esigenze di mobilità e sicurezza.

In conclusione, le tecnologie di desktop remoto continuano a rappresentare uno strumento cruciale in un'epoca in cui il lavoro e l'interazione a distanza sono diventati parte integrante della nostra quotidianità. Tuttavia, permangono sfide significative, come il miglioramento della latenza e della qualità dell'esperienza utente, che richiederanno ulteriori sviluppi tecnologici. Questa tesi si conclude con la consapevolezza che le tecnologie di desktop remoto non solo continueranno a evolversi, ma si integreranno sempre più profondamente nei vari settori, offrendo soluzioni adattabili alle nuove esigenze del mondo digitale.

Bibliography

- [1] BARRERO, J. M., BLOOM, N., AND DAVIS, S. *The Evolution of Work from Home*. Sept. 2023.
- [2] BHARDWAJ, S., JAIN, L., AND JAIN, S. Cloud computing: A study of infrastructure as a service (iaas). *International Journal of Engineering and Information Technology* 2, 1 (2010), 60–63. Online ISSN 0976-0253, Print ISSN 0975-5292.
- [3] DANGI, R., LALWANI, P., CHOUDHARY, G., YOU, I., AND PAU, G. Study and investigation on 5g technology: A systematic review. *Sensors* 22, 1 (Dec. 2021), 26.
- [4] HARLE, S., AND BHAGAT, A. “cloud gaming: The future of gaming infrastructure”.
- [5] PAVANATTO, L., DAVARI, S., BADEA, C., STOAKLEY, R., AND BOWMAN, D. A. Virtual monitors vs. physical monitors: an empirical comparison for productivity work. *Frontiers in Virtual Reality* 4 (Dec. 2023).
- [6] PAVANATTO, L., NORTH, C., BOWMAN, D. A., BADEA, C., AND STOAKLEY, R. Do we still need physical monitors? an evaluation of the usability of ar virtual monitors for productivity work. In *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (Mar. 2021), IEEE, p. 759–767.
- [7] RICHARDSON, T., STAFFORD-FRASER, Q., WOOD, K., AND HOPPER, A. Virtual network computing. *IEEE Internet Computing* 2, 1 (1998), 33–38.

BIBLIOGRAPHY

- [8] SAHU, V., SAHU, N., AND SAHU, R. Challenges and opportunities of 5g network: A review of research and development. *American Journal of Electrical and Computer Engineering* 8, 1 (July 2024), 11–20.
- [9] SCHEIFLER, R. W., AND GETTYS, J. The x window system. *ACM Transactions on Graphics* 5, 2 (Apr. 1986), 79–109.
- [10] URBANIEC, M., MAŁKOWSKA, A., AND WŁODARKIEWICZ-KLIMEK, H. The impact of technological developments on remote working: Insights from the polish managers' perspective. *Sustainability* 14, 1 (Jan. 2022), 552.
- [11] VADI, V. R. Cloud computing: Saas, paas, iaas, virtualization, business models, mobile, security and more. *Global Journal of Enterprise Information System* 7, 2 (2015), 140–141.

Acknowledgements

Desidero ringraziare il mio relatore, il Prof. Callegati, per il supporto e la guida forniti durante la stesura di questa tesi. Bla Bla Bla Ringrazio la mia famiglia per il sostegno e l'incoraggiamento che mi hanno dimostrato fin dall'inizio di questo percorso e per aver sempre creduto nelle mie capacità, anche quando io stesso ho avuto dei dubbi. Ringrazio i miei amici e colleghi Mattia, Riccardo, Filippo, Silvia, Andrea, Alessia, Anna, Anny, Eleonora, Tommaso e Samu, compagni di pranzi alla Coop... Un ringraziamento a Emanuele B., compagno di studi ormai da nove anni, che ancora mi sopporta nonostante tutto. Un ringraziamento speciale va ai miei fantastici amici Bewolla che sono diventati per me una seconda famiglia aiutandomi a staccare la spina nei momenti di maggiore stress. Ringrazio i miei amici del G.D.S., che ormai da anni si sono dimostrati una costante nella mia vita, sempre in grado di ricordarmi di non prendermi troppo sul serio. Ringrazio Giulio A., non un amico, ma da sempre un fratello, per essere una costante nella mia vita dal giorno uno. Infine un ringraziamento in particolare va alla mia ragazza Anna, per la pazienza, il supporto costante e l'incoraggiamento che mi ha dimostrato in ogni fase di questo percorso.

Ogni persona nominata mi ha aiutato a raggiungere questo traguardo e per questo sarò sempre grato.

Un ultimo ringraziamento va a me stesso, per non aver mollato e aver portato a termine questo percorso nonostante le difficoltà e le sfide incontrate lungo il cammino.

Grazie a tutti.