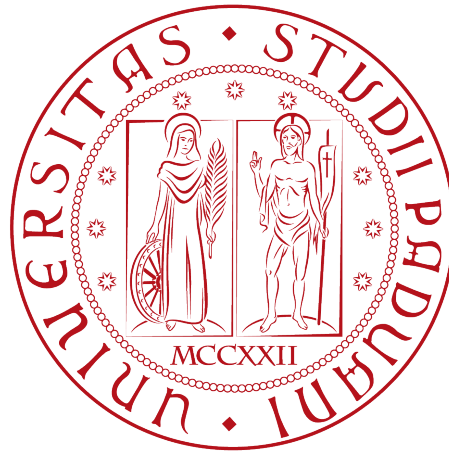


Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI MATEMATICA ‘TULLIO LEVI-CIVITA’

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA



**Sviluppo di una piattaforma di video streaming per
l'assistenza remota tramite dispositivi wearable**

Tesi di laurea triennale

Relatore

Prof. Tullio Vardanega

Laureando

Filippo Berto

ANNO ACCADEMICO 2016–2017

Indice

1	L'azienda	6
1.1	Prodotti e servizi	6
1.2	Come lavora	6
1.2.1	Modello di sviluppo	6
1.2.2	Progetti importanti	8
1.2.3	Premi e certificazioni	9
1.3	Tecnologie utilizzate dall'azienda	9
1.3.1	Rackspace	9
1.3.2	Firebase	10
1.3.3	Java	11
1.3.4	Git e Bitbucket	14
1.3.5	G Suite	15
1.3.6	WordPress	15
1.4	Rapporto con l'innovazione	16
2	Scelta dello stage e rapporto con l'azienda	18
2.1	Lo stage per l'azienda	18
2.1.1	Necessità dell'azienda	18
2.1.2	Risultati degli stage precedenti e seguito degli stagisti nell'azienda	19
2.2	Rapporto con il mio stage e l'azienda	19
2.2.1	Ambiti di interesse	19
2.2.2	Proposte di stage ricevute	20
2.2.3	Scelta dello stage	20
2.2.4	Scelta dell'azienda	20
2.3	Obiettivi del progetto di tirocinio	21
2.3.1	Obiettivi obbligatori	21
2.3.2	Obiettivi desiderabili	21
2.3.3	Vincoli tecnologici	21
2.4	Pianificazione del lavoro	21
2.4.1	Strumenti utilizzati	22
3	Il prodotto	23
3.1	Acquisizione delle conoscenze settoriali	23
3.1.1	Codifica video	23
3.1.2	Formati video comunemente usati	23
3.1.3	Protocolli	24
3.1.4	Architettura di una piattaforma di streaming	26
3.1.5	Trasmissione dei contenuti in mobilità	27
3.1.6	Reti per dispositivi mobile	27
3.2	Analisi dei requisiti	28
3.2.1	Analisi preliminare	28
3.2.2	Definizione dei casi d'uso	28

3.3	Struttura della piattaforma	28
3.3.1	Diagramma strutturale	28
3.3.2	Confronto con soluzioni esistenti	29
3.4	Tecnologie utilizzate	29
3.4.1	Linguaggi — Java	29
3.4.2	Piattaforma — Tomcat8 EE	29
3.4.3	Protocollo — TCP su WebSocket	29
3.4.4	Tipo di dati scambiati — JSON vs XML	29
3.4.5	Strumenti di supporto	29
3.5	Nuovi orizzonti	30
3.5.1	Blockchain	30
3.5.2	Streaming peer to peer	30
3.6	Qualifica	30
3.6.1	Verifica	30
3.6.2	Validazione	30

Elenco delle figure

1.1	Logo di Vision Lab Apps Srl	6
1.2	Ciclo di vita di Scrum	7
1.3	Schema di funzionamento di VisionHealthCare	8
1.4	Schema di funzionamento di Google Cardboard	9
1.5	Logo di Unicredit Start Lab	9
1.6	Schema di rete generale di un'applicazione su Rackspace	10
1.7	Usecase generale di Firebase	11
1.8	Architettura di Java	12
1.9	Architettura di Android	13
1.10	Esempio di grafo di lavoro in Git	14
1.11	Schema generale di una pipeline in Bitbucket	14
1.12	I prodotti di G Suite	15
1.13	Architettura di una pagina WordPress e gerarchia delle pagine	16
2.1	Schema generale del funzionamento della piattaforma di streaming	18
2.2	Schema delle componenti in fase di sviluppo	19
2.3	Diagramma di Gantt della pianificazione	22
3.1	Diagramma usecase	28

Elenco delle tabelle

1 L'azienda



Figura 1.1: Logo di Vision Lab Apps Srl

Vision Lab Apps Srl è una startup nata a New York nel 2011, con sede operativa a Torri di Quartesolo (VI), impegnata nello sviluppo di tecnologie di *ubiquitous computing* per i settori sanitario, manifatturiero e della sicurezza.

1.1 Prodotti e servizi

I prodotti principali di Vision Lab Apps sono software personalizzati, siti web e contenuti video. L'azienda, inoltre, offre un servizio pubblicitario per le nuove aziende: costruisce il *brand* del cliente, pone le fondamenta della sua rete di clienti e si occupa di consulenze e di *SEO*.

Con il crescere del team e l'acquisizione di nuovo personale più specializzato, Vision Lab Apps si sta espandendo verso servizi cloud per le aziende e software per dispositivi *wearable* e *IoT*; questi sono i primi approcci al modello di *ubiquitous computing* e permettono ai loro utenti una maggiore integrazione con la rete di informazioni e sensori che li circondano nella vita quotidiana. L'azienda sta sviluppando particolarmente il campo dei visori per realtà aumentata come supporto alle attività lavorative, promettendo grandi innovazioni nel settore manifatturiero.

1.2 Come lavora

1.2.1 Modello di sviluppo

Vision Lab Apps lavora con il modello di sviluppo *Agile* di tipo *Scrum*. Questo modello pone una minore rigidità sulla documentazione e sulle formalità del prodotto, permettendo modifiche in corso d'opera e una collaborazione più rilassata tra cliente e fornitore.

Scrum definisce uno *sprint* come l'unità di misura dello sviluppo di un progetto, un periodo di tempo di lunghezza fissata generalmente tra una settimana e quattro settimane. L'insieme delle attività necessarie per l'avanzamento del progetto sono organizzate nel *backlog* del prodotto. Per ogni *sprint* il team pianifica quali di questi *task* dovranno essere svolti e a chi andrà assegnato ciascuno di essi, definendo così il *backlog* dello sprint.

Ogni giorno il team si ritrova con una breve riunione, detta "*daily scrum*", per controllare lo stato dei *task* e degli obiettivi. I *meeting* giornalieri permettono al project manager di avere misure dello stato del progetto con più frequenza, rispetto a altri modelli di sviluppo, così da intervenire più rapidamente alla necessità di correzioni.

Un vantaggio del modello *Scrum*, e in generale dei modelli agili, è quello di poter vedere il risultato del proprio lavoro più in fretta rispetto ai metodi tradizionali: i *daily scrum* servono anche a incentivare gli sviluppatori e a fornire loro una sensazione di progresso, che, invece, viene persa se i tempi tra un aggiornamento e l'altro si dilatano.



Figura 1.2: Ciclo di vita di Scrum
Source: Wikimedia Commons, Lakeworks, CC

Un ulteriore punto di forza di *Scrum* è il legame di cooperazione che si forma tra il fornitore e il cliente: questo si sente parte del team ed è più propenso a offrire e a ricevere opinioni costruttive, con minori impuntamenti e risultati migliori per entrambe le parti.

Trattandosi di un modello *Agile* la documentazione è molto più ridotta rispetto ai metodi tradizionali: nasce il concetto di user story, un documento che descrive le richieste del cliente e le decisioni prese assieme a quest'ultimo sul progetto durante incontro faccia a faccia. Il vantaggio principale di questo tipo di documentazione è la snellezza dei documenti, sia quando devono essere consultati, sia quando devono essere scritti. Avere una visione chiara di ciò che il cliente vuole può essere difficile se è necessario scorrere decine di pagine di verbali per ottenere tali informazioni; così, al contrario, è sufficiente controllare le ultime decisioni prese.

