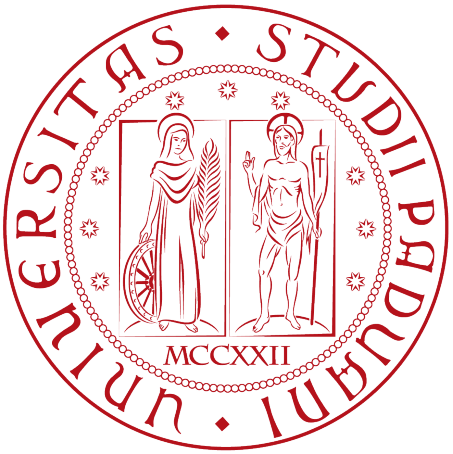
Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Matematica "Tullio Levi-Civita"

Corso di Laurea in Informatica



Integrazione di Single Sign-On in Unix Pluggable Authentication Module (Linux PAM)

Tesi di laurea

Relatore

Prof. Davide Bresolin

Laureando

Ivan Antonino Arena

Anno Accademico 2022-2023

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit.

— Oscar Wilde

Dedicato a ...

Abstract

Lo scopo della tesi è illustrare il lavoro eseguito con Athesys, system integrator specializzato nello sviluppo di soluzioni di Identity and Access Management (IAM), in termini di innovazione e ricerca applicate all'ambito dell'integrazione di servizi web con sistemi unix-based. Nello specifico, si discute la collaborazione con il team infrastructure ed il team dedicato alla ricerca in materia di identità digitale e la conseguente realizzazione di un componente Single Sign-On compatibile con Unix Pluggable Authentication Module (Linux PAM).

"Life is really simple, but we insist on making it complicated"

— Confucius

Ringraziamenti

Innanzitutto, vorrei esprimere la mia gratitudine al Prof. Davide Bresolin, relatore della mia tesi, per l'aiuto e il sostegno fornitomi durante la stesura del lavoro.
In secondo luogo, vorrei ringraziare di cuore l'azienda ospitante, Athesys Srl, in particolare, il mio tutor esterno Mattia Zago, Roberto Griggio e Leonardo Speranzon, per la disponibilità e l'impegno con cui mi hanno affiancato durante il periodo di stage.

Desidero, inoltre, ringraziare con affetto i miei genitori per avermi appoggiato in ogni mia scelta durante il mio periodo universitario e per avermi fornito il supporto ed i mezzi per portarlo a termine con serenità.

Infine, ci terrei a ringraziare tutte le amicizie più significative che ho stretto a Padova, che mi hanno regalato gioie e sorrisi durante questi tre emozionanti anni.

Padova, Maggio 2023 Ivan Antonino Arena

Indice

Elenco delle figure

Elenco delle tabelle

Capitolo 1

Introduzione

In questo capitolo vengono descritti l'azienda ospitante ed il progetto dell'attività di stage curriculare.

1.1 L'azienda

Athesys Srl è un'azienda di consulenza informatica nata a Padova nel 2010 "dalla sinergia di affermati professionisti del settore IT", specializzata in ambito System Integration, Database Management, Sicurezza applicativa, Governance Cloud Platform, Hyperconvergenza e Sviluppo Software in modalità Agile.

Athesys comprende la start-up Monokee, fondata nel 2017 come soluzione cloud-based per la gestione dell'identità e dell'accesso (IDaaS), la quale offre, come funzionalità principale, un sistema di Single Sign-On basato su diversi tipi di autenticazione, sia passwordless che tramite soluzioni di Self-Sovereign Identity (SSI).

Figura 1.1: Logo di Athesys Srl

Figura 1.2: Logo di Monokee

1.2 Il progetto

L'idea per l'attività di stage nasce proprio dall'esigenza dell'azienda di aumentare la portata di Monokee estendendo il relativo Single Sign-On anche a livello macchina, per poter, successivamente, configurare dei terminali che possano gestire accesso e sessioni degli utenti Monokee già da sistema.

L'obiettivo del progetto del tirocinio era, dunque, era la ricerca e l'eventuale sviluppo di una soluzione che consentisse di accedere a macchine UNIX Debian-like e RHEL-like tramite il proprio account Monokee in modo nativo, sfruttando l'infrastruttura di Single Sign-On fornita dalla start-up.

Il framework da utilizzare era FreeIPA, un gestore delle identità e degli accessi (Identity and Access Management, IAM) gratuito ed open-source che combina tecnologie quali Linux, LDAP, MIT Kerberos, NTP, DNS ed SSSD e consta di un'interfaccia web e di strumenti di amministrazione tramite command-line.

L'attività, dalla durata totale di circa trecento ore, si è sviluppata inizialmente in un fase di ricerca e sperimentazione con l'installazione del software FreeIPA su più macchine virtuali CentOS, RHEL e Ubuntu, messe a disposizione dall'azienda.

La seconda fase è stata dedicata alla ricerca di un metodo che consentisse di effettuare l'autenticazione con il proprio account Monokee su tali macchine; in tal senso, è stata approfondita la parte relativa a Linux PAM (Pluggable Authentication Modules) per studiare la possibilità dello sviluppo di un modulo aggiuntivo.

In seguito a tale ricerca, ho deciso di optare per il sistema di autenticazione tramite Identity Provider esterno messo a disposizione dall'applicativo di FreeIPA e di procedere, dunque, con la configurazione di un'applicazione Monokee OAuth2 e di un provider OpenID Connect (OIDC) che fornissero gli end-point e l'infrastruttura necessaria alla comunicazione con il server di FreeIPA e la successiva implementazione degli stessi su di esso.

Verificato il corretto funzionamento di questo sistema di autenticazione da Command-Line Interface (CLI), ho proseguito cercando di implementare questo sistema anche tramite SSH fino al raggiungimento delle ore previste.

Capitolo 2

Processi e metodologie

In questo capitolo vengono descritte le modalità con cui si è svolto lo stage e le tecnologie utilizzate.

2.1 Organizzazione del lavoro

Il lavoro è stato svolto in parte a tempo parziale ed in parte a tempo pieno, data la concomitanza con il progetto di laboratorio del corso di Ingegneria del Sofware.

Il piano di lavoro dello stage individuava tre periodi principali:

* Un periodo di formazione sulle tecnologie utilizzate, della durata totale prevista di 80 ore e suddiviso in tre macro-categorie relative rispettivamente all'SSO, all'SSI e a FreeIPA/Linux PAM;
* Un periodo riservato alle integrazioni software, della durata totale prevista di 200 ore;
* Un periodo di stesura di documentazione relativa allo stage e alla tesi, della durata totale prevista di 20 ore.

2.2 Tecnologie utilizzate

2.2.1 FreeIPA

FreeIPA è una soluzione open-source gratuita (GNU General Public License) di gestione dell'identità e dell'accesso per ambienti di rete basati su Linux/UNIX, originariamente sviluppato dalla comunità Fedora ed ora supportato da diverse organizzazioni, tra cui Red Hat e la FreeIPA Foundation. Consiste in un insieme di servizi integrati, che consentono di centralizzare l'autenticazione, l'autorizzazione e la gestione degli utenti e delle risorse in un'organizzazione.

