

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE AND ENGINEERING
ARTIFICIAL INTELLIGENCE

An effective pipeline for reducing the size of Large language models

Supervisor:
Prof. Francesco Conti

Presented by:
Angelo Galavotti

Co-supervisor:
Luca Bompani

Sessione II
Anno Accademico 2021/2022

*Alla migliore madre del mondo,
al miglior padre del mondo.*

Abstract

Il Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) è una collaborazione internazionale costituita da decine di centri di calcolo distribuiti globalmente, la cui missione consiste nell'elaborazione delle grandi quantità di dati prodotti dai maggiori esperimenti di Fisica delle Alte Energie, in particolare quelli al CERN di Ginevra.

Uno di questi centri di calcolo è ospitato presso il CNAF dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare a Bologna, che contribuisce anche allo sviluppo di middleware per la gestione dell'infrastruttura.

Molti componenti di tale middleware, che hanno funzionalità e scopi diversi, richiedono un servizio di autorizzazione versatile e compatibile con i meccanismi di autenticazione attualmente in uso, basati su token OAuth 2.0 e su certificati VOMS Proxy.

In questa tesi si analizzerà l'architettura e l'implementazione di un proof-of-concept di un sistema di autorizzazione che soddisfi queste necessità, enfatizzando l'integrazione delle tecniche di autenticazione citate. Per dimostrare la sua versatilità, verrà illustrato il processo di interfacciamento con un componente middleware attualmente in sviluppo al CNAF.

Il risultato finale ottenuto è un sistema che rispetta i vincoli richiesti e si integra facilmente con servizi eterogenei.

Indice

1	Introduction	1
1.1	A brief overview of the evolution of LLMs	2
1.2	Inner workings of a transformer	3
1.3	The darker side of LLMs and scope of this project	3
1.4	Relevant work	3
1.5	Document structure	3
2	Background and Related Work	5
2.1	Componenti principali	6
2.1.1	Sistema delle politiche di accesso	6
2.1.2	Reverse proxy	6
2.1.3	Servizio applicativo	7
2.2	Topologia finale	7
3	Methodology	9
3.1	Software stack	9
3.1.1	OpenPolicyAgent	10
3.1.2	NGINX	11
3.1.3	Docker	11
3.2	Implementazione dei componenti	12
3.2.1	Sistema delle politiche di accesso	12
3.2.2	Reverse proxy	14
3.2.3	Servizio applicativo	17
3.3	Cifratura SSL/TLS	18

3.4	Testing	19
4	Implementation	21
5	Experimental Results and Analysis	23
5.1	StoRM-Tape	23
5.2	Interfacciare il sistema con il servizio	24
5.2.1	Risultati	25
6	Conclusion and Future Work	27
6.1	Sviluppi futuri	27
6.1.1	Modifica delle policy dall'esterno	28
6.1.2	Controllo degli accessi basato su capability	28
6.1.3	Accesso diretto a OpenPolicyAgent da parte del servizio applicativo	29
6.2	Osservazioni finali	29
	Bibliografia	31

Elenco delle figure

Elenco dei frammenti di codice

3.1	Descrizione dei ruoli in JSON	12
3.2	Policy in linguaggio Rego	13
3.3	Frammento di codice del reverse proxy	14
3.4	Frammento di codice del modulo NJS	16
3.5	Frammento di codice del servizio applicativo	18
3.6	Configurazione della comunicazione tramite SSL/TLS	18

Capitolo 1

Introduction

It is no secret that in the last three years, *Large Language Models* (LLMs) have fundamentally transformed our relationship with technology. Their impact rivals the most significant innovations of the past century, such as the internet and smartphone. When people contemplate Artificial Intelligence today, they immediately think of ChatGPT or Claude, which have seamlessly integrated into our daily routines. Yet these powerful tools come with significant environmental concerns. Their development and operation consume vast amounts of energy and water resource: modern data centers supporting these models require extensive cooling systems and electricity consumption that can rival small cities.

In this opening chapter we will briefly examine the evolution of LLMs and provide a more technical description of their capabilities. Furthermore, we'll investigate their considerable environmental footprint while highlighting the growing imperative for efficient, locally-deployable models that democratize access without depleting our planet's resources. In this context, we will introduce the *FRANKEN-LLAMA* project, which aims to create a more sustainable and efficient LLM. The future of AI depends not just on what these models can do, but how sustainably they can do it.

1.1 A brief overview of the evolution of LLMs

Fundamentally, at the core of LLMs lies the concept of *transformers*, a neural network architecture introduced in 2017 by Vaswani et al. in their famous paper "Attention is All You Need". Initially designed for translation tasks, transformers have since been adapted for a wide range of natural language processing (NLP) tasks such as summarization and sentiment analysis. A famous example of a transformer model is *BERT* (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), which has been widely used for various NLP tasks. BERT's architecture allows it to understand the context of words in a sentence by considering both the left and right context simultaneously, making it particularly effective for classification tasks such as entity named recognition.

However, the biggest impact of transformers has been in the realm of text generation, where they can produce consistent and contextually relevant text based on a given prompt. This is achieved through a mechanism called *self-attention*, which allows the model to weigh the importance of different words in a sentence when generating text. By using self-attention, transformers can capture long-range dependencies and relationships between words. A more technical overview of the transformer architecture is provided in Section ?? . The GPT (Generative Pre-trained Transformer) series, developed by OpenAI, is a prime example of this capability, with GPT-4 being the most recent version. These models are pre-trained on vast amounts of text data and its performance has become a new benchmark for other models in the field.

1.2 Inner workings of a transformer

1.3 The darker side of LLMs and scope of this project

1.4 Relevant work

1.5 Document structure

AAAAAAAAA AM I GOING CRAZY?

Capitolo 2

Background and Related Work

Durante la progettazione di un sistema di autorizzazione, è necessario considerare alcuni parametri fondamentali che ci permettono di valutarlo nel contesto in cui ci si trova.

Quelli che hanno contribuito maggiormente sulle scelte progettuali sono stati:

- la *versatilità*, cioè la capacità di interfacciarsi con sistemi di funzionalità e struttura diversa.
- la *manutenibilità*, ovvero la facilità di apportare modifiche a sistema realizzato.

La prima è garantita attraverso la divisione in più componenti, cosicché modificare le regole di accesso non richieda un'alterazione generale del codice del complesso.

La seconda è ottenuta tramite la separabilità totale dal servizio che si intende proteggere, facilitandone la compatibilità con altre tecnologie.

Un'altra considerazione che ha influenzato l'architettura del sistema è stata la scelta del software per la gestione della fase decisionale dell'autorizzazione, che richiede una gestione delle due fasi dell'autorizzazione tramite l'uso di componenti separati.

2.1 Componenti principali

L'architettura dell'infrastruttura presenta uno scheletro formato da tre componenti di principali:

- il *sistema delle politiche di accesso*
- il *reverse proxy*
- il *servizio applicativo*

Ciascuna di esse veste un ruolo importante nella gestione della richiesta, tuttavia solamente le prime due influenzano il processo di autorizzazione.

2.1.1 Sistema delle politiche di accesso

Il sistema delle politiche di accesso è la parte che determina come la richiesta dovrà essere gestita.

Per adempiere al suo ruolo, sfrutta le informazioni di identità dell'utente contenute nella richiesta, che devono essere propriamente formattate per essere comprese correttamente.

Dopodiché, applica le regole di accesso e confronta i dati ricevuti con un database dei permessi, al quale ha accesso diretto.

Infine, restituisce in output una decisione, che stabilisce se l'accesso è consentito o meno.

2.1.2 Reverse proxy

Il reverse proxy rappresenta l'unico entry-point dell'intero sistema di autorizzazione. Il compito di questo componente è di mediare la comunicazione tra client e il servizio applicativo: ogni richiesta che viene fatta da un utente è obbligata ad attraversare il reverse proxy prima di giungere al server.

L'attraversamento del proxy è trasparente: al client apparirà di comunicare direttamente con il servizio, nonostante le richieste siano dirette al proxy e da esso propriamente gestite.

La mediazione fornita da questo elemento incorpora un aspetto decisionale, attraverso il quale viene effettivamente espresso il concetto di autorizzazione. Infatti, il reverse proxy inoltra o ignora le richieste al servizio applicativo, basandosi sull'output del sistema delle politiche di accesso.

Il termine “reverse” permette di distinguerlo dai normali proxy d'inoltro, che interfacciano un client con l'esterno di una rete locale. Un reverse proxy, invece, viene posto nella comunicazione fra un server e i client provenienti da una rete esterna.

2.1.3 Servizio applicativo

Con servizio applicativo si intende il servizio che usufruisce del sistema di autorizzazione. Nonostante ciò, l'intero sistema gli è totalmente trasparente e non necessita di modifiche per interfacciarsi con esso.

Il suo ciclo di esecuzione consiste nel gestire le richieste provenienti dagli utenti tramite il reverse proxy e formulare una risposta. Questa viene inoltrata al mittente iniziale, senza che sia filtrata o analizzata, ma attraversando comunque il proxy.

2.2 Topologia finale

In base a quanto è stato esposto nei paragrafi precedenti, si ottiene una struttura topologica simile a quanto mostrato nella Figura ???. I numeri su ogni freccia dei flussi dati indicano la sequenza temporale delle trasmissioni delle informazioni tra gli elementi.

Ciascun componente è interpretabile come un processo separato in esecuzione sullo stesso server o su server diversi.

Capitolo 3

Methodology

La fase di implementazione delle basi del sistema rimane sicuramente la parte più corposa dello sviluppo del progetto.

In questo capitolo verranno discussi in dettaglio gli strumenti e le tecniche che hanno permesso la realizzazione dell'infrastruttura. Particolare attenzione sarà posta nella descrizione della parte operativa, attraverso l'illustrazione di frammenti di codice significativi nel contesto dell'implementazione.

3.1 Software stack

Con *software stack* si intende l'insieme di sottosistemi software che permettono di realizzare una piattaforma completa. Questi lavorano assieme per consentire la corretta esecuzione di un'applicazione oppure, come nel caso in questione, il funzionamento di un sistema. Lo stack dell'infrastruttura è composto dai seguenti software, che saranno descritti nei paragrafi successivi:

- OpenPolicyAgent
- NGINX
- Docker

Ogni componente dell'infrastruttura sfrutta lo stack in modo diverso per svolgere il proprio compito.

3.1.1 OpenPolicyAgent

OpenPolicyAgent (OPA) [4] è un software open source che permette di separare, durante l'autorizzazione, il processo di decision-making dall'applicazione rigorosa delle politiche.

Ad esempio, consideriamo un servizio che richiede di stabilire se un utente possiede dei determinati diritti di accesso. OPA permette di gestire il problema decisionale del controllo degli accessi analizzando le informazioni ricevute attraverso un'interrogazione da parte del servizio. In questo modo, l'applicazione delle politiche di accesso viene delegata a un componente singolo, che potrà essere interrogato da più entità.

Il principale vantaggio di una struttura di questo tipo consiste nell'eliminazione di eventuali ambiguità causate dall'implementazione del controllo degli accessi in ciascun elemento del sistema.

La Figura ?? mostra in modo schematico la gestione tipica di una richiesta: un servizio invia un'interrogazione a OPA che in base ai dati a sua disposizione formula una decisione e la restituisce al servizio stesso. Le informazioni della richiesta sono definite in formato JSON, e sono strutturate in modo totalmente arbitrario.

Le politiche (o policy) devono essere rappresentate attraverso il linguaggio dichiarativo *Rego* [5], la cui sintassi si ispira al linguaggio di interrogazione *Datalog*. Attraverso Rego, le regole sono espresse come delle asserzioni sui dati mantenuti da OPA. Il codice dedicato alle politiche diventa così molto conciso rispetto a un equivalente in linguaggio imperativo.

Un'altra funzionalità molto interessante di questo software risiede nella REST API CRUD fornita da OpenPolicyAgent per la gestione delle politiche [6]. Grazie a questa, una politica può essere modificata o inserita in qualsiasi momento tramite una richiesta all'API.

OpenPolicyAgent è il software che gestisce interamente il sistema delle politiche di accesso. Infatti, oltre a formulare una decisione, coordina la ricezione delle informazioni e la trasmissione del risultato.

3.1.2 NGINX

NGINX [7] è un web server che incorpora numerose funzionalità, che facilitano l'impostazione del reverse proxy e del servizio applicativo. È conosciuto per la sua stabilità, semplicità di configurazione, estensibilità e consumo di risorse molto basso. Infatti:

- Contrariamente ai server tradizionali, non usa molteplici thread per gestire le richieste, ma si limita a un'architettura asincrona a eventi. In questo modo, riesce a gestire un numero alto di connessioni senza inficiare le prestazioni [8].
- Configurare il software per ottenere il comportamento desiderato diventa un processo relativamente semplice e intuitivo, limitandosi alla creazione di un file con estensione `.conf` con le clausole necessarie.
- NGINX permette di estendere le proprie funzionalità tramite la creazione di moduli attraverso il linguaggio *NJS* [9], che consiste in una versione ridotta di JavaScript.

Per queste ragioni NGINX è stato preferito ad altri software simili.

3.1.3 Docker

Docker [10] è una piattaforma che sfrutta la virtualizzazione a livello del sistema operativo per incorporare software in unità isolate chiamate *container*, includendo anche le sue dipendenze. L'obiettivo di un container è quello di facilitare la distribuzione di un applicativo software, consentendone l'esecuzione a prescindere dal sistema operativo in uso dall'utente.

Docker fornisce lo strumento *Compose* [11], che permette di orchestrare dei servizi singoli a più container, che comunicano fra loro su una rete privata. In questo modo è possibile creare facilmente una configurazione per lo schieramento dei sistemi in fase di produzione, nonché un ambiente di sviluppo avente funzionamento e struttura analoghi al sistema finale. Le caratteristi-

che dei container e i collegamenti fra questi vengono definite tramite un file di configurazione in formato YAML.

3.2 Implementazione dei componenti

L'intera struttura del sistema è definita attraverso il file di configurazione di Docker Compose. Ciò implica che ogni elemento è stato virtualizzato attraverso un container, che svolge il suo compito come un processo separato. La topologia delle relazioni rispecchia quanto mostrato nella Figura ??.

3.2.1 Sistema delle politiche di accesso

Il sistema di autorizzazione scelto in questo lavoro usa un approccio *Role-Based Access Control* (RBAC), in cui il controllo degli accessi si basa sui diritti associati al ruolo dell'utente. Altre tecniche di controllo degli accessi possono essere implementate cambiando le politiche. Nonostante ciò, questo approccio risulta quello più consono alla dimostrazione delle capacità di OpenPolicyAgent.

La descrizione dei ruoli e dei permessi associati a essi è mantenuta in uno o più file in formato JSON, descritti con una sintassi illustrata nel Codice 3.1. Ad ogni ruolo sono associate le operazioni che l'utente può svolgere.

```
1  "roles" : {  
2      "/dev" : [  
3          "retrieve",  
4          "submit"  
5      ],  
6      "/analyst" : [ "retrieve" ],  
7      "/admin" : [  
8          "retrieve",  
9          "submit",  
10         "report",  
11         "image_request"  
12     ],
```



```
13     "/moderator" : [ "report" ],
14     "/banned"   : []
15 }
```

Codice 3.1: Descrizione dei ruoli e dei loro relativi permessi in formato JSON.

Come già citato in precedenza, le politiche in OpenPolicyAgent sono definite attraverso il linguaggio Rego. L'unità base di una policy scritta in questo linguaggio è data dalla *regola*, che viene definita tramite una testa e un corpo contenuto in delle parentesi graffe.

```
1  import input.http_method as http_method
2  default allow = false #abilita il default deny
3
4  allow {
5      check_permission
6  }
7
8  check_permission {
9      all_permissions := data.roles[input.role][_]
10     all_permissions == input.operation
11 }
```

Codice 3.2: Policy in linguaggio Rego. L'operatore “:=” indica un assegnamento di valore, mentre “==” permette di confrontare l'uguaglianza fra i valori delle due variabili. L'indice “_” permette di considerare tutti i valori di una dimensione di un vettore.

Il corpo di una regola contiene delle assegnazioni, operazioni logiche, oppure riferimenti ad altre regole. Una regola assume valore “true” solo se tutte le clausole interne sono eseguibili e risultano vere, altrimenti le viene assegnata il valore “undefined”. Regole aventi stessa testa ma corpo diverso presentano come valore finale il risultato dato dall'OR logico fra i risultati di ciascuna di queste, con “undefined” che assume la stessa semantica di “false”. Le regole possono essere annidate facendo sì che il significato di una regola dipenda

dal valore di un'altra, in modo da formare una politica strutturata gerarchicamente.

La semplice politica mostrata nel Codice 3.2 è sufficiente a implementare un controllo degli accessi basato su RBAC. La riga 2 permette di simulare un comportamento “default deny”, facendo in modo che il valore di `allow` sia uguale a “false” nella situazione in cui le regole con tale testa siano “undefined”.

I confronti con collezioni di dati sono esprimibili in maniera concisa, come avviene nelle righe 9 e 10 del Codice 3.2. La variabile `all_permission` contiene tutti i permessi del ruolo specificato nella query in input. Se l'operazione svolta dall'utente risulta in questa collezione, allora il valore della regola sarà “true”. Per esempio, se OPA ricevesse una query con ruolo `/dev` e operazione “report”, la variabile `all_permission` conterrà i permessi “retrieve” e “submit” e il valore finale di `check_permission` risulterebbe “undefined”.

La risposta restituita al componente che ha interrogato OPA consiste in un messaggio in formato JSON contenente il valore delle regole alle radici dell'albero gerarchico, oppure di tutte le regole che hanno portato le radici ad avere valore “undefined”.

3.2.2 Reverse proxy

La scelta di inserire NGINX nel software stack è stata fortemente influenzata dagli strumenti che possiede per la realizzazione del reverse proxy.

Tra questi, NGINX fornisce la clausola `auth_request` che permette di fare appello a un sistema di decision-making in modo da valutare i diritti di accesso.

```
1      # operazione protetta
2      location /operation {
3          # appello al server di autorizzazione
4          auth_request /authz;
5          proxy_pass http://service_server_web;
6      }
```

```
7
8     # verifica l'autorizzazione
9     location /authz {
10         internal;
11         ...
12         # passiamo gli header settati
13         proxy_pass_request_headers on;
14
15         # sposta la gestione al modulo NJS
16         js_content auth_engine.authorize_operation;
17     }
18
19     # locazione dedicata all'invio dei dati a OPA
20     location /_opa {
21         internal;
22         proxy_pass http://opa:8181/;
23     }
```

Codice 3.3: Frammento di codice del reverse proxy. La locazione `/authz` gestisce e invia la richiesta a OPA, e in base alla sua risposta inoltra la richiesta o meno attraverso la keyword `proxy_pass`.

Una qualsiasi richiesta che accede a un endpoint avente prefisso `/operation` induce il reverse proxy a controllare se l'utente possiede effettivamente l'autorizzazione ad accedere a tale servizio. Possiamo interpretare la locazione `/operation` come quella associata alle risorse protette, che richiedono un controllo dell'accesso.

Attraverso il comando `auth_request /authz` alla riga 4 del Codice 3.3, il flusso di esecuzione passa immediatamente al codice associato all'endpoint `/authz`. In questa fase, la richiesta HTTP viene condotta nel modulo NJS dedicato alla creazione della query e alla trasmissione di essa verso il sistema delle politiche. La riga 16 del Codice 3.3 invoca questa funzionalità.

Il modulo NJS contiene il metodo `authorize_operation`, che raccoglie le informazioni dagli header e le trascrive in formato JSON. I dati sono quindi inseriti in un pacchetto HTTP, che verrà inviato all'endpoint `/_opa`, associato

alla comunicazione con il sistema delle politiche.

```
1    function authorize_operation(r) {
2
3        // dati da inviare a OPA
4        let opa_data = {
5            "operation" : r.headersIn["X-Operation"],
6            "role" : "/" + r.headersIn["X-Role"]
7        }
8
9        // pacchetto HTTP da inviare a OPA
10       var opts = {
11           method: "POST",
12           body: JSON.stringify(opa_data)
13       };
14
15       // gestisce la risposta di OPA
16       r.subrequest("/_opa", opts, function(opa_res) {
17
18           var body = JSON.parse(opa_res.responseText);
19
20           // se il body non c'e' o allow e'
21           // uguale a false, ritorna forbidden (403)
22           if (!body || !body.allow) {
23               r.return(403);
24               return;
25           }
26
27           // altrimenti, ritorna il codice dato da OPA
28           // (che e' 200 in caso non vi siano errori)
29           r.return(opa_res.status);
30       });
```

31 }

Codice 3.4: Frammento di codice del modulo NJS dedicato all'estrazione dei dati e all'invio di questi al sistema delle politiche di accesso. In questo stesso codice viene inoltre gestita la ricezione della risposta e si valuta la decisione contenuta in essa.

In base alla risposta del sistema di politiche, il reverse proxy inoltrerà il pacchetto originale al servizio applicativo con la keyword `proxy_pass`, oppure terminerà la gestione della richiesta. La parola chiave `internal` alle righe 10 e 21 del Codice 3.3 garantisce che le locazioni associate all'interrogazione di `OpenPolicyAgent` possano essere accedute esclusivamente da sottorichieste interne al reverse proxy.

L'uso di un modulo esterno è necessario poiché la clausola `auth_request` scarta il campo body della richiesta HTTP. Ciò implica che non è possibile inviare una richiesta contenente i dati della query nel suo corpo. Dunque, è essenziale l'aggiunta di un livello di indirectione che converta gli header HTTP in dati in formato JSON comprensibili da OPA.

3.2.3 Servizio applicativo

Come descritto nella Sezione 2.1.3, con servizio applicativo si intende un servizio qualsiasi che usufruisce in modo trasparente dell'infrastruttura di autorizzazione. Siccome questa fase del progetto si focalizza sullo sviluppo corretto dei componenti dedicati al filtraggio delle richieste, il servizio applicativo è dato da una API relativamente elementare.

L'API in questione ritorna una risposta generica con Status Code 200 se si accede correttamente all'endpoint `/operation`, mentre una richiesta a `/operation/image_request` permette lo scaricamento di un'immagine. Siccome queste locazioni presentano il prefisso "operation", il loro accesso comporta l'uso del sistema di autorizzazione.

La modalità web server di NGINX permette di implementare quanto appena descritto.

```
1      # invia 200 se si esegue l'operazione con successo
2      location /operation {
3          return 200;
4      }
5
6      # manda un'immagine al client
7      location /operation/image_request {
8          try_files $uri /test.jpg;
9      }
```

Codice 3.5: Frammento di codice del servizio applicativo che mostra le funzionalità associate agli endpoint.

Questa scelta ha facilitato lo sviluppo, permettendo di definire in poche righe di codice una API funzionante e adatta ai requisiti, come si può vedere nel Codice 3.5.

3.3 Cifratura SSL/TLS

Spesso un sistema di autorizzazione richiede a un utente delle informazioni sensibili per attuare il controllo degli accessi. Per proteggere il flusso dati da possibili intercettazioni è opportuno che la comunicazione fra il servizio e l'utente venga cifrata.

Il protocollo standard per la sicurezza delle comunicazioni in rete è *SSL/TLS*, che si basa sulla cifratura a chiave asimmetrica. Il suo funzionamento necessita dei certificati X.509 [12], che garantiscono che la chiave pubblica di un host appartenga effettivamente a esso.

Nel caso del progetto di questa tesi, solamente la connessione fra il reverse proxy e l'utente deve essere protetta, siccome nessun agente esterno all'infrastruttura possiede accesso diretto ai componenti. NGINX supporta le connessioni SSL/TLS attraverso alcune configurazioni esplicite.

```
1      server {
```

```
2      listen 443 ssl;
3      server_name servicecnaf.test.example;
4
5      ssl_certificate      certs/star.test.example.cert.pem;
6      ssl_certificate_key  certs/star.test.example.key.pem;
7      ...
8  }
```

Codice 3.6: Configurazione della comunicazione tramite SSL/TLS nel reverse proxy.

L'impostazione in NGINX del canale protetto avviene inserendo il parametro `ssl` nella definizione dei socket in ascolto del server. Il percorso del certificato pubblico e della chiave privata devono essere specificati rispettivamente nelle direttive `ssl_certificate` e `ssl_certificate_key`.

Il Codice 3.6 mostra il setup della protezione SSL/TLS all'interno del reverse proxy del sistema di autorizzazione. Allo stato attuale del progetto, i certificati sono dedicati esclusivamente al testing, quindi non sono rilasciati da una Certificate Authority valida. Va da sé che la sostituzione dei certificati stessi con una controparte ufficialmente verificata è un processo banale.

3.4 Testing

L'intera infrastruttura prende vita avviando i container di Docker Compose attraverso il comando `docker-compose up`. Per testare il sistema, è possibile inviare dei pacchetti HTTP al reverse proxy contenenti nel proprio header le informazioni necessarie per formulare una query.

cURL (o *curl*) [13] è il software principale usato in ambito di testing, siccome permette di inviare dati attraverso numerosi protocolli, tra cui anche HTTP. Questa metodologia è stata applicata in continuità durante lo sviluppo dell'intero progetto.

Capitolo 4

Implementation

Capitolo 5

Experimental Results and Analysis

Durante le fasi di sviluppo iniziali, il servizio collegato al sistema di autenticazione era dato da una API elementare e senza funzionalità significative. Tuttavia, per quanto un'impostazione simile possa essere utile ai fini dell'implementazione del sistema, non permette di valutare correttamente le caratteristiche di un proof-of-concept.

In questa sezione verrà mostrato il processo di interfacciamento del sistema con un servizio realistico e complesso, analizzando le modifiche necessarie per abilitare il controllo degli accessi nei suoi endpoint.

5.1 StoRM-Tape

STORAGE Resource Manager (StoRM) [23] è un insieme di servizi dedicati alla gestione della memoria di massa nei centri di computazione distribuita. Oltre a sistemi basati su dischi, gli storage di alcuni nodi della grid computazionale offrono anche un servizio di storage su nastro, che sono costituiti da una libreria di nastri etichettati con un codice a barre. Per accedere o modificare i dati di un file, un braccio robotico individua il relativo nastro e lo inserisce all'interno di un lettore.

Funzionalità	Descrizione
STAGE	Richiede che i file mantenuti su un determinato nastro siano resi disponibili sul disco rigido.
RELEASE	Indica che i file precedentemente resi disponibili non sono più richiesti.
ARCHIVEINFO	Richiede informazioni riguardo il progresso della scrittura dei file su nastro.

Tabella 5.1: Insieme delle operazioni fornite dalla specifica WLCG Tape REST API.

In relazione a questo, *StoRM-Tape* è una componente middleware sviluppata attivamente dalla sezione di Software Development dell'INFN CNAF, che nella data di scrittura di questa tesi è in fase di proof-of-concept. Consiste in un'implementazione della specifica WLCG Tape REST API [24], che offre un'interfaccia comune per permettere ai client di gestire la residenza dei dati mantenuti negli storage dati basati sui nastri dei grid.

Le funzionalità principali fornite dall'API sono illustrate nella Tabella 5.1. Ai comandi **STAGE** e **ARCHIVEINFO** è associato un endpoint, che si comporta in modo diverso in base al metodo HTTP della richiesta inviata a esso. Ad esempio, la funzionalità **RELEASE** si ottiene inviando una richiesta con metodo **DELETE** all'endpoint `/stage`.

5.2 Interfacciare il sistema con il servizio

L'interfacciamento del sistema con il servizio richiede delle alterazioni alla configurazione del reverse proxy. In particolare, il modulo NJS adibito all'invio delle informazioni a OpenPolicyAgent deve analizzare l'endpoint e il metodo della richiesta per determinare il tipo di operazione che l'utente sta svolgendo.

La prima modifica consiste nel cambiamento della location “protetta” che porta a un controllo dell’accesso, facendo sì che rifletta la locazione associata all’API di StoRM-Tape.

Il metodo HTTP e l’URI della richiesta sono reperibili attraverso delle variabili built-in di NGINX e assegnabili a delle variabili generiche, in modo simile a quanto svolto nel Codice ?? per l’estrazione delle informazioni dai VOMS Proxy. In questo modo, il modulo NJS potrà accedere ai due dati, che permettono di stabilire il carattere dell’operazione richiesta dall’utente. Il processo di creazione della query e il suo invio al sistema delle politiche rimane inalterato dal modulo originale.

Le regole delle politiche di OPA non richiedono modifiche, purché si voglia mantenere un controllo degli accessi basato su RBAC. Ciò implica che è possibile usare JWT e VOMS Proxy per autorizzare il client, senza l’aggiunta di ulteriori funzioni.

Va da sé che il database contenente le informazioni sui ruoli deve essere riscritto in modo da essere coerente con le funzionalità che fornisce StoRM-Tape.

5.2.1 Risultati

Le modifiche richieste per proteggere il servizio tramite il sistema di autorizzazione sono poche e non influenzano in modo significativo le politiche d’accesso. Questo fatto dimostra la versatilità del sistema, siccome richiede poche alterazioni per essere compatibile con un servizio di carattere molto diverso da quello iniziale.

Capitolo 6

Conclusion and Future Work

Nei capitoli precedenti è stato illustrato l'intero processo di realizzazione del sistema, partendo dalla progettazione architetturale ed evolvendolo gradualmente tramite l'aggiunta di nuove funzionalità, che includono il supporto alla comunicazione crittografata e a differenti tecnologie di autenticazione.

Il Capitolo 5 ha mostrato la facilità con cui questo sistema riesce a integrarsi con un servizio già esistente, senza richiedere una riprogrammazione totale dei componenti, ma modificando il modulo dedicato alla formattazione dei dati.

Nel presente capitolo verranno espone alcune proposte di sviluppi futuri emerse durante l'implementazione, assieme a una riflessione sui risultati a progetto realizzato.

6.1 Sviluppi futuri

Il progetto esposto in questa tesi fornisce una buona base per la creazione di un sistema di autorizzazione in cui il carico del processo di decision-making è affidato a un componente esterno.

Nonostante ciò, sono molte le possibilità per cui quanto è stato creato può essere esteso e migliorato.

6.1.1 Modifica delle policy dall'esterno

OpenPolicyAgent è uno strumento molto affascinante e con questo progetto abbiamo appena scalfito la superficie delle possibilità che offre.

Uno degli aspetti particolarmente interessanti potrebbe essere lo sviluppo di un'estensione del sistema per consentire la modifica delle policy connettendosi all'infrastruttura da una rete esterna. Come è stato illustrato nella Sezione 3.1.1, infatti, OPA fornisce una API che espone degli endpoint CRUD, in modo da permettere la modifica, l'inserimento e l'eliminazione delle regole “on the fly”.

Un'estensione del genere abiliterebbe un qualsiasi utente privilegiato a modificare le regole con estrema convenienza.

Seguendo questo principio, una possibile implementazione potrebbe impiegare l'uso di policy di OPA per applicare un controllo degli accessi riguardo la modifica delle policy stesse, il che rappresenterebbe un caso di studio decisamente interessante.

6.1.2 Controllo degli accessi basato su capability

In un approccio al controllo degli accessi *capability-based*, un utente possiede una lista di oggetti o risorse con una descrizione dei permessi associati a ciascuno di essi, chiamata *capability*. Quando un client vuole accedere a un determinato servizio mostra a esso la rispettiva *capability*, e il servizio consentirà al client di eseguire le operazioni che rispettano i permessi elencati in questa. Un esempio classico è l'associazione metaforica fra una *capability* e una chiave che apre una porta, dove la porta è la risorsa alla quale si vuole accedere.

Più volte in questa tesi si è fatto riferimento al fatto che il sistema, per come è stato impostato, implementa una tecnica di controllo degli accessi RBAC, ossia basata sui ruoli.

Nonostante ciò, le politiche possono essere riscritte per ottenere un sistema di autorizzazione con un approccio *capability-based*.

Questa estensione sarebbe inoltre agevolata dal fatto che i JWT forniti da WLCG supportano un sistema del genere. Il claim `scope` [19], infatti, è riservato al mantenimento delle capability dell'utente a cui il token è associato.

6.1.3 Accesso diretto a OpenPolicyAgent da parte del servizio applicativo

Un possibile miglioramento alla topologia del sistema consiste nella riconfigurazione del servizio applicativo per permettere di accedere al sistema delle politiche quando è necessario un controllo dell'accesso da parte dell'applicazione.

In questo modo, l'eventuale processo di autorizzazione interno al servizio sarebbe anch'esso gestito da OpenPolicyAgent, che incapsulerebbe tutte le politiche e le regole di accesso dell'infrastruttura.

6.2 Osservazioni finali

L'obiettivo fondamentale di un proof-of-concept consiste nel dimostrare la realizzabilità di un sistema, e da questo punto di vista mi ritengo soddisfatto del risultato finale ottenuto. L'infrastruttura ricalca l'obiettivo posto da questa tesi, realizzando un controllo efficace degli accessi e interfacciandosi con poche modifiche ad altri servizi.

Vorrei infine dedicare queste ultime righe per esporre alcuni momenti importanti della mia esperienza personale nella concretizzazione del progetto.

Ho avuto il piacere di avere un piccolo spazio “mio” in un centro di ricerca, e di ricevere consigli e supporto da persone eccellenti per know-how, che mi hanno fatto sentire “collega”.

Grazie a questa tesi, sono entrato in contatto con il mondo della computazione distribuita, che prima mi era totalmente estraneo. È stato molto interessante osservare i meccanismi che coinvolgono l'esecuzione di batch job:

non dimenticherò mai la quantità di rumore prodotta dai pod.

Infine, questa tesi mi ha dato l'opportunità di mettere alla prova quanto avevo imparato durante questi anni di corso e trasformarli in competenze “sul campo”: ritengo che questa esperienza sia stata fondamentale per il mio percorso da studente di Informatica.

Bibliografia

- [1] WLCG, *WLCG*, <https://wlcg.web.cern.ch/>.
- [2] CERN, *The Large Hadron Collider*, <https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>.
- [3] INFN CNAF, *Calcolo - INFN-CNAF*, <https://www.cnaf.infn.it/calcolo/>.
- [4] OpenPolicyAgent, *OpenPolicyAgent*, <https://www.openpolicyagent.org/>.
- [5] OpenPolicyAgent, *Policy Language*, <https://www.openpolicyagent.org/docs/latest/policy-language/>.
- [6] OpenPolicyAgent, *OPA REST API* <https://www.openpolicyagent.org/docs/latest/rest-api/>.
- [7] Nginx, Inc., *NGINX*, <https://www.nginx.com/>.
- [8] Nginx, Inc., *NGINX Documentation*, <https://nginx.org/en/docs/>.
- [9] NGINX, *njs scripting language*, <https://nginx.org/en/docs/njs/>.
- [10] Docker, *Docker*, <https://www.docker.com/>.
- [11] Docker, *Compose*, <https://docs.docker.com/compose/>.
- [12] IETF, *RFC 3820*, <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3820.html>.
- [13] Daniel Stenberg, *cURL*, <https://curl.se/>.

- [14] IETF, *RFC 7519*, <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7519>.
- [15] IETF, *RFC 6749*, <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6749>.
- [16] OpenID, *OpenID Connect*, <https://openid.net/connect/>.
- [17] auth0, *Single Sign On*, <https://auth0.com/docs/authenticate/single-sign-on>.
- [18] Indigo-DC, *oidc-agent*, <https://github.com/indigo-dc/oidc-agent>.
- [19] Mine Altunay, Brian Bockelman, Andrea Ceccanti, et al., *WLCG Common JWT Profiles*, 2019, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3460258>.
- [20] CERN, *A quick introduction to VOMS*, https://twiki.cern.ch/twiki/pub/LCG/LhcbPage/A_quick_introduction_to_VOMS.pdf.
- [21] INFN CNAF SD, *VOMS Client Guide*, <https://italiangrid.github.io/voms/documentation/voms-clients-guide/3.0.3/>.
- [22] INFN CNAF Software Development, *NGINX HTTP VOMS Module*, https://baltig.infn.it/storm2/nginx_http_voms_module/.
- [23] Riccardo Zappi, *Understanding StoRM*, <https://agenda.cnaf.infn.it/getFile.py/access?contribId=2&resId=1&materialId=slides&confId=305>.
- [24] WLCG, *WLCG Tape API*, <https://indico.cern.ch/event/1026385/contributions/4309594/attachments/2301962/3915769/WLCG%20Tape%20REST%20API%20reference%20document.pdf>.

Acknowledgements

Ringrazio il professor Ozalp Babaoglu per la sua disponibilità come relatore, nonostante fosse prossimo alla pensione. Sono molto grato di essere uno dei suoi ultimi tesisti della sua carriera. I suoi contributi nell'ambito dei sistemi operativi sono inestimabili.

Ringrazio il professor Francesco Giacomini, per avermi dato l'accesso a una delle esperienze formative più importanti della mia vita. Lo ringrazio inoltre per avermi assistito attentamente nello sviluppo del progetto e nella scrittura di questa tesi. Grazie anche per la tua pazienza nei miei confronti.

Ringrazio tutto il personale dell'INFN CNAF per aver reso l'esperienza ancora più gradevole e per avermi fatto visitare il centro di calcolo, trattandomi sempre come se fossi un loro collega.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, per avermi sempre dato la spinta di andare avanti e per credere in me, senza negarmi mai nulla.

Ringrazio tutti gli amici che ho conosciuto nel corso durante questi tre anni: Leon, Drif, Giaco, Baldo, Adriano, Donnoh, Vir, Matteo, Pino, Denis, Samuele, Alice e tanti altri. Non avrei potuto chiedere dei compagni migliori.

Infine, ringrazio Leti, per essermi stata accanto nei momenti più bui e avermi dato tutto l'affetto che esiste in questo mondo, anche quando non me lo meritavo.