Il coordinamento del lavoro viene gestito tramite fogli di calcolo con funzioni automatiche, condivisi all'interno del team. Per ogni *task* è segnalato il livello di avanzamento, che deve essere aggiornato da colui a cui è stato assegnato, riportando il tempo impiegato ed eventuali note.

Gli stati in cui un *task* si può trovare sono i seguenti:

- **Analysis:** il *task* richiede analisi
- **Pending:** il *task* è definito ed è in attesa di essere svolto
- **Blocked:** il *task* è bloccato a causa delle sue dipendenze
- **Development:** il *task* è in svolgimento
- **Testing:** il prodotto è in fase di test
- **Reworking:** lo sviluppo è fallito e sta venendo rieseguito
- **Refactoring:** il codice prodotto è in fase di pulizia
- **Completed:** lo sviluppo è completato
- **Confirmed:** il *task* è stato validato

Il sistema di tracking del tempo impegnato da ciascun *task* aiuta il project manager a valutare lo stato del progetto, confrontandolo con le stime fatte a preventivo.

1.2.2 Progetti importanti

VisionHealthCare

VisionHealthCare è un software prodotto da Vision Lab Apps in collaborazione con Dedalus Spa¹, società leader nazionale nel software clinico sanitario. L'applicazione, legata a OrmaWeb, suite applicativa web di Dedalus Spa, sfrutta gli occhiali per la realtà aumentata di Google, i Google Glass, per automatizzare e semplificare ogni fase del percorso chirurgico, dalla lista d'attesa alla gestione del blocco operatorio, fino alla produzione del registro operatorio e la redazione della cartella anestesiologicala pre e intraoperatoria.



Figura 1.3: Schema di funzionamento di VisionHealthCare

I Google Glass si interfacciano con un'applicazione installata in uno smartphone e si collegano tramite questo ai servizi di OrmaWeb. Gli occhiali permettono di registrare note vocali correlate da video e foto, utili alla documentazione dell'operazione. Il sistema permette di automatizzare buona parte delle procedure di verbalizzazione dell'intervento, trascrivendo il testo registrato e aggiungendolo ai dati salvati su OrmaWeb. Un ulteriore utilizzo dei dati registrati è quello educativo: spesso l'unica persona in sala operatoria ad avere un buon punto di vista sull'operazione è il chirurgo che la sta praticando, ma questo non ha la possibilità di reggere una videocamera. Una soluzione di questo tipo permette di lavorare con le mani libere e allo stesso tempo di ricevere dati aggiuntivi sullo stato del paziente, come il suo battito cardiaco o la quantità di ossigeno nel sangue.

NapkinForever — Paperworld 2017

Vision Lab Apps sta collaborando con NapkinForever², azienda italiana di penne e stilo di design, per realizzare una presentazione virtuale dell'impresa per il Paperworld 2017, la più grande fiera al mondo di prodotti per gli uffici e strumenti di scrittura. Il progetto consiste in una simulazione realizzata tramite l'utilizzo dei Google Cardboard, gli occhiali per la realtà virtuale di Google, che accompagnerà i visitatori nel mondo del design di NapkinForever e presenterà loro i prodotti dell'azienda.

¹Sito web di Dedalus Spa: www.dedalus.eu

²Sito web di NapkinForever: www.napkinforever.com



Figura 1.4: Schema di funzionamento di Google Cardboard

I Google Cardboard consistono in un apparato di lenti, da applicare allo schermo di uno smartphone, e di un telaio in cartone. L'utilizzo di hardware comune e di materiali poveri permette di mantenere il prezzo del dispositivo molto basso rispetto ai competitor, pur fornendo una buona esperienza d'uso. La simulazione permetterà di visualizzare i prodotti proposti dall'azienda in scenografie ad hoc e di ottenere informazioni contestuali su di essi.

1.2.3 Premi e certificazioni

Unicredit Start Lab



Figura 1.5: Logo di Unicredit Start Lab

Vision Lab Apps ha partecipato alla competizione tra startup Unicredit Start Lab³ 2017, durante la quale le aziende partecipanti hanno proposto i propri progetti innovativi nei campi "Digital", "Clean Tech" e "Innovative Made in Italy". L'azienda si è classificata tra i 10 finalisti e ottenendo un periodo di incubazione e accelerazione da parte di Unicredit a partire da Settembre 2017.

1.3 Tecnologie utilizzate dall'azienda

L'azienda fa uso di un gran numero di tecnologie durante le proprie attività; di seguito analizzerò le più utilizzate.

1.3.1 Rackspace

Rackspace è un cloud provider che offre servizi di managed cloud computing, basati su Virtual Private Server (VPS) e altri servizi cloud, come Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure e OpenStack. Questo tipo di servizio permette di gestire facilmente servizi cloud utilizzati, mantenendo il pieno controllo di costi e infrastrutture, senza la necessità di conoscere a fondo ogni componente utilizzato.

³Sito web Unicredit Start Lab: www.unicreditstartlab.eu



Figura 1.6: Schema di rete generale di un'applicazione su Rackspace

Rackspace permette di gestire in modo semplice nodi per il load balancing e la ridondanza dei servizi. In questo modo è possibile garantire up-time estremamente elevati e distribuire gli aggiornamenti sui singoli nodi, senza mai fermare il servizio completamente.

Vision Lab Apps usa Rackspace come hosting provider nel caso di progetti complessi, quando è necessaria una completa gestione delle risorse.

1.3.2 Firebase

Firebase è una piattaforma di sviluppo per applicazioni Web e mobile, parte di Google Cloud Platform; fornisce servizi di scambio di messaggi e basi di dati in tempo reale, spazio di archiviazione, sistemi di autenticazione, web hosting e test automatici per applicazioni Android. La piattaforma fornisce anche un servizio di analisi e profilazione degli utenti e l'integrazione con il sistema di annunci pubblicitari di Google, AdMob.

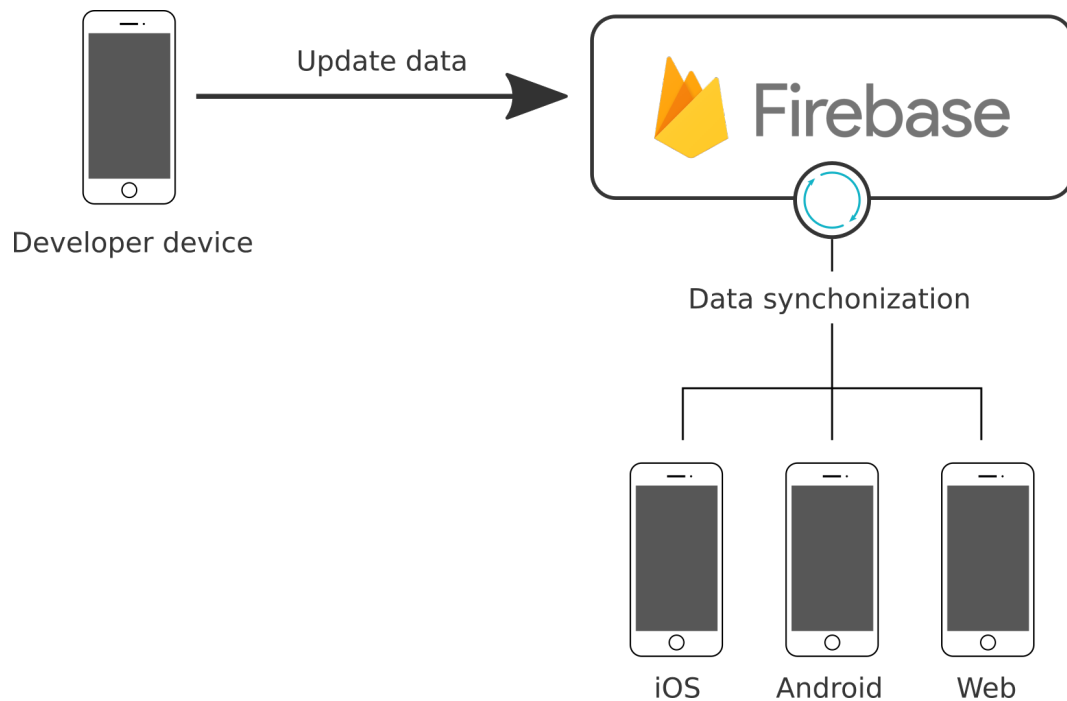


Figura 1.7: Usecase generale di Firebase

Il caso d'uso principale di Firebase è quello di base di dati per la sincronizzazione di dati tra dispositivi, anche su piattaforme diverse, in tempi molto ridotti. A differenza di un database non relazionale comune, il servizio che Firebase offre si basa su una CDN molto estesa, che permette di ridurre i tempi di attesa per la sincronizzazione dei dati.

Vision Lab Apps utilizza Firebase quando necessita della creazione di un ambiente di sviluppo completo, veloce e facile da mantenere.

1.3.3 Java

Java è un linguaggio di programmazione ad alto livello orientato agli oggetti pensato per essere il più possibile indipendente dalla piattaforma sulla quale viene eseguito. Java supera questo ostacolo utilizzando una macchina virtuale, la JVM, che permette di astrarre il sistema sottostante. Il vantaggio di Java sui linguaggi compilati tradizionali è proprio quello di poter essere eseguito su una qualsiasi piattaforma, a patto che esista una JVM per questa.



Figura 1.8: Architettura di Java

Tra le tecnologie utilizzate da Vision Lab Apps troviamo Android, fortemente basato su Java, e utilizzato per la creazione di applicazioni per dispositivi mobile. Molti dei progetti passati dell'azienda sono legati ad applicazioni Android, ma Vision Lab Apps utilizza Java anche nel caso di servizi web ad alto parallelismo.

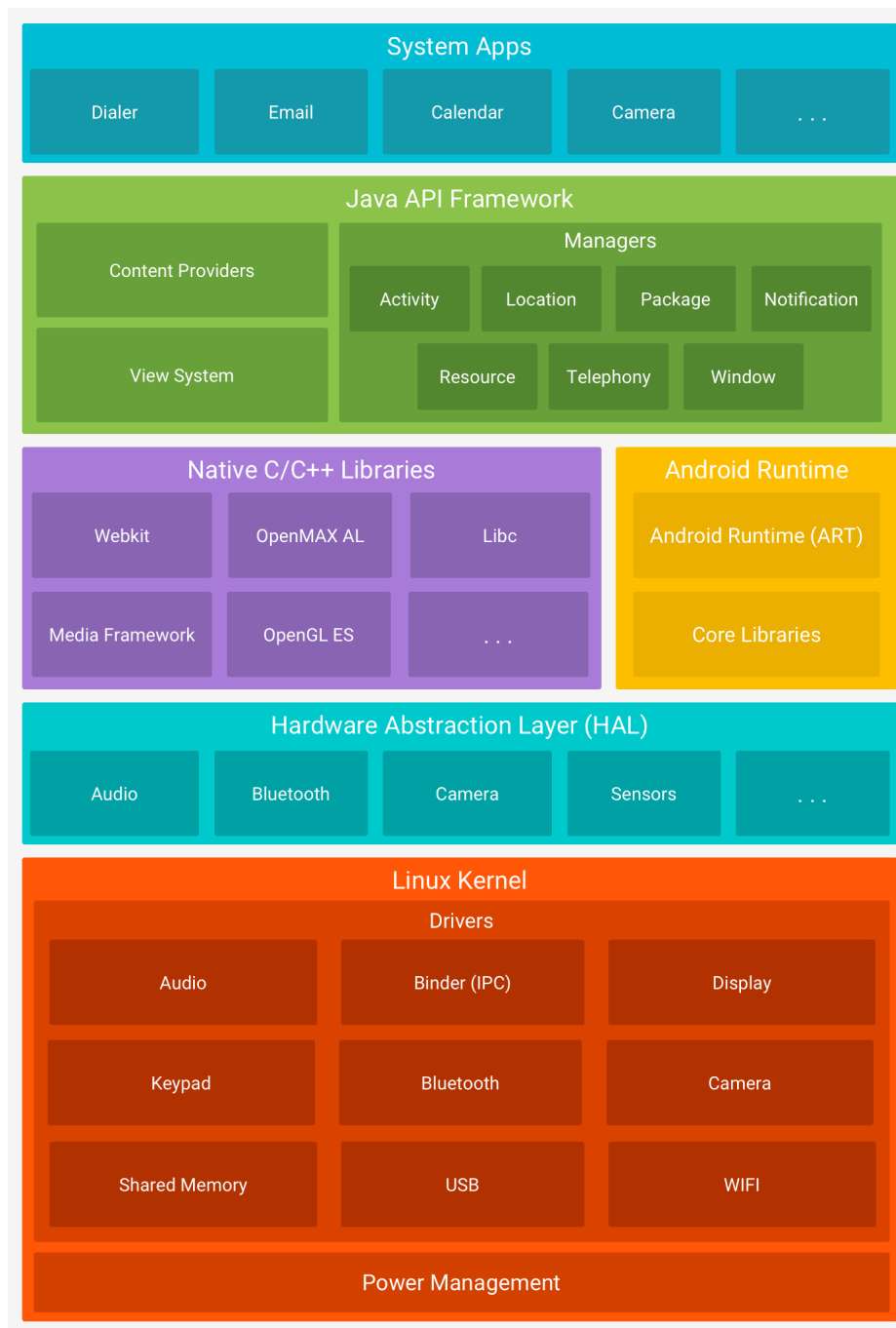


Figura 1.9: Architettura di Android
Source: Documentazione Android Developers

Android consiste di una versione minimale del kernel Linux, completo di driver specializzati per l'hardware del dispositivo sul quale verrà installato. Al di sopra del kernel si trova un layer di astrazione dell'hardware. Questo layer permette agli strati superiori di astrarre l'hardware sottostante. Il layer superiore contiene librerie native in C o C++, altamente efficienti, e il runtime Android, l'equivalente della JVM in Java, ma specializzato per l'esecuzione su dispositivi mobile e fortemente integrato con le librerie e l'hardware sottostante. Gli strati superiori sono, infine un'API per l'accesso alle risorse del sistema e le applicazioni. Queste sono racchiuse in contenitori

e le autorizzazioni di queste possono essere gestite singolarmente.

1.3.4 Git e Bitbucket

Vision Lab Apps utilizza Git come CVS per il versionamento del codice: Git è in grado di gestire progetti anche molto complessi in modo efficiente. Il suo sistema completamente distribuito permette a due persone di lavorare contemporaneamente sullo stesso file, senza necessità di una connessione di rete, e di conservare copie sicure del prodotto in luoghi separati, pur garantendone la consistenza.

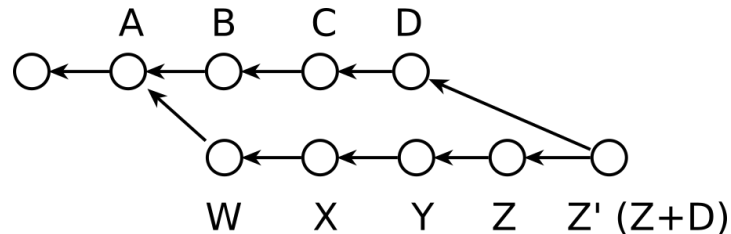


Figura 1.10: Esempio di grafo di lavoro in Git
Source: Wikimedia Commons, Bunyk, CC

Nell'esempio in Fig 1.10 due sviluppatori hanno lavorato in parallelo in un repository Git, ciascuno in un branch separato, dando origine ad alcuni commit (i nodi A, B, C, D e W, X, Y, Z). Successivamente è stato eseguito un merge, un'unione tra i due branch, che ha generato il nodo Z'. Nel caso di conflitti tra le righe di codice scritte o modificate, Git è in grado di valutare quali sono i *chunk* di codice da controllare e lascerà agli sviluppatori il compito di risolverli. Per facilitare la gestione del codice e automatizzare alcune attività, l'azienda ha scelto di utilizzare Bitbucket come hoster per le proprie repository. Bitbucket integra il servizio di pipeline, che permette di eseguire degli script in ambienti virtualizzati basati su Docker; in questo modo sono stati automatizzati i test di unità e integrazione e i controlli della quality assurance. Questo tipo di operazioni fanno risparmiare tempo, dato che non necessitano dell'intervento umano, inoltre la garanzia che ogni commit al repository è stato testato conferisce la sicurezza di poter rilasciare una nuova versione senza riserbo.

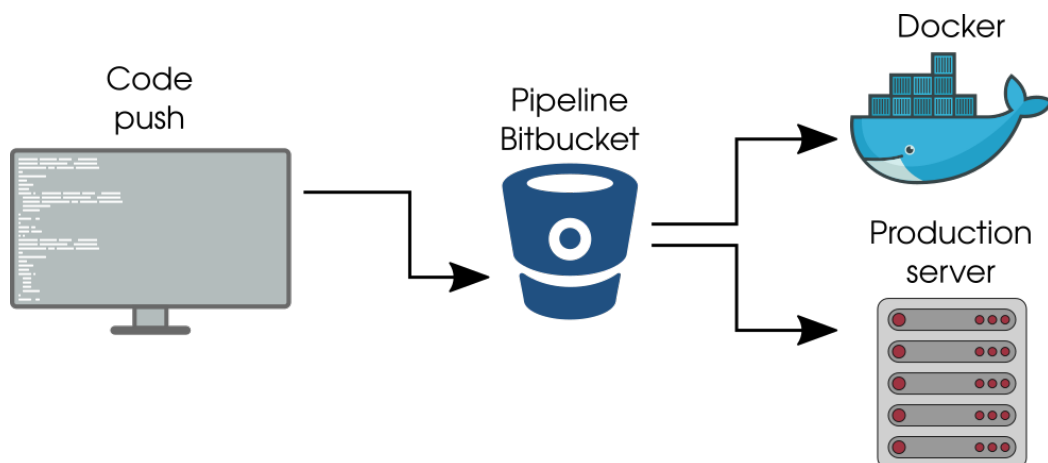


Figura 1.11: Schema generale di una pipeline in Bitbucket

La configurazione tipica di una pipeline su Bitbucket segue il seguente iter:

1. Uno sviluppatore carica sul server Bitbucket del codice, tramite un push di Git;
2. Il server Bitbucket carica il codice in un contenitore Docker, secondo la configurazione del repository;
3. Il contenitore esegue la configurazione dell'applicazione e lancia tutti i test, restituendone i risultati al server;
4. Se i test vengono superati il commit viene ritenuto valido, altrimenti può essere scartato;
5. Se il codice è stato caricato su un ramo di release, il nuovo commit viene caricato su un nuovo contenitore Docker, che si occuperà della creazione di una build del prodotto;
6. Lo stesso Docker può essere configurato in modo tale da caricare il prodotto compilato sui server di produzione, oppure avvisare un certo gruppo di persone di eseguire ulteriori test sulla build ottenuta.

In caso di fallimento di uno dei task della pipeline, lo sviluppatore che ha caricato il codice viene avvisato degli errori e gli vengono forniti i log delle operazioni eseguite.

1.3.5 G Suite

G Suite, la soluzione per l'ufficio di Google, offre una gestione completa di mail commerciali, editor di testo, fogli di calcolo, calendario e archivio di dati; il tutto tramite una semplice interfaccia web.



Figura 1.12: I prodotti di G Suite

Tra i prodotti più utilizzati di G Suite si notano Drive, il servizio di storage; Docs, Spreadsheet e Slides, rispettivamente per documenti di testo, fogli di calcolo e presentazioni; Gmail, per la gestione delle mail aziendali. G Suite include anche un servizio per la gestione di contatti, calendari e un servizio di video chat.

Vision Lab Apps usa questo servizio per le proprie attività, soprattutto per il vantaggio di poter accedere ai dati salvati anche in mobilità, con la massima comodità.

1.3.6 WordPress

WordPress è Content Management System (CMS) open-source che offre una piattaforma editoriale personale; nato per gestire semplici blog, viene utilizzato come framework di sviluppo di siti molto

più complessi, sfruttando il sistema a plugin su cui è basato. L'utilizzo di WordPress come base di un sito permette di iniziare a lavorare con un framework riutilizzabile, stabile e aggiornato che ne gestisce i contenuti e i dati, permettendo allo sviluppatore di concentrarsi sulla loro presentazione all'utente.

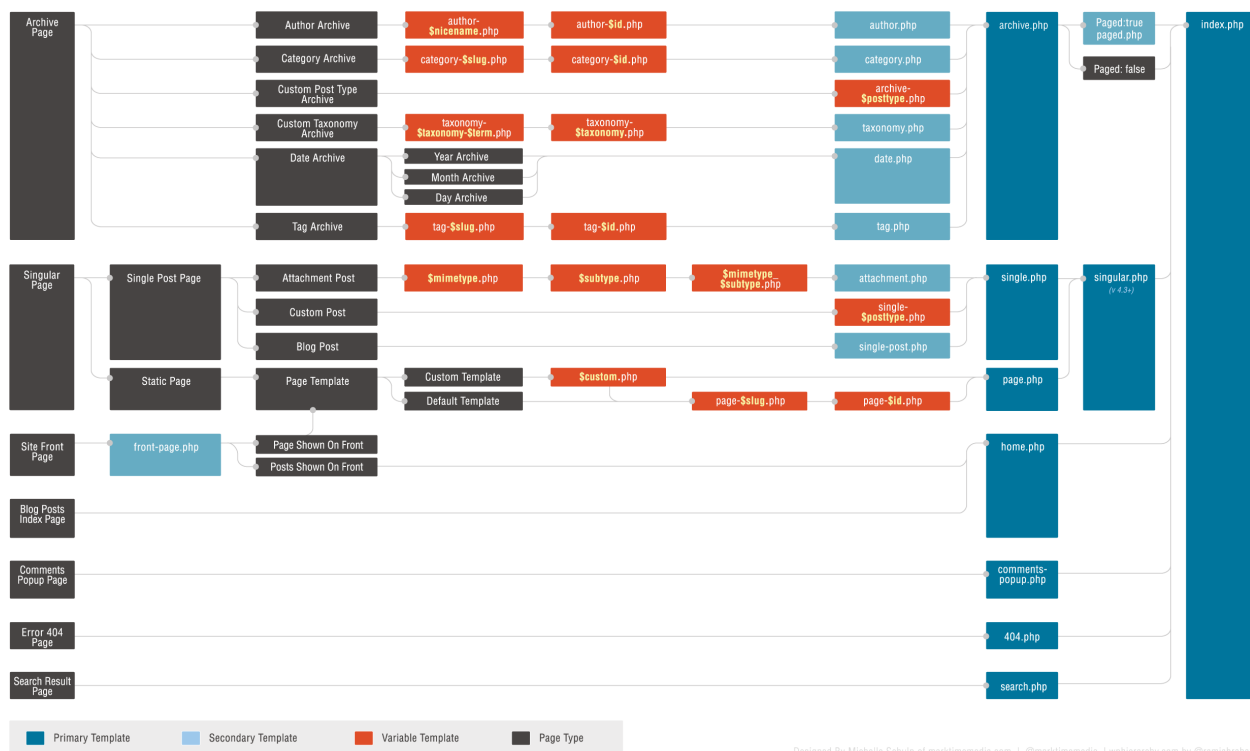


Figura 1.13: Architettura di una pagina WordPress e gerarchia delle pagine
Source: WordPress Developer Documentation

WordPress organizza i contenuti come pagine o articoli; predispone un archivio per organizzarli e un sistema di ricerca basato sui testi e sui metadati legati. La home del sito ha il compito di mostrare i contenuti più recenti o più importanti del sito e permette di scorrere tutti gli articoli come una vetrina.

Vision Lab Apps sfrutta WordPress come base dei propri siti anche per rendere la modifica dei contenuti semplice al proprio cliente.

1.4 Rapporto con l'innovazione

Vision Lab Apps è da sempre alla continua ricerca di nuove tecnologie da conoscere e integrare nei propri prodotti, anche in campi sperimentali, come i dispositivi wearable, IoT e la realtà aumentata. Proprio questi ultimi hanno dato origine ad alcuni dei progetti più all'avanguardia dell'azienda e l'hanno spinto all'acquisizione di personale dedito alla sperimentazione di nuove soluzioni.

Un'ulteriore necessità di innovazione deriva dal settore nel quale Vision Lab Apps si propone: il mercato è in rapida crescita e questo impone un continuo aggiornamento delle conoscenze e delle tecniche per mantenere i propri prodotti validi e restare al passo con i competitor.

Testimonianza di questo continuo aggiornamento è la migrazione verso uno sviluppo cloud based di molti dei prodotti dell'azienda, che ha portato a una riduzione dei costi di manutenzione e a un maggiore controllo sulla disponibilità dei servizi.

L'azienda, inoltre, organizza seminari periodici e laboratori per informare ed aggiornare i propri componenti sulle ultime frontiere della tecnologia, in ambito di sviluppo e marketing.

La proposta di nuove tecnologie è libera all'interno dell'azienda e, se ritenute utili per progetti futuri, viene predisposto un piccolo progetto di prova. In questo modo si riescono a ottenere dati concreti sui vantaggi e gli svantaggi che possono offrire.

2 Scelta dello stage e rapporto con l'azienda

2.1 Lo stage per l'azienda

2.1.1 Necessità dell'azienda

Vision Lab Apps sta sviluppando un sistema di videoconferenza per assistenza remota da applicare ai lavori specialistici e all'interno di aziende manifatturiere. Il sistema è pensato per aiutare un lavoratore inesperto, in situazioni difficili, facendolo guidare da una persona con le conoscenze adeguate a svolgere tali mansioni. Per rendere l'esperienza pratica funzionale, l'azienda ha pensato di utilizzare dei visori per la realtà aumentata, concentrandosi particolarmente sui Google Glass. L'utente esperto dovrà essere in grado di vedere in tempo reale quello che l'altro vede, tramite una videocamera integrata negli occhiali, e di mostrargli dati ed indicazioni su quello che deve fare, tramite il display integrato. Per realizzare tale progetto, Vision Lab Apps necessita di un'intera piattaforma di streaming, che sta realizzando a componenti nel corso del tempo.

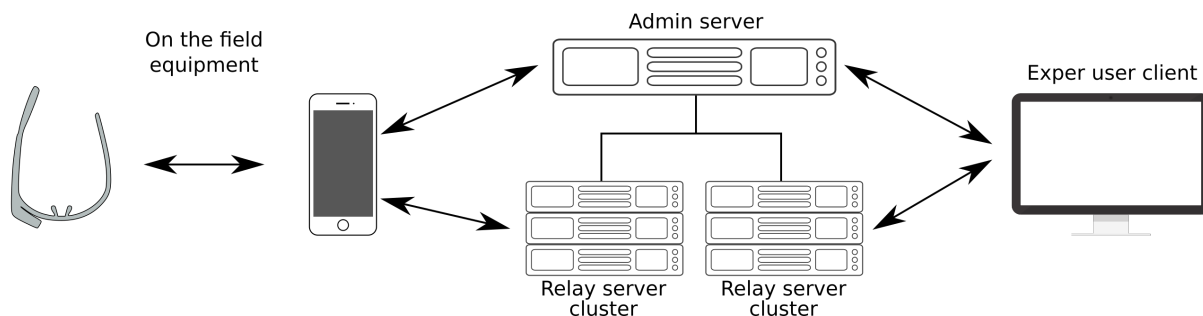


Figura 2.1: Schema generale del funzionamento della piattaforma di streaming

Il sistema che l'azienda vuole costruire è composto da tre elementi fondamentali, il client dell'utente sul campo, il sistema di relay e il client dell'utente esperto. Il primo è realizzato con uno smartphone Android e un paio di Google Glass; permetterà di registrare audio e video, inviati al sistema di relay tramite la rete del telefono, e di ricevere audio, video o messaggi di testo, inviati dal secondo client. Il client dell'utente esperto deve permettere di visualizzare e ascoltare i dati ricevuti e di poter rispondere con dati simili, per indicare al primo utente le azioni da compiere. Infine, il sistema di relay è composta da due elementi, un cluster di server di relay e un server amministratore; il primo è quello che si occupa del reinvio dei messaggi e della continuità della trasmissione tra i client connessi, mentre il secondo è adibito alla gestione dei canali, dell'autenticazione degli utenti e del bilanciamento del carico tra i nodi di relay.

Vision Lab Apps ha già realizzato un prototipo di client Android del servizio e, dopo test di trasmissione interni al dispositivo, si sta preparando per il passaggio alla comunicazione tra due dispositivi connessi ad una rete locale. Successivamente l'azienda provvederà a creare un sistema di amministrazione sfruttando Firebase e il suo servizio di autenticazione sicura.



Figura 2.2: Schema delle componenti in fase di sviluppo

L'Obiettivo dello stage è quello di sviluppare il software del server di relay, necessario per far comunicare i due client. Il server deve permettere ai due dispositivi di inviarsi messaggi di qualsiasi tipo, senza che uno conosca l'indirizzo di rete dell'altro, e di gestire i canali e gli utenti tramite un API amministratore.

2.1.2 Risultati degli stage precedenti e seguito degli stagisti nell'azienda

Vision Lab Apps ha deciso anche quest'anno di partecipare all'evento "StageIt", organizzato da Confindustria Padova in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova, e di proporre agli studenti un tirocinio interno all'azienda. L'impresa è alla ricerca di neolaureati per arricchire il proprio team di sviluppatori, dato il recente aumento di clienti e la conseguente espansione. Vision Lab Apps è, in particolare, interessata a studenti che sono appassionati di nuove tecnologie e che hanno interesse a imparare nuove tecniche e a farne conoscere di nuove all'azienda stessa. L'impresa ha già organizzato tirocini con altri studenti negli anni precedenti, ottenuto risultati soddisfacenti, tanto che molti degli ex stagisti sono stati assunti dall'azienda.

2.2 Rapporto con il mio stage e l'azienda

2.2.1 Ambiti di interesse

Al momento della ricerca di uno stage ho prestato particolare attenzione alle aziende che proponevano un percorso legato ai miei interessi di studio. In particolare cercavo tirocini il cui argomento fosse compreso tra i seguenti:

- Sicurezza;
- Sistemi ad alta concorrenza;
- Dispositivi IoT;
- Sistemi virtualizzati;
- Servizi cloud;

- DevOps;
- Sistemi multimediali.

2.2.2 Proposte di stage ricevute

Nei giorni immediatamente seguenti all'evento StageIt sono stato contattato da alcune aziende presenti delle quali ho selezionato le proposte che più mi parevano interessanti.

Uno dei progetti proposti consisteva in un sistema di controllo di risorse e consumi di sistemi virtualizzati tramite Docker: il software doveva fornire una chiara visione dello stato di ciascun servizio e riportare eventuali anomalie. Lo stage mi avrebbe permesso di conoscere meglio l'utilizzo di Docker, specialmente in un contesto DevOps, e di imparare nuove tecnologie di gestione di gruppi di contenitori, in particolare Kubernetes; fondamentali in un contesto di continuous deployment e continuous release. Le conoscenze che mi avrebbe fornito questo tirocinio erano di mio grande interesse, ma, sfortunatamente, non sono stato scelto, tra i possibili candidati.

Un altro stage riguardava la realizzazione di un software in grado di unificare la grande mole di dati dell'azienda, sparsa tra diversi sistemi aziendali legacy e i CMS dei loro clienti. Il prodotto avrebbe dovuto raccogliere i dati, salvarli in un formato comune, facilmente accessibile, e aggiornare i sistemi in caso di modifiche. L'utilità di un software del genere è molto elevata per un'azienda, ma il prodotto in sé consiste in un certo numero di adattatori per ciascuna delle fonti di dati, e non mi avrebbe fornito particolari conoscenze aggiuntive, rispetto a quelle che già possedevo.

Un altro progetto proposto, invece, prevedeva la realizzazione di un sistema per la gestione delle traduzioni dei testi di un catalogo prodotti, consentendo visualizzazione, modifica e la ricerca di testi ripetuti tramite Elasticsearch, per l'ottimizzazione delle spese di traduzione. Elasticsearch è un motore di analisi del testo il cui utilizzo si sta diffondendo molto in fretta, ma lo stage non comprendeva lo studio del suo funzionamento. Il prodotto avrebbe anche dovuto generare una serie di informazioni, come un preventivo dei costi di traduzione e una lista di frequenza di certe espressioni.

Un ulteriore tirocinio prevedeva un progetto sperimentale per lo spostamento di un software di rendering CAD per TAC da un sistema locale a uno client-server, con elaborazione dei dati su server virtualizzati. Il video elaborato sarebbe poi stato servito a un thin client; alleggerendolo del carico di computazione del render. Il progetto comportava la scomposizione del software proprietario dell'azienda, lo studio di una soluzione di virtualizzazione e l'integrazione con una libreria per la trasmissione dei dati. Sebbene lo stage proposto toccasse molti e vari ambiti, si sarebbe concentrato solo in una parte del progetto, prevedendo la continuazione da parte dello studente dopo la laurea. Considerata la mia scelta di continuare i miei studi, non ho potuto accettare la proposta dell'azienda.

2.2.3 Scelta dello stage

Al momento della scelta di quale stage accettare, tra quelli proposti, ho preferito optare per quello che proponeva argomenti per me più nuovi e meno conosciuti, che producesse, quindi, il migliore valore aggiunto per mie competenze. Ho scelto il progetto di Vision Lab Apps perché ho trovato il campo di cui si occupa interessante e le mie conoscenze sull'argomento erano solo marginali. Inoltre una più approfondita conoscenza di sistemi ad alta concorrenza, come può essere un servizio di streaming, è applicabile a molti altri campi, come sistemi cloud distribuiti e dispositivi IoT.

2.2.4 Scelta dell'azienda

Durante la scelta dello stage ho considerato marginale l'aspetto del futuro in azienda, dato che la mia scelta di continuare a studiare per la laurea magistrale è incompatibile con un lavoro a tempo

pieno. Il mio interesse più grande era quello di poter collaborare con persone più esperte di me per imparare cose nuove; per questo motivo mi sono accertato che durante il tirocinio avrei potuto interagire con molte figure dell'azienda che si occupano di sviluppo. Un altro importante fattore che ho deciso di ignorare è stata la distanza dell'azienda dalla mia residenza: ho preferito dare più importanza all'esperienza dello stage in sé rispetto alla comodità di spostamento.

2.3 Obiettivi del progetto di tirocinio

All'inizio del progetto di tirocinio sono stati definiti gli obiettivi, distinti poi in obbligatori e desiderabili, e i vincoli tecnologici ai quali ho dovuto attenermi. Ne segue una lista dei fondamentali.

2.3.1 Obiettivi obbligatori

- Studio dei formati video e dei protocolli di rete per le trasmissioni video in real-time e on-demand
- Studio dell'architettura di rete di un servizio di streaming
- Sviluppo di un applicativo server per il relay di messaggi tra i suoi client

2.3.2 Obiettivi desiderabili

- Studio delle problematiche della trasmissione di dati in mobilità
- Sistema di autenticazione dei client e organizzazione a canali delle trasmissioni

2.3.3 Vincoli tecnologici

Mi è stato richiesto di utilizzare Java come linguaggio di programmazione, per consentire una più veloce integrazione con il client Android. Inoltre, data la struttura a servizi della piattaforma, ho dovuto utilizzare un server Java come base del prodotto.

2.4 Pianificazione del lavoro

La pianificazione del progetto è stata eseguita in accordo con il tutor interno. Nella prima settimana ho avuto modo di studiare gli strumenti, i formati e i protocolli necessari alle funzioni della piattaforma, stilando una relazione sullo stato dell'arte. Ho, poi, proseguito con l'analisi delle funzionalità richieste e la definizione di requisiti e casi d'uso. Ho impiegato la terza settimana nella progettazione del servizio e della componente server, per poi procedere le due settimane successive alla sua realizzazione. Per garantire una buona qualità del codice, ho dedicato una settimana alla validazione, ai beta test e alla riformattazione. L'ultima settimana ho ultimato la documentazione del progetto e dei risultati ottenuti.



Figura 2.3: Diagramma di Gantt della pianificazione

2.4.1 Strumenti utilizzati

Per ottenere buoni risultati durante la pianificazione Vision Lab Apps utilizza GanttProject¹, un software open-source per la realizzazione di diagrammi di Gantt e PERT. Il programma permette di costruire diagrammi con estrema facilità, gestendo scadenze, risorse, personale e dipendenze; inoltre permette di esportare il risultato in HTML o in formato PNG.

¹Sito web del progetto GanttProject: www.ganttproject.biz

3 Il prodotto

3.1 Acquisizione delle conoscenze settoriali

3.1.1 Codifica video

3.1.2 Formati video comunemente usati

M-JPEG

Motion JPEG è un codec video che comprime ogni frame del video originale in una immagine in formato JPEG, un comune formato di compressione con perdita per immagini digitali. Originariamente creato per applicazioni multimediali, M-JPEG è attualmente utilizzato da dispositivi di videoregistrazione come camere digitali, IP cam e webcam.

Un grande vantaggio dell'utilizzo di M-JPEG per la codifica video, che ha spinto la sua diffusione sulla maggior parte delle prime fotocamere digitali non professionali, è quello della bassa potenza di calcolo necessaria al suo utilizzo: è sufficiente una modifica software all'encoder hardware per JPEG per poter creare un codec M-JPEG. Inoltre, permette la lettura non lineare del file, utile nel caso di sistemi di video editing. Inoltre l'encoding intraframe che sfrutta limita l'informazione contenuta in ciascun frame M-JPEG a quella di un frame del video originale, permettendo di cambiare velocemente il contenuto, senza considerare i frame precedenti o successivi, come invece accade nelle codifiche interframe come H.264/MPEG-4 AVC.

Con l'accrescere della potenza di calcolo, M-JPEG è stato soppiantato da MPEG-4, per la resa qualitativamente molto migliore a parità di bitrate, infatti JPEG è inefficiente nello spazio di archiviazione. Inoltre M-JPEG non sfrutta tecniche di predizione spaziale, come H.264/MPEG-4 AVC, che permetterebbero un ulteriore risparmio di spazio, a discapito di una maggiore potenza di calcolo necessaria.

MPEG-1

MPEG-1 è uno standard per la compressione con perdita di video e audio progettato per comprimere video con la qualità variabile tra il video di una VHS e l'audio di un CD fino a 1.5Mbit/s senza perdita di qualità eccessive, permettendo la creazione di video CD, trasmissioni TV via satellite e via cavo e DAB. Attualmente, MPEG-1 è il formato lossy con più supporto di compatibilità al mondo e uno degli standard che ha introdotto più noti è stato il formato audio MP3.

MPEG-1 introduce molte tecnologie, frutto di studi statistici, che gli permettono di risparmiare molti dati per descrivere lo stesso video con poca perdita di qualità: innanzitutto l'utilizzo della trasformata DCT su blocchi di $8 \cdot 8$ permette di ottenere coefficienti tra loro incorrelati e solo alcuni di questi sono dominanti, permettendo un alto livello di compressione. I coefficienti DCT ottenuti vengono quantizzati, con una grana più fine nelle frequenze più basse e con una più grossa nelle frequenze più alte. Queste influiscono meno sul risultato finale e il loro annullamento permette di diminuire il bitrate complessivo senza pesanti perdite di qualità. Data la grande quantità di zeri dovuti alla quantizzazione, si utilizza una codifica run-length, ovvero si indicano i valori a coppie a, b , dove a rappresenta il valore di un coefficiente non nullo e b il numero di zeri che lo precedono. Si sfrutta infine una codifica entropica basata su una tabella di valori standardizzati, ottenuti con un approccio basato sulla codifica di Huffman.

MPEG-4

MPEG-4 è basato sugli standard MPEG-1, MPEG-2 e QuickTime. Si è osservato che, in caso di video con sezioni statiche o relativamente statiche, molti frame sono riproducibili dai precedenti. È stata, quindi, realizzata una tecnica che sfrutta la somiglianza tra frame vicini per risparmiare spazio nella codifica. Questa si ottiene indicando alcuni frame come frame chiave (I-Frame) e generando i frame seguenti come trasformazioni del frame principale.

MPEG-4 permette di creare oggetti multimediali con migliori capacità di adattamento e flessibilità, in grado di migliorare la qualità del risultato finale; inoltre è in grado di adattare la propria qualità sia a stream a basso bitrate, anche 1 Mbit/s, fino a formati ad alta risoluzione, come 4K e 8K.

Le sue ottime performance di qualità e compressione costano in potenza computazionale, a causa della complessità della fase di quantizzazione; al contrario, la decodifica per la riproduzione è sufficientemente rapida e poco costosa, grazie anche a decodificatori hardware specializzati, ormai comunemente integrati nella maggior parte dei processori.

WebM

WebM è un formato video royalty-free pensato per il web, rilasciato sotto licenza BSD, il cui sviluppo è sponsorizzato da Google. WebM sfrutta il motore di codifica VP9 e audio Opus ed è supportato nativamente dai maggiori browser, inclusi dispositivi mobile. WebM punta ad una migliore efficienza di compressione rispetto a MPEG-4 e sta sostituendo GIF come formato di animazione video. Mentre il formato è libero, i motori VP8 e VP9 sono patentati Google e solo nel 2013 MPEG LA ha raggiunto un accordo con la multinazionale per la licenza delle componenti essenziali all'implementazione dei codec. Le attuali implementazioni libere (libvpx) mostrano un significativo vantaggio nei tempi di codifica e nel risparmio di bitrate rispetto a MPEG-4 H.264 e H.265.

3.1.3 Protocolli

Storia dei protocolli e standardizzazione

Protocolli per il video streaming

Quando parliamo di protocolli di rete possiamo dividerli due categorie in base al tipo di trasmissione che utilizzano, ovvero se stream-oriented o message-oriented. Questa differenza, riscontrata al Transport Layer della pila OSI, è la base dei due più famosi protocolli di quel livello: TCP e UDP. TCP (Transmission Control Protocol) appartiene alla prima categoria: provvede alla realizzazione di una connessione affidabile, nella quale i dati vengono suddivisi in pacchetti ordinati e in caso di errori di trasmissione il ricevente può richiederne il reinvio. Questo protocollo è pensato per la consistenza dei dati e assicura che le informazioni richieste arrivino tutte, integre e nell'ordine corretto al ricevente.

UDP (User Datagram Protocol), al contrario, appartiene al secondo genere: utilizza un modello connectionless, pensato per messaggi atomici, e non garantisce che l'ordine di invio di un certo numero di pacchetti sia lo stesso con il quale vengono ricevuti. Inoltre, il protocollo non ha particolari misure di prevenzione della corruzione dei dati, se non un checksum dei contenuti del pacchetto, che ne permette la verifica di integrità.

Nel caso di applicazioni di streaming è importante nominare anche il protocollo SCTP (Stream Control Transmission Protocol): si tratta di un protocollo message-oriented e connectionless, simile a UDP, ma che aggiunge alcune feature di TCP, come l'ordinamento dei pacchetti e la richiesta di reinvio. Questo permette al ricevente di mantenere la coerenza dei dati, anche in caso di messaggi lunghi, e di ricevere più stream di pacchetti in parallelo.

Tipologie di streaming

Nel caso applicativo dello streaming video si riscontrano due possibili situazioni: nel caso di streaming real-time l'obiettivo è quello di trasmettere un video con una latenza molto bassa, anche a discapito della qualità video; si pensi, ad esempio, quanto è negativa l'esperienza di un utente che durante una videoconferenza si accorge che un altro utente deve aspettare del tempo prima di ricevere la propria registrazione.

Altro caso è quello dello streaming on-demand, nel quale un utente richiede l'accesso ad una risorsa video remota e la sua visualizzazione deve essere riportata con la qualità nativa; in questo caso l'utente è disposto ad aspettare qualche secondo di precaricamento iniziale, ma risulta particolarmente infastidito dalle interruzioni, magari a causa del buffering.

Nel primo caso il protocollo ideale è quello che trasmette con il bitrate più alto possibile e con la massima frequenza di invio di messaggi; infatti il solo bitrate non basta, una frequenza di invio alta permette di limitare la latenza alla sorgente del segnale, rimpicciolendo il tempo di attesa tra un intervallo e il successivo. Per questi tipo di trasmissioni il protocollo più adatto è UDP, per la dimensione variabile del messaggio, la piccola dimensione del suo header e l'assenza di garanzie di consistenza non fondamentali, come la certezza che tutti i dati siano stati ricevuti. Sono nati quindi numerosi protocolli per l'Application Layer OSI basati su UDP, adattati alla trasmissione di streaming video, come RTP, RTSP, RTMP. A questo tipo di protocolli vengono spesso associati protocolli di controllo, come RTMCP e RRCP, che permettono a trasmittente e ricevente di accordarsi sul formato dei dati e sul bitrate da utilizzare.

Nel secondo caso il protocollo deve garantire la consistenza e l'integrità della trasmissione, pur mantenendo un bitrate elevato. Questo tipo di trasmissione può essere ottenuta tramite un protocollo stream-oriented, come quello di TCP. Nascono, quindi, anche nel caso di TCP protocolli per l'Application Layer OSI progettati per stream di video, come MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP), HLS (HTTP Live Streaming) di Apple e Microsoft Smooth Streaming. Per risolvere il problema delle interruzioni, molti servizi lasciano al client la possibilità di caricare dinamicamente più di una versione dello stesso contenuto, in base alla disponibilità di bandwidth. Esiste infine un'ulteriore funzionalità che sta diventando comune nei servizi più grandi: quella dello streaming ibrido. Il servizio si basa su streaming real-time, ma permette agli utenti di rivedere una scena già trasmessa, comportandosi come uno streaming on-demand. Questo tipo di servizio richiede che il contenuto registrato venga salvato e velocemente diffuso all'interno della piattaforma, per poi essere reso disponibile, come per i restanti contenuti on-demand.

UDP e i problemi di firewall

Sebbene i protocolli basati su UDP siano particolarmente adatti alle comunicazioni real-time, soffrono di un grave problema legato alle regole applicate ai firewall, specialmente nel caso di reti pubbliche o aziendali: capita molto spesso che per evitare minacce provenienti da reti esterne gli amministratori decidano di bloccare tutti, o quasi, i pacchetti UDP in entrata, a meno di risposta ad una chiamata proveniente dall'interno. Questa pratica è diventata molto comune, tanto che anche servizi di streaming, come YouTube e Twitch, o di telecomunicazione, come Skype o Hangouts, siano stati costretti ad incapsulare il contenuto dei propri pacchetti UDP in pacchetti TCP, per superare le protezioni e offrire i propri servizi.

WebRTC

WebRTC è un insieme di protocolli di rete che permettono l'invio di messaggi in real-time tramite connessioni peer-to-peer. Il sistema è pensato per essere integrato nativamente nei browser, in modo tale da poter essere utilizzato, tramite un'interfaccia, da webapp apposite per comunicare

con componenti di backend e browser di altri utenti. WebRTC sfrutta il protocollo RTP, per il trasferimento di audio e video, e lo stato attuale del suo supporto da parte dei principali browser è quasi totale: solo vecchie versioni di Internet Explorer e Safari non lo supportano. Sebbene questa tecnologia sia standardizzata e il suo impiego sia sempre più frequente da parte di servizi di videochat, le sue implementazioni per le piattaforme Android e iOS sono ancora acerbe e poco documentate; per questo motivo è ancora comune definire un protocollo di comunicazione specifico per l'applicazione, piuttosto di utilizzare questo standard.

3.1.4 Architettura di una piattaforma di streaming

Struttura di massima

Una piattaforma di video streaming si compone di cinque elementi principali:

- La rete di inbound, ovvero il sistema di reti che gestisce l'ingresso di dati nella piattaforma, siano questi file video o stream;
- Il motore di codifica, che permette di ricodificare i video in ingresso per renderli disponibili nei formati opportuni ai passaggi successivi.
- Il sistema di storage, per il salvataggio dei contenuti per la breve, media e lunga conservazione;
- Il sistema di gestione e ricerca dei contenuti, che permette agli utenti di caricare, cercare e riprodurre i contenuti di proprio interesse;
- Il sistema di distribuzione dei contenuti, ovvero la rete che si occupa della trasmissione di dati ai client.

Inbound e transcodifica

La rete di inbound è la parte del sistema che si occupa di accettare file e stream da parte degli utenti e di inoltrarli ai nodi sottostanti. Questa componente è soggetta ai tipici problemi delle applicazioni web con un numero di utenti rilevante, ovvero la stabilità del servizio, la necessità di reti ad alta disponibilità, il bilanciamento del carico di lavoro tra i nodi sottostanti.

I contenuti caricati tramite il sistema di inbound vengono, poi, inviati ai motori di codifica, componenti specializzati nell'encoding dei video. A seconda del tipo di input è possibile scegliere se utilizzare un transcodificatore per lo streaming, in grado di rielaborare il formato video di uno stream "al volo" e con poca latenza aggiuntiva, oppure, nel caso di file video, questi vengono caricati in storage temporanei e successivamente elaborati da transcodificatori comuni.

Storage e organizzazione dei contenuti

Il sistema di storage si occupa dell'organizzazione dei contenuti, del loro salvataggio e del loro recupero. Al semplice filesystem viene associato un database, spesso non relazionale, per la gestione di metadati, testi, commenti e dati aggiuntivi. Il sistema deve permettere una veloce ed efficace ricerca dei contenuti, per permettere agli utenti di accedere alle informazioni volute.

Outbound, protocolli e CDN

Nel caso della distribuzione di contenuti verso i client sono generalmente utilizzati protocolli basati su TCP, come MPEG-DASH, Apple HLS e Microsoft Smooth Streaming. Questo tipo di protocolli permettono più stream paralleli e la possibilità di eseguire caching dei contenuti trasmessi, particolarmente utili nel caso di utilizzo di CDN per estendere la distribuzione. Queste reti, solitamente di

proprietà delle aziende di telecomunicazione su cui poggiano gli ISP, offrono un servizio di caching che permette di spostare il carico di rete dovuto all'accesso ai contenuti dai server principali del servizio a server più piccoli e dislocati sul territorio. Questo tipo di distribuzione, non solo diminuisce il carico di rete, limitato quindi alla sola autorizzazione all'accesso, ma permette di avere latenza e tempi di caricamento minori da parte degli utenti.

Message relay

Esistono casi di servizi di streaming che devono permettere il reinvio di dati tra due client, senza alcuna modifica ai contenuti trasmessi; in questo caso si parla di message relay. Questo tipo di servizio è fondamentale se i due client non possono comunicare direttamente, magari perché bloccati da firewall o nascosti da una rete con NAT.

3.1.5 Trasmissione dei contenuti in mobilità

La quantità di utenti che consumano contenuti multimediali su applicazioni mobile sempre più in aumento, tanto che nel Novembre 2016 si è registrato il sorpasso della quantità di utenti su tali piattaforme, rispetto ai desktop. È in crescita anche l'utilizzo di questi dispositivi per eseguire live stream, specialmente legati a social network, come Twitter, Facebook e Google+. L'utilizzo di dispositivi mobile aggiunge un ulteriore strato di complessità alla comunicazione con i servizi web, come anche le piattaforme di streaming. Le difficoltà maggiori che si incontrano in questo campo sono la limitata potenza computazionale dei dispositivi e autonomia energetica, i limiti imposti da una rete senza fili e la grande frammentazione dei sistemi, specialmente quando si tratta di Android. La maggior parte dei problemi precedentemente citati viene gestito dal sistema operativo, ma restano le limitazioni fisiche, ovvero la velocità di trasferimento dei dati:

3.1.6 Reti per dispositivi mobile

Le principali reti disponibili per dispositivi mobile possono essere riassunte nelle seguenti:

4G — LTE

LTE, lo standard commerciale 4G per le telecomunicazioni mobile, supporta downlink con velocità di picco di 300 Mbit/s e uplink di 75 Mbit/s in caso di posizione statica. Questo tipo di connessione è ampiamente sufficiente alla trasmissione di video in alta risoluzione e alto framerate. LTE ha lo svantaggio di essere soggetto a forti interferenze quando deve attraversare materiali solidi come muri o persone.

Wi-Fi

L'ultimo standard Wi-Fi, IEEE 802.11ac, ormai comunemente supportato dai dispositivi mobile in commercio, raggiunge una velocità di trasmissione di circa un Gbit/s. Il precedente standard, IEEE 802.11n, era limitato a 300 Mbit/s tramite l'utilizzo di sistemi ad antenna multipla. Anche Wi-Fi è soggetto ad interferenze, specialmente quando utilizzato sulle frequenze più alte, a 5GHz. Oltre alla comune connessione a infrastruttura, IEEE 802.11 supporta anche connessioni peer-to-peer tramite il protocollo Wi-Fi Direct, che riduce i consumi e massimizza il throughput.

Bluetooth

Bluetooth 5 ha un throughput molto più basso dei precedenti canali di comunicazione; raggiunge, infatti, circa 50 Mbit/s, un bitrate appena sufficiente alla trasmissione di video HD, al contrario,

però, la distanza tra il trasmittente e il ricevente è molto più ridotto. Il vantaggio principale di Bluetooth è quello di utilizzare una minore quantità di energia elettrica per comunicare con altri dispositivi.

3.2 Analisi dei requisiti

3.2.1 Analisi preliminare

L'analisi preliminare si è focalizzata sulla definizione degli attori e degli obiettivi e delle funzionalità principali del software da produrre.

3.2.2 Definizione dei casi d'uso

Attori

- **Client:** un utente che interagisce con il sistema;
- **Authenticated Client:** un client non ancora autenticato;
- **Authenticated Client:** un client che ha eseguito l'autenticazione ed è registrato all'interno di almeno un canale;

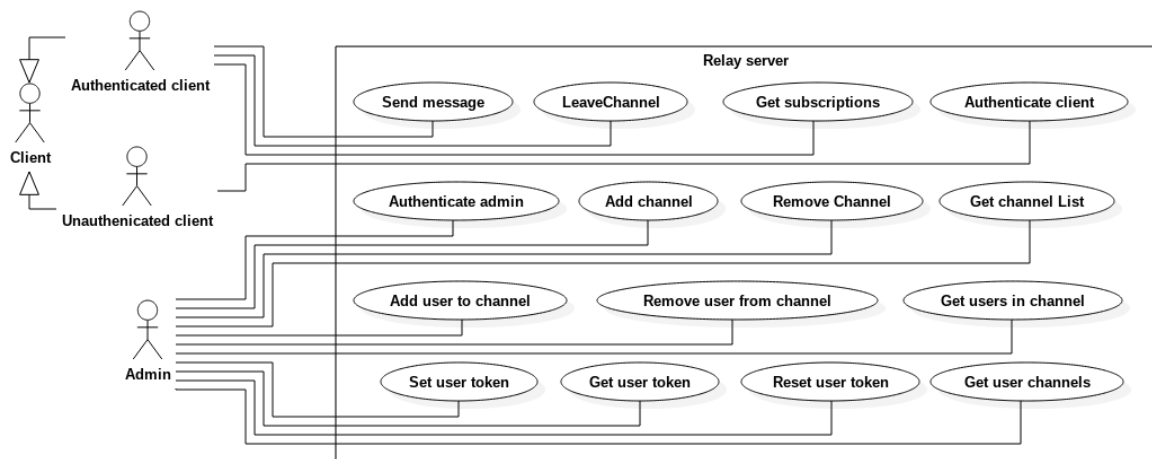


Figura 3.1: Diagramma usecase

3.3 Struttura della piattaforma

3.3.1 Diagramma strutturale

Diagramma UML Spiegazione della funzione delle componenti

3.3.2 Confronto con soluzioni esistenti

YouTube

Netflix

Red5 Pro

Contus Vplay

Streamroot

Wowza Streaming Engine

3.4 Tecnologie utilizzate

3.4.1 Linguaggi — Java

Integrazione facile con Android

3.4.2 Piattaforma — Tomcat8 EE

3.4.3 Protocollo — TCP su WebSocket

3.4.4 Tipo di dati scambiati — JSON vs XML

Meno prolisso Scelto per semplificare la codifica della piattaforma Facile a comprendere

3.4.5 Strumenti di supporto

Strumenti di versionamento

Git e Bitbucket

Strumenti di test e verifica

JUnit

Strumenti di analisi di rete

Wireshark

Strumenti di continuous integration

Docker

3.5 Nuovi orizzonti

3.5.1 Blockchain

3.5.2 Streaming peer to peer

3.6 Qualifica

3.6.1 Verifica

Analisi statica

Analisi dinamica

3.6.2 Validazione

Validazione interna

Validazione esterna

Bibliografia