FreeIPA è progettato per semplificare la gestione dell'identità e dell'accesso in ambienti di rete complessi, con molti utenti e computer. Consente agli amministratori di gestire facilmente l'accesso degli utenti a risorse e applicazioni, di delegare i privilegi di amministrazione e di definire ed applicare politiche di sicurezza coerenti in tutta la rete, come, ad esempio, limitare l'accesso alle risorse in base al ruolo dell'utente. Per

fare ciò, mette a disposizione, oltre che agli strumenti della CLI, un'interfaccia utente web intuitiva per la gestione degli utenti, dei gruppi e delle risorse della rete. Inoltre, FreeIPA è altamente scalabile e può essere distribuito su più server per gestire grandi reti.

Per l'autenticazione degli utenti, FreeIPA utilizza il protocollo Kerberos: gli utenti possono accedere alle risorse della rete utilizzando le loro credenziali Kerberos, senza dover inserire le password ogni volta. Per archiviare e gestire le informazioni sugli utenti, i gruppi e le risorse della rete, invece, utilizza il server di directory open-source 389 Directory Server, il quale offre funzionalità avanzate di ricerca, replica e sincronizzazione.

FreeIPA supporta l'autenticazione SSO tramite il protocollo SAML (Security Assertion Markup Language), ciò significa che gli utenti possono accedere a più applicazioni utilizzando le stesse credenziali di accesso.

2.2.2 LXC

LXC è l'acronimo di Linux Containers, un sistema di virtualizzazione basato sul kernel Linux che consente di eseguire più sistemi operativi isolati su una singola macchina host. A differenza della virtualizzazione completa, in cui ogni sistema operativo guest ha accesso all'intero hardware dell'host,

Utilizza la virtualizzazione basata sui contenitori, in cui ogni sistema operativo guest condivide le risorse hardware dell'host. La condivisione del kernel fa sì che i container siano molto leggeri e veloci e che abbiano un overhead di risorse molto basso rispetto ad altre tecnologie di virtualizzazione.

LXC fornisce un'interfaccia di riga di comando per la gestione dei container, che consente di creare, avviare, fermare, eliminare e gestire i container in modo semplice ed efficiente. Inoltre, supporta la creazione di immagini di container, che possono essere utilizzate per creare nuovi container in modo rapido e semplice.
Durante l'attività di stage ho utilizzato principalmente container basati su immagini CentOS (Community Enterprise Operating System), una distribuzione Linux basata su Red Hat Enterprise Linux (RHEL) particolarmente adatta all'uso in ambiente server, che offre una vasta gamma di funzionalità e strumenti per gestire un'infrastruttura IT.

In particolare, ho utilizzato l'ultima versione (9) di CentOS Stream, che, a differenza della versione standard, riceve gli aggiornamenti in tempo reale durante lo sviluppo di RHEL, consentendo agli utenti di testare e fornire feedback sulle nuove funzionalità e correzioni di bug in anteprima.

Un'altra differenza tra CentOS e CentOS Stream è la durata del supporto: CentOS ha, storicamente, fornito un supporto a lungo termine per le versioni rilasciate; la versione Stream, al contrario, è progettata per essere una piattaforma di sviluppo in continuo aggiornamento e non offre, dunque, il supporto a lungo termine.

2.2.3 SSH

Secure Shell (SSH) è un protocollo di rete crittografato utilizzato per la gestione sicura di dispositivi di rete e per l'accesso remoto a sistemi informatici. Il protocollo SSH fornisce un canale di comunicazione sicuro tra due dispositivi, garantendo l'integrità, la riservatezza e l'autenticità delle informazioni trasmesse.

L'autenticazione avviene attraverso l'uso di chiavi pubbliche e private: in questo metodo, un'entità che desidera accedere a un sistema remoto genera una coppia di chiavi, una pubblica e una privata; la chiave pubblica viene fornita al sistema remoto,

mentre la chiave privata viene conservata dall'entità; quando l'entità si connette al sistema remoto, la chiave privata viene utilizzata per autenticare l'entità.

Inoltre, SSH utilizza la crittografia per proteggere i dati trasferiti tra i dispositivi. In particolare, il protocollo utilizza la crittografia a chiave simmetrica per proteggere i dati durante la trasmissione, e la crittografia a chiave pubblica per autenticare le parti coinvolte.

Capitolo 3

Studio tecnologico

In questo capitolo vengono illustrati nel dettaglio i concetti e le tecnologie utlizzate.

3.1 Single Sign-On

Il Single Sign On (SSO) è una tecnologia che consente agli utenti di accedere a più applicazioni e servizi utilizzando un'unica identità di accesso. In pratica, l'utente inserisce le proprie credenziali di accesso una sola volta e successivamente può accedere a tutte le applicazioni e servizi che supportano l'SSO senza dover inserire nuovamente le credenziali, alternativamente a come accade con l'autenticazione tradizionale. Ciò può risultare particolarmente vantaggioso se l'utente necessita di accedere a molte applicazioni o servizi diversi.

L'SSO funziona attraverso l'utilizzo di un'autorità di autenticazione centralizzata, chiamata Identity Provider (IdP). L'IdP autentica l'utente e fornisce un token di sicurezza che contiene le informazioni sull'utente e sui servizi a cui ha accesso. Questo token può essere utilizzato per accedere a tutti i servizi che supportano tale sistema.

Per utilizzare l'SSO, le applicazioni e i servizi devono supportare uno dei protocolli SSO standard, come SAML (Security Assertion Markup Language) o OpenID Connect. Questi protocolli definiscono il modo in cui le informazioni di autenticazione dell'utente vengono trasmesse tra le diverse applicazioni e servizi.

L'SSO offre, dunque, numerosi vantaggi, tra cui una maggiore comodità per gli utenti, una maggiore sicurezza attraverso l'utilizzo di token di sicurezza a breve termine e una maggiore efficienza nella gestione delle identità e delle autorizzazioni degli utenti. Tuttavia, l'SSO richiede una pianificazione e una configurazione adeguata per garantire la sicurezza e la protezione dei dati degli utenti.

3.2 Self-Sovereign Identity

L'SSI (Self-Sovereign Identity) è un nuovo approccio alla gestione delle identità digitali che consente agli utenti di possedere, controllare e condividere le proprie informazioni di identità in modo sicuro e privato. A differenza dei sistemi di identità tradizionali, in cui le informazioni di identità sono conservate in modo centralizzato da terze parti, l'SSI consente agli utenti di essere i proprietari esclusivi dei propri dati di identità digitali.

L'SSI si basa sulla tecnologia blockchain, che consente di creare registri distribuiti di informazioni sicure e immutabili. In tal modo, le informazioni di identità degli utenti vengono conservate in modo decentralizzato e sicuro, senza la necessità di un'autorità centralizzata di controllo.

Per utilizzare l'SSI, gli utenti creano un'identità digitale che include le informazioni di identità necessarie, come nome, indirizzo e informazioni di contatto. Questa identità digitale viene conservata sulla blockchain e protetta da una chiave privata unica, che solo l'utente possiede.

Gli utenti possono utilizzare la propria identità digitale SSI per accedere a servizi online e condividere le proprie informazioni di identità solo con le parti che desiderano. Questo viene fatto attraverso l'utilizzo di un protocollo di scambio di informazioni sicuro e decentralizzato, chiamato DID (Decentralized Identifier).

L'SSI offre numerosi vantaggi, tra cui un maggiore controllo e privacy per gli utenti rispetto ai sistemi di identità tradizionali, una maggiore sicurezza attraverso l'utilizzo della tecnologia blockchain e una maggiore efficienza nella gestione delle identità digitali. Tuttavia, è ancora una tecnologia emergente e richiede una maggiore adozione e sviluppo per diventare un approccio mainstream alla gestione delle identità digitali.

3.3 OAuth2

OAuth2 è un protocollo di autorizzazione che consente a un'applicazione di accedere alle risorse di un utente senza richiedere le credenziali dell'utente - e, di conseguenza, senza memorizzarle - nato per assicurare l'accesso sicuro e controllato ai dati di un utente da parte di applicazioni di terze parti.

Funziona attraverso una serie di flussi di autorizzazione, in cui l'utente concede l'autorizzazione all'applicazione per accedere alle sue risorse. L'applicazione, a sua volta, ottiene un token di accesso che può essere utilizzato per accedere alle risorse dell'utente.

Il protocollo OAuth2 è utilizzato da molte grandi piattaforme online come Google, Facebook e Twitter ed è diventato, di fatto, uno standard nei servizi cloud, nei social network, nei servizi di pagamento online e in molti altri contesti.

3.4 OpenID Connect

OpenID Connect (OIDC) è un protocollo di autenticazione basato su OAuth2, utilizzato per l'autenticazione degli utenti in applicazioni web e mobile. Progettato per risolvere il problema dell'autenticazione sicura e decentralizzata in applicazioni di terze parti, consente agli utenti di utilizzare l'SSO per accedere a diverse applicazioni, senza, quindi, dover creare un nuovo account per ogni applicazione, bensì delegando l'autenticazione ad un provider esterno (OpenID Provider).

OIDC fornisce un framework standard per l'autenticazione basata su JSON Web Tokens (JWT), in cui l'utente viene autenticato una sola volta e poi viene rilasciato un token di accesso contenente le informazioni di base dell'utente, come l'identificatore univoco, il nome e l'e-mail, che può essere utilizzato per accedere alle risorse protette.

Questo protocollo è stato adottato da molte grandi piattaforme online, tra cui Google, Microsoft e Amazon ed è anche supportato da molte librerie di sviluppo, caratteristica che lo rende semplice da implementare per gli sviluppatori.

3.5 Linux PAM

Linux PAM (Pluggable Authentication Modules) è un framework di autenticazione per i sistemi operativi Linux e UNIX che consente di configurare diversi metodi di autenticazione, come quella tramite password, a due fattori, basata su token, biometrica, ecc.

Utilizzato in una vasta gamma di applicazioni e servizi, tra cui il sistema di login del sistema operativo ed il server SSH, il framework di PAM è composto da una serie di moduli, ognuno dei quali implementa una particolare funzionalità di autenticazione. I moduli PAM sono progettati per essere "pluggable", ovvero possono essere facilmente sostituiti o aggiunti senza dover modificare il codice sorgente del sistema operativo.

L'architettura modulare di PAM consente di creare una catena di moduli, in cui ciascuno dei quali può verificare una parte dell'identità dell'utente. Ad esempio, un modulo può verificare la password dell'utente, mentre un altro può verificare il certificato del client. Se uno qualsiasi dei moduli nella catena fallisce, l'intero processo di autenticazione viene interrotto. Inoltre, è possibile sviluppare dei moduli personalizzati ed integrarli nelle diverse funzioni che richiedono PAM.

3.6 IAM

IAM, acronimo di Identity and Access Management, è un insieme di processi, politiche, tecnologie e strumenti utilizzati per gestire l'identità digitale e il controllo degli accessi agli utenti all'interno di un'organizzazione. L'obiettivo principale di IAM è garantire che le persone giuste abbiano accesso alle risorse appropriate al momento opportuno, in modo sicuro e conforme alle politiche aziendali.

Alcune delle funzionalità chiave di IAM includono la gestione centralizzata delle identità, la gestione dei ruoli e delle politiche di accesso, la gestione delle password, la gestione delle sessioni, la federazione dell'identità per consentire l'accesso a risorse esterne e l'integrazione con sistemi e applicazioni esistenti.

IAM consente anche di implementare il principio del "least privilege", che significa assegnare agli utenti solo i privilegi necessari per svolgere il proprio lavoro, minimizzando così il rischio di abusi o accessi non autorizzati.

L'implementazione di un sistema IAM efficace può portare a numerosi benefici per un'organizzazione, come una maggiore sicurezza dei dati, la conformità normativa, una migliore gestione delle risorse IT, una riduzione dei rischi e un'efficienza operativa migliorata.

3.7 IDaaS

IDaaS, acronimo di Identity as a Service, è un modello di distribuzione dei servizi di gestione delle identità basato su cloud. Con IDaaS, un'organizzazione può affidare la gestione delle identità dei propri utenti a un provider di servizi esterno, eliminando la necessità di mantenere un'infrastruttura locale per la registrazione degli utenti, l'autenticazione e l'autorizzazione degli utenti, la gestione delle password e la gestione delle sessioni.

I servizi IDaaS sono solitamente forniti come un'offerta di software as a service (SaaS), accessibili tramite internet e scalabili in base alle esigenze dell'organizzazione. I provider di servizi IDaaS gestiscono l'infrastruttura necessaria per garantire la sicurezza, la disponibilità e le prestazioni dei servizi di gestione delle identità.

Tra le funzionalità comuni offerte dai servizi IDaaS ci sono l'integrazione con directory aziendali esistenti, la possibilità di supportare l'autenticazione a fattori multipli, l'autenticazione federata per consentire l'accesso a risorse esterne all'organizzazione e la gestione centralizzata delle autorizzazioni degli utenti.

Utilizzando IDaaS, le organizzazioni possono beneficiare di diversi vantaggi, tra cui una maggiore agilità nell'onboarding e nella gestione degli utenti, un'esperienza utente migliorata grazie a un'unica identità digitale per l'accesso a più servizi, una maggiore sicurezza grazie all'implementazione di misure di autenticazione avanzate e un risparmio sui costi e sulla complessità operativa associata alla gestione delle identità.

Capitolo 4

Configurazione dei sistemi

In questo capitolo vengono descritti i procedimenti attuati per configurare i sistemi utilizzati.

4.1 Configurazione ambienti virtuali

Avendo familiarità con Ubuntu ho, inizialmente, verificato che il pacchetto del server di FreeIPA fosse presente: ho presto appreso che esso era discontinuo sulle ultime versioni del sistema operativo.

Così, ho deciso di optare per CentOS Stream 9, ultima versione disponibile, per l'ottima compatibilità con FreeIPA e la migliore usabilità in ambienti server.

A questo punto, con l'aiuto del team di Athesys Srl, ho configurato LXC sulla mia macchina Ubuntu 22.04 LTS.

Tramite il comando `lxc-create -t download -n ipa-server`, ho creato un nuovo container con il nome di *ipa-server* indicando di voler scaricare il template dalla lista di quelli disponibili, dalla quale ho scelto l'immagine di CentOS Stream 9 (Figura 4.1).

Dopo la creazione della macchina ho lanciato i comandi `lxc-start ipa-server` e `lxc-console ipa-server`, rispettivamente per avviare il container e per accedere al relativo terminale.

4.2 Configurazione FreeIPA

Dopo aver configurato il container per il server ed aver eseguito l'aggiornamento dei pacchetti con il comando `yum update`, sono passato all'installazione del server di FreeIPA, disponibile su quella release con il pacchetto *freeipa-server*.

4.3 Configurazione Monokee

Al mio arrivo negli uffici di Athesys Srl, l'azienda aveva già configurato per me un account sulla loro piattaforma di testing, *test.monokee.com*, utilizzando come e-mail il mio indirizzo istituzionale e garantendomi l'accesso a tutte le risorse della piattaforma, oltre che alla documentazione aziendale.

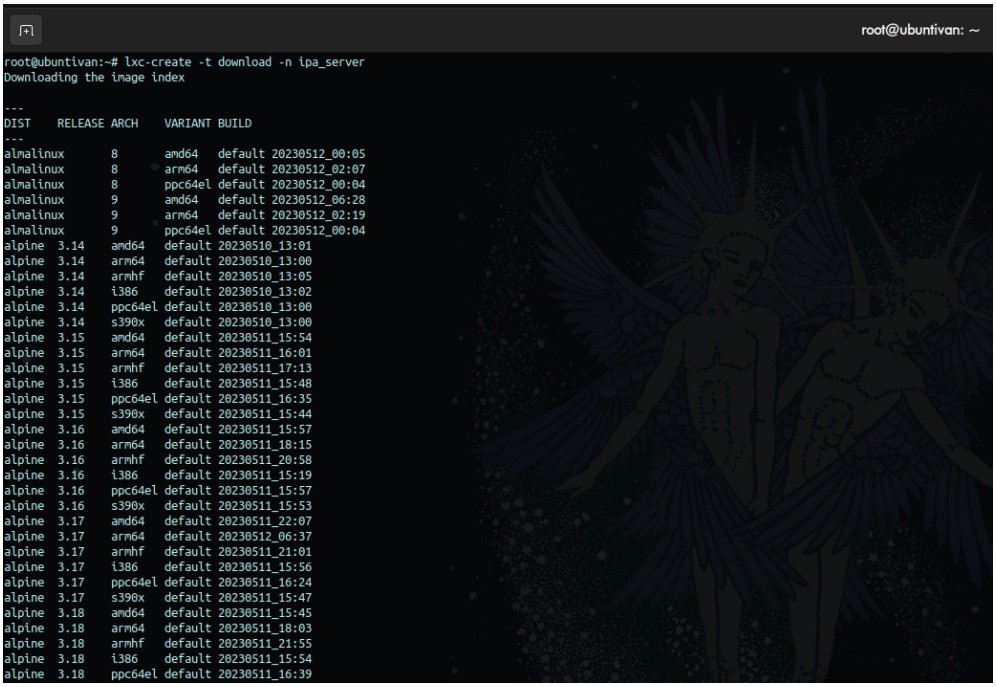


Figura 4.1: Vista parziale del template download di LXC

Capitolo 5

Ricerca e sperimentazione

In questo capitolo viene descritto il processo di ricerca e sperimentazione di una soluzione efficace per l'implementazione dell'SSO nativo

5.1 Linux PAM

La prima idea che ho avuto per integrare il Single Sign-On di Monokee via SSH sul container CentOS che ho predisposto è stata quella di creare un nuovo modulo PAM. Ciò perché, studiando i file presenti al percorso `/etc/pam.d/` ho trovato il file `sshd`, che stabilisce i moduli da utilizzare per autenticazione, autorizzazione, sessione e gestione della password. In un primo momento mi sono concentrato sulla parte di autenticazione, controllando il file di configurazione `common-auth`, incluso in `/etc/pam.d/sshd`, che rappresenta l'autenticazione predefinita di UNIX (con password memorizzata localmente).

Tuttavia, l'installazione di FreeIPA sovrascrive il parametro `UsePam yes` del file `/etc/ssh/sshd_config` anteponendo dei parametri relativi a Kerberos, in modo da potersi autenticare con la password dell'utente FreeIPA specificato nel prefisso della macchina nel comando di SSH.

La mia idea era, dunque, quella di rimuovere questi parametri e tornare all'autenticazione via PAM, sostituendo però il modulo predefinito con uno creato appositamente per l'SSO di Monokee.

Il problema restava quello del riconoscimento dell'utente ma avevo già pensato a diversi modi in cui poterlo risolvere, così ho deciso di proseguire e sperimentare con lo sviluppo di un modulo PAM di test, per verificare la fattibilità della mia intuizione.

5.1.1 Sviluppo del modulo PAM

Dapprima, ho deciso di sviluppare una semplice applicazione PAM-aware,ovvero compatibile con Linux PAM, utilizzando il linguaggio C e facendo riferimento alla documentazione trovata.

Successivamente, ho sviluppato il modulo PAM di prova e l'ho impostato come metodo di autenticazione per l'SSH con il seguente procedimento: prima di tutto, ho modificato il file di configurazione `/etc/ssh/sshd_conf` disattivando il parametro `Set PasswordAuthentication` ed attivando il parametro `Set UsePAM`; in seguito, ho modificato il file di configurazione dei moduli PAM da utilizzare per il servizio SSH,

`/etc/pam.d/sshd`, commentando tutte le righe che facevano riferimento all'autenticazione ed inserendo una riga con il nome del modulo di prova che ho sviluppato, etichettato come `auth sufficient`, indicando che era sufficiente ottenere esito positivo da tale modulo per autenticarsi con successo.

5.2 FreeIPA IdP

Dato che la soluzione con il modulo PAM si è rivelata essere più impegnativa del previsto, ho deciso di provare a configurare l'SSO con Monokee da FreeIPA.

Navigando nell'interfaccia web del software, infatti, ho notato che nella sezione *Authentication* > *Identity Provider Servers* era possibile definire un Identity Provider che utilizzasse OAuth 2.0 come protocollo di autenticazione.

A questo punto, con l'aiuto del team, e, in particolare, del CTO di Athesys Srl, mi sono spostato sull'infrastruttura di testing di Monokee per configurare un'applicazione OAuth2 da poter utilizzare come Identity Provider per FreeIPA.

Capitolo 6

Implementazione e documentazione

In questo capitolo viene illustrato il processo di implementazione della soluzione trovata e la stesura della documentazione relativa.

6.1 Configurazione Monokee

All'interno dell'ambiente di test di Monokee, tramite l'interfaccia web, ho creato una nuova applicazione OAuth2 ed un nuovo OpenID Connect provider, che fornisse gli end-point per l'autenticazione via OICD.

6.2 Configurazione FreeIPA

Da FreeIPA, ho proceduto a configurare un nuovo Identity Provider server, tramite la sezione della GUI di cui sopra, inserendo tutte i metadati richiesti, facendo riferimento all'applicazione OAuth2 creata su Monokee e agli end-point forniti dall'OpenID provider configurato precedentemente.

Successivamente, ho creato un utente FreeIPA che utilizzasse come unico metodo di autenticazione quella tramite Identity Provider esterno (*External IdP*), scegliendo Monokee come IdP e come identificatore il mio indirizzo e-mail istituzionale, già associato al mio account Monokee, per poter eseguire l'accesso via SSO con le mie credenziali.

6.3 Testing

Configurata correttamente l'infrastruttura di autenticazione sia su Monokee che su FreeIPA, ho proceduto a testarla seguendo le indicazioni della documentazione relativa.

6.4 Troubleshooting

Mettere la roba dell'autenticazione con google ecc

6.5 Sviluppi futuri

A partire dai risultati che ho ottenuto durante l'attività di stage, gli sviluppi futuri possibili sono molteplici.

Innanzitutto, comincerei con il risolvere il problema legati all'accesso alle macchine con il server di FreeIPA installato tramite SSH su un utente di FreeIPA, e, dunque, per mezzo del Single Sign-On di Monokee. L'SSO, difatti, viene bypassato e viene richiesta la password dell'utente, la quale, di fatto, non esiste perché non è utilizzata da FreeIPA sugli utenti da autenticare con Monokee.

Dunque, andrei a verificare le impostazioni attive nei file di configurazione di SSH, come `/etc/ssh/sshd_config`.

Risolto questo problema e avendo, quindi, una macchina a cui è possibile accedere tramite SSH direttamente con un utente Monokee, il prossimo passo potrebbe essere quello di predisporre delle macchine server con le risorse dell'azienda e fornirne l'accesso direttamente da Monokee, utilizzando un servizio come Apache Guacamole.

In questo modo, un utente Monokee privilegiato potrebbe accedere a delle macchine server gestire accessi, privilegi ed altro, oppure, nel caso di un utente subordinato, accedere a delle macchine client, gestite da quella server.

6.6 Documentazione

L'azienda ha richiesto la redazione di una guida che illustrare il processo di configurazione del server FreeIPA e dei sistemi di Monokee per l'integrazione del Single Sign-On sulle macchine UNIX, per fornire una base documentativa per facilitare le future progressioni e sperimentazioni relative. Ho steso tale documentazione in formato Markdown, versionando il codice sul repository GitHub aziendale fornito da Athesys Srl.

Capitolo 7

Conclusioni

7.1 Consuntivo finale

7.2 Raggiungimento degli obiettivi

L'attività è stata svolta quasi totalmente in linea con la pianificazione prevista: non ci sono stati ritardi di alcun tipo ed il primo periodo, quello di studio delle tecnologie, ha richiesto meno tempo di quanto preventivato, consentendomi, così, di approfondire ulteriormente lo sviluppo delle soluzioni trovate nelle fasi successive. Ho completato tutti gli obiettivi richiesti con successo, ad inclusione di quelli desiderabili e opzionali.

7.3 Conoscenze acquisite

Grazie allo stage con Athesys Srlmi sono addentrato in un campo dell'informatica che poco conoscevo, quello della sicurezza. Ho avuto modo di conoscere i concetti e le tecnologie più significative del momento presente in ambito di identità digitale, come la Self-Sovereign Identity, il Single-Sign On ed alcuni dei protocolli di autenticazione ed autorizzazione più diffusi, apprendendo, anzitutto, cosa significa creare e gestire un'identità digitale e quali sono i rischi di sicurezza legati ad essa. Oltre ad una già ampia formazione teorica, ho avuto anche la possibilità di migliorare le mie competenze in ambito di sistemi UNIX, entrando a contatto con parti di codice che cambiano direttamente il comportamento del sistema operativo, come i moduli PAM e l'SSH. Inoltre, ho imparato a creare dei container LXC dalle immagini messe a disposizione e, successivamente, a configurare un server di Identity and Access Management, quale FreeIPA, modificando anche, in alcuni casi, manualmente dei file di sistema. Infine, ho messo in atto le conoscenze acquisite nella prima fase dell'attività, in particolare quelle riguardanti il funzionamento di OAuth2 ed OIDC, per implementare il PoC richiesto.

7.4 Valutazione personale

Dopo circa trecento ore passate al fianco del team di Athesys Srlsono convinto di aver acquisito delle conoscenze e delle competenze, non strettamente tecniche, fondamentali per il mio ingresso prossimo nell'industria: questa esperienza, che costituisce la mia prima nell'ambito del percorso che mi appartiene, quello dell'informatica, mi ha

permesso di affrontare personalmente e toccare con mano le sfide, i problemi, le metodologie ed i traguardi propri della realtà delle aziende informatiche. A partire dalla comunicazione, dall'organizzazione e dalla gestione del tempo e delle risorse, arrivando poi agli effettivi processi risolutivi e di sviluppo, sento di aver ricevuto un contributo signifcativo e di essermi messo alla prova, applicandomi al meglio in un ambiente a me quasi del tutto sconosciuto, al di fuori della mia zona di comfort. Ora, al momento della stesura di questo documento, ripercorrendo ciò che ho fatto durante questa attività di stage, mi rendo conto ancora meglio del valore che essa ha avuto ed ha per me e per la mia carriera.

Appendice A

Appendice A

A.1 Integrazione di Monokee Single Sign-On (OIDC) tramite FreeIPA

A.1.1 Indice

A.1.2 Introduzione

Il seguente documento illustra il procedimento per disporre un ambiente di Single Sign-On che utilizzi Monokee con OpenID Connect come external Identity Provider di FreeIPA.

A.1.3 Installazione di FreeIPA

Requisiti di sistema

Per il server su cui installare FreeIPA è consigliata una macchina con CentOS Stream 9.

È consigliabile anche lanciare i seguenti comandi per installare pacchetti utili: EPEL (Extra Packages for Enterprise Linux) è un insieme di pacchetti di Fedora non presenti nativamente su sistemi RHEL, *bind-utils* contiene dei comandi per ottenere facilmente informazioni riguardanti i DNS, Vim è un editor di testo.

```
sudo yum -y install epel-release
sudo yum -y update
sudo yum install bind-utils vim
```

Installazione

Lanciare il seguente comando per scaricare il pacchetto di FreeIPA.

```
sudo yum -y install ipa-server
```

In questa guida utilizzeremo FQDN, invece che DNS, per comodità. È sufficiente modificare il file */etc/hosts* aggiungendo l'indirizzo IP della macchina su cui si sta effettuando l'installazione.

```
sudo vim /etc/hosts
10.0.3.190  ipa.server.com
```

Configurare l'hostname con lo stesso nome utilizzato nel file */etc/hosts*.

```
sudo hostnamectl set-hostname ipa.server.com
```

Lanciare il comando di installazione.

```
sudo ipa-server-install
```

Appariranno una serie di domande a schermo: è sufficiente premere *Invio* a tutte tranne che all'ultima, di conferma, a cui bisogna rispondere in modo affermativo. Inoltre, verrà chiesto di inserire e confermare delle password. Dopo qualche minuto dovrebbe apparire un messaggio di riuscita installazione.

```
Continue to configure the system with these values? [no]: yes

The following operations may take some minutes to complete.
Please wait until the prompt is returned.

Configuring NTP daemon (ntpd)
  [1/4]: stopping ntpd
  [2/4]: writing configuration
  [3/4]: configuring ntpd to start on boot
  [4/4]: starting ntpd
Done configuring NTP daemon (ntpd).
Configuring directory server (dirsrv). Estimated time: 30 seconds
.....
Client configuration complete.
The ipa-client-install command was successful

==============================================================================
Setup complete
```

```
Next steps:
    1. You must make sure these network ports are open:
        TCP Ports:
          * 80, 443: HTTP/HTTPS
          * 389, 636: LDAP/LDAPS
          * 88, 464: kerberos
        UDP Ports:
          * 88, 464: kerberos
          * 123: ntp

    2. You can now obtain a kerberos ticket using the command: 'kinit admin'
       This ticket will allow you to use the IPA tools (e.g., ipa user-add)
       and the web user interface.

Be sure to back up the CA certificates stored in /root/cacert.p12
These files are required to create replicas. The password for these
files is the Directory Manager password
...
```

È possibile che debbano essere aperte alcune porte in presenza di un firewall attivo, si consiglia, dunque, di lanciare i seguenti comandi. Se il firewall non è attivo, si consiglia comunque di attivarlo e lanciare i comandi seguenti.

```
sudo firewall-cmd --add-service={dns,freeipa-ldap,freeipa-ldaps} --permanent
sudo firewall-cmd --reload
```

Accesso a FreeIPA

È possibile accedere a FreeIPA da CLI, richiedendo un ticket Kerberos con il comando `kinit admin` oppure dall'interfaccia web, all'indirizzo uguale all'hostname che si è utilizzato (https://ipa.server.com/), inserendo come username *admin*; in entrambi i casi la password corrisponde a quella scelta durante il processo di installazione.

A.1.4 Setup Monokee

App OAuth

Su `test.monokee.com` andare nella sezione *Applications*, creare una nuova applicazione OAuth.

In *Application assets*, aggiungere gli utenti (e/o i gruppi di utenti) ai quali si vuole consentire l'accesso sia nella sezione *Users* (e/o *Groups*) che nella relativa sezione in *Scopes*.

Andare sull'icona della matita per modificare l'applicazione e cliccare su *Next* per passare alle impostazioni del client. Qui scegliere un *Client ID* ed un *Client Secret* (quest'ultimo è possibile anche lasciarlo vuoto) ed impostare gli altri valori come da figura.

Cliccare nuovamente su *Next* ed impostare i valori della pagina come da figura.

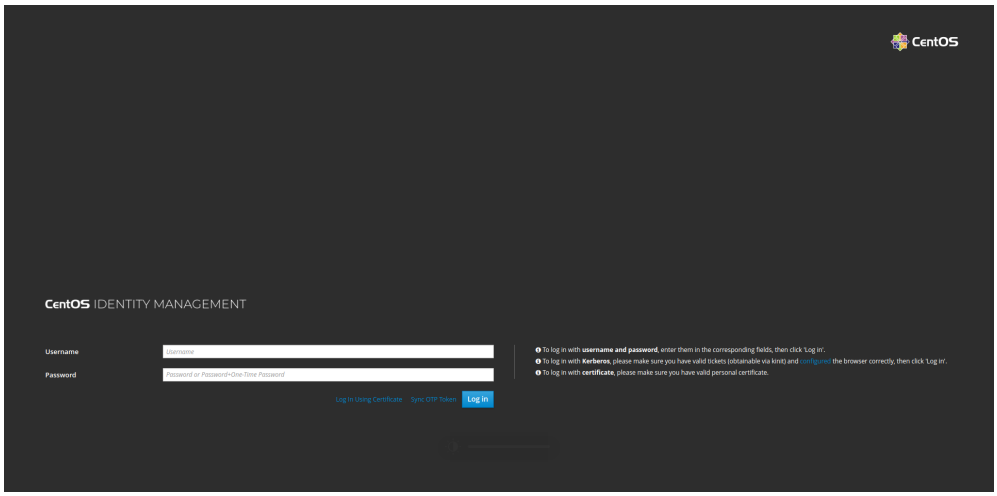


Figura A.1: Vista schermata di login FreeIPA

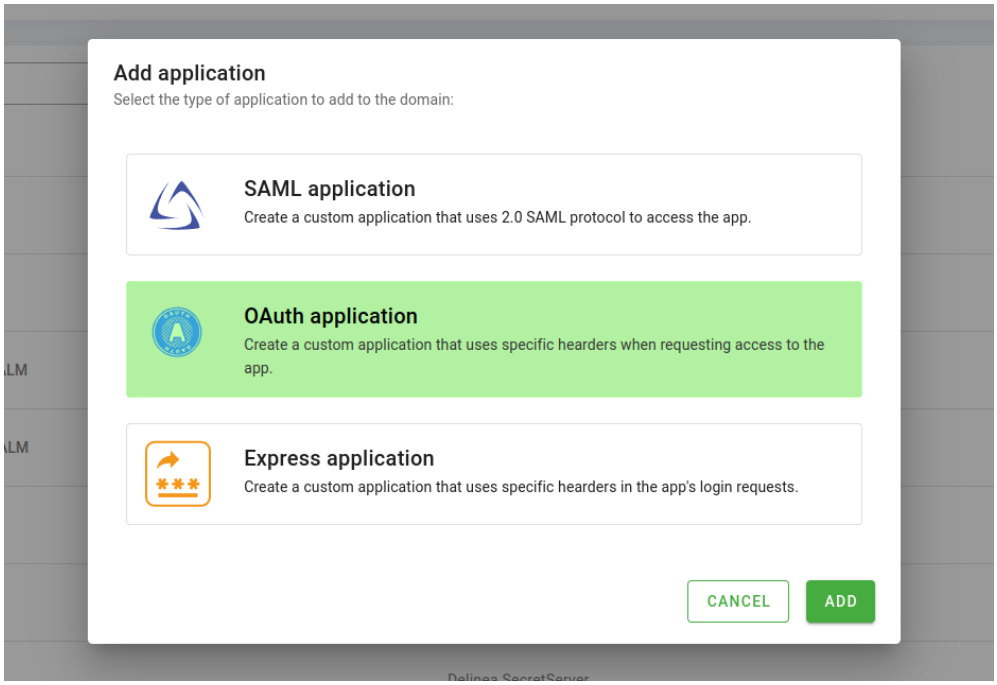


Figura A.2: Vista nuova app OAuth2 da Monokee

OpenID Connect Provider

Spostarsi nella sezione *OAuth Providers* ed aggiungere un nuovo OpenID Provider nell'apposita vista.

Spuntare l'opzione *Display metadata*, scegliere un nome per il provider ed inserire i valori come da figura.

Spostarsi nella sezione *Advanced* ed impostare i valori come da figura.

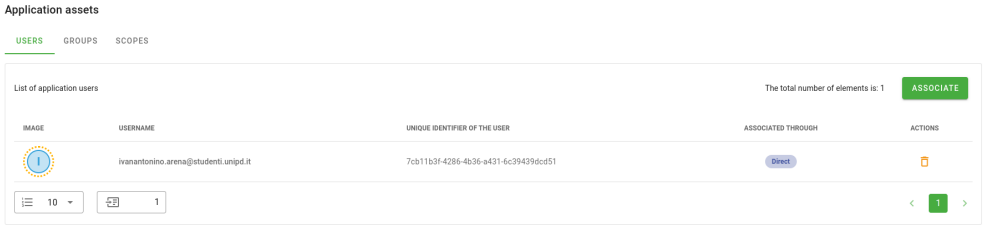


Figura A.3: Vista OAuth users

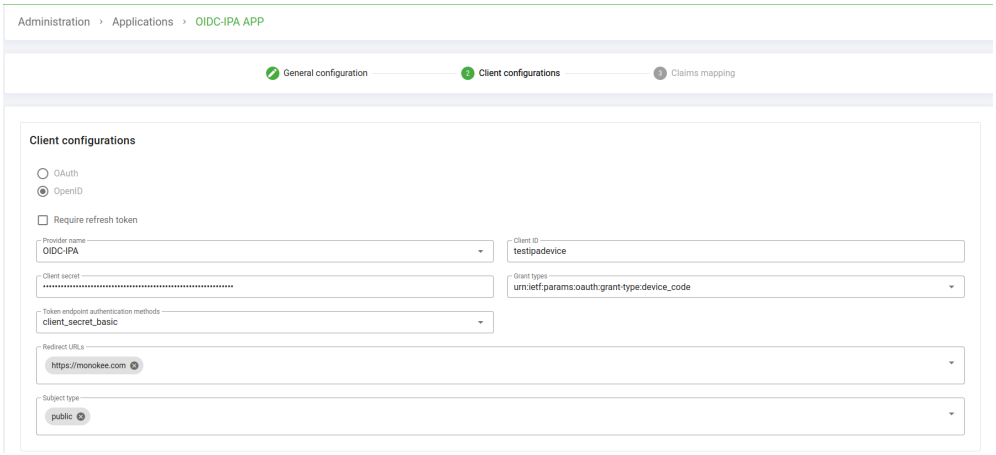


Figura A.4: Vista OAuth client configuration da Monokee

Figura A.5: Vista client scopes

A.1.5 Setup IdP FreeIPA

NB: è possibile effettuare le seguenti operazioni anche da terminale con degli specifici comandi, tuttavia, per comodità, viene mostrato il procedimento da web UI. ### Setup Identity Provider Server

Autenticarsi sulla web UI di FreeIPA e spostarsi nella sezione *Authentication* > *Identity Provider servers*, cliccare su *Add* per creare un nuovo Identity Provider, scegliere un nome e compilare i campi con i rispettivi dati ed endpoint dell'applicazione OAuth e dell'OpenID Provider impostati precedentemente.

Setup Utenti

Spostarsi nella sezione *Identity* > *Users* > *Active users* e cliccare su *Add* per aggiungere un nuovo utente. Qui, nella sezione *User authentication types* disattivare tutti i metodi attivi ed attivare *External Identity Provider*. Poi, compilare i campi *External IdP*

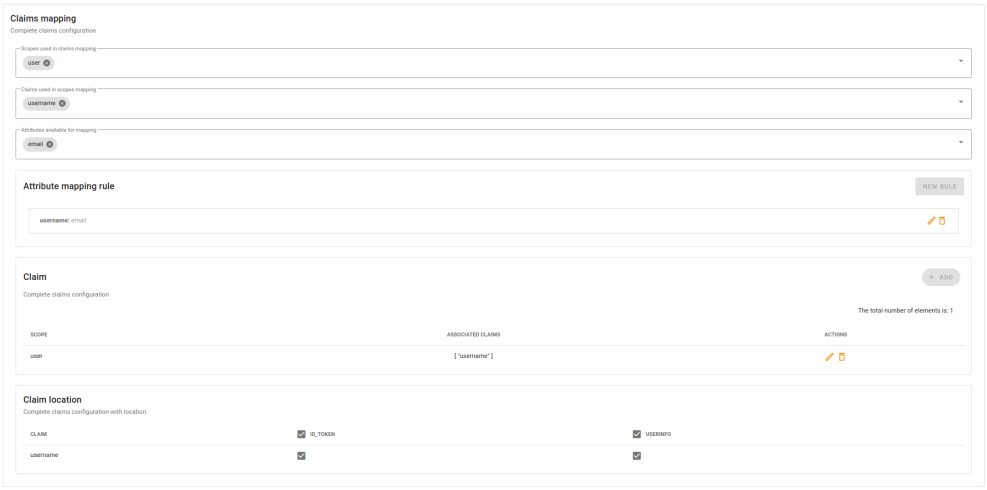


Figura A.6: Vista application assets

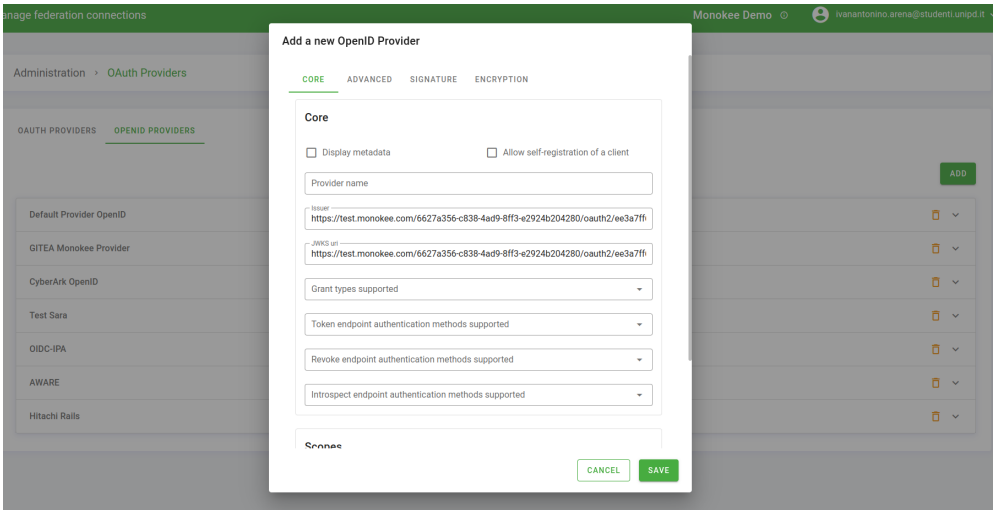


Figura A.7: Vista nuovo OpenID provider da Monokee

configuration e *External IdP user identifier*, rispettivamente, con il nome dell'Identity Provider Server impostato prima scegliendolo dal menù a tendina che apparirà, e con l'indirizzo e-mail dell'account Monokee.

Autenticazione via CLI

A questo punto è tutto pronto per autenticare l'utente creato sulla macchina con Monokee. Bisogna accedere alla macchina con un utente locale e lanciare i seguenti comandi per richiedere un ticket Kerberos anonimo ed utilizzare il canale FAST per autenticarsi con l'utente che si è creato precedentemente (in questo caso l'utente si chiama *monokee1*).

```
kinit -n -c ./fast.ccache
```

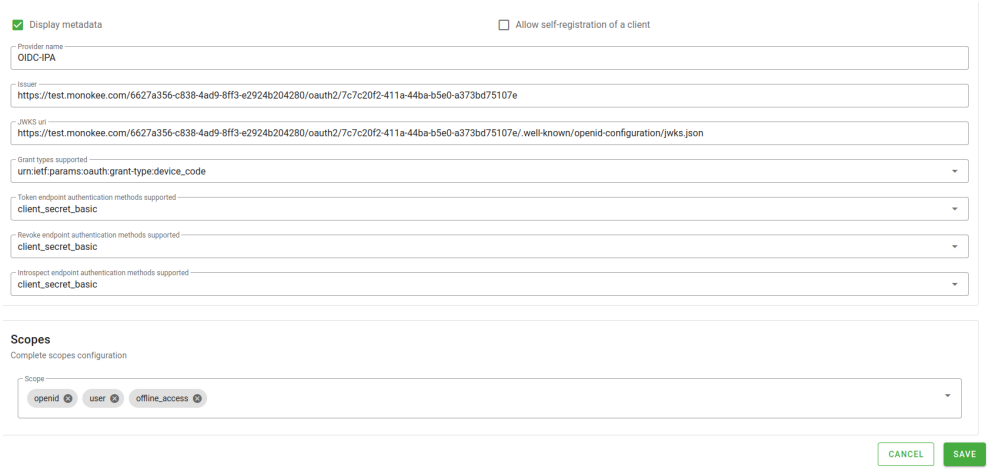


Figura A.8: Valori OpenID provider

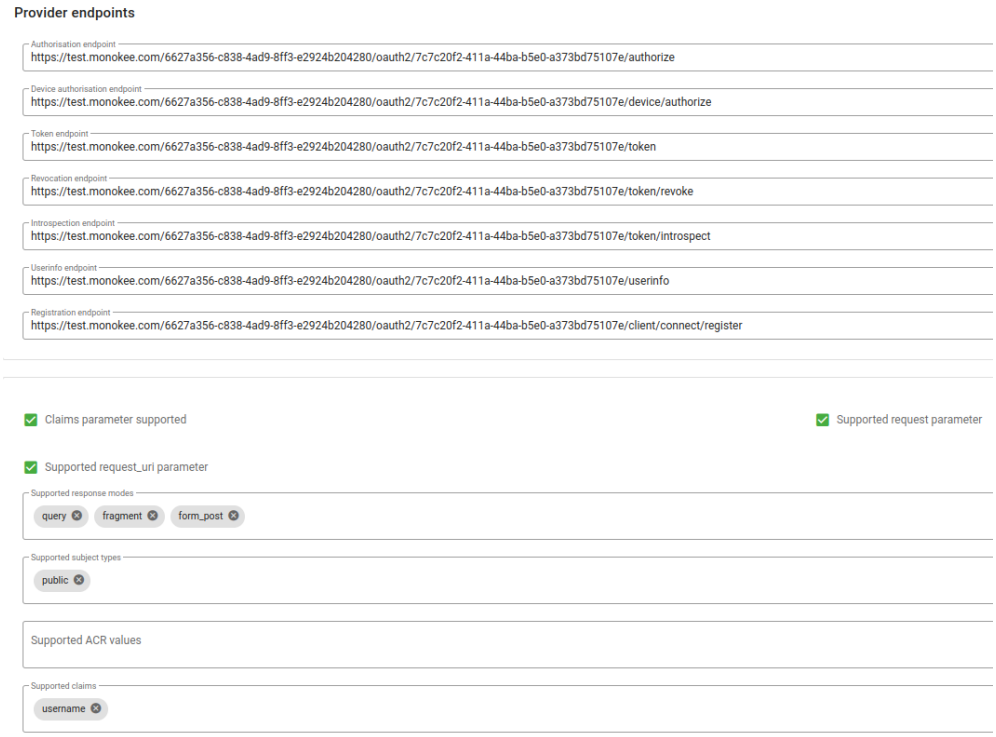


Figura A.9: Valori OpenID provider Advanceds

```
kinit -T ./fast.ccache monokee1
```

Lanciato il secondo comando apparirà un link alla schermata di login di Monokee e ad autenticazione avvenuta basterà tornare al terminale e premere *Invio*. Per verificare l'avvenuta autenticazione occorre lanciare il comando `klist` e controllare che il *Default principal* corrisponda all'utente desiderato e che il ticket sia valido.

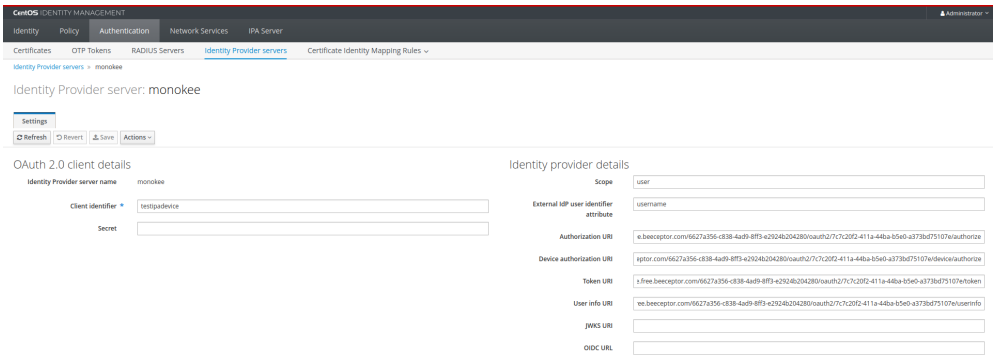


Figura A.10: Valori Identity Provider Server da FreeIPA

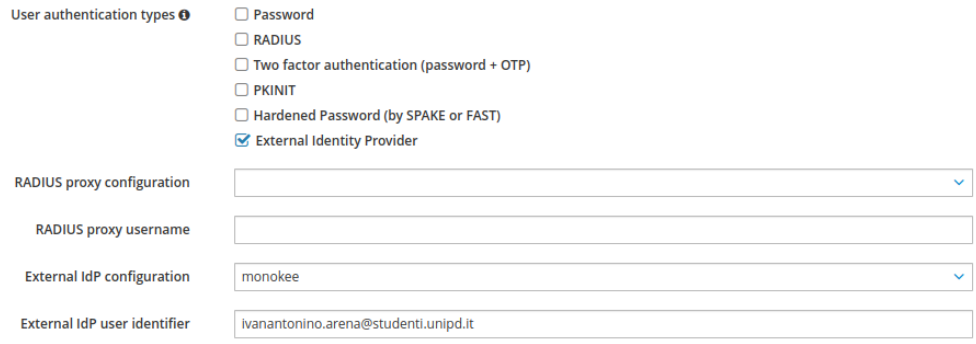


Figura A.11: Setup utente FreeIPA

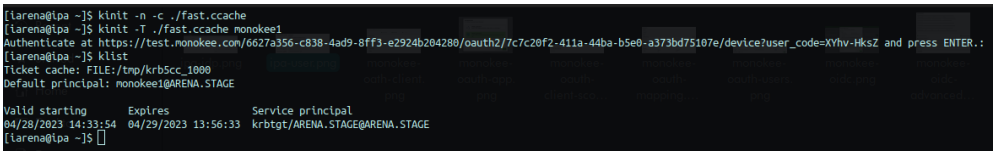


Figura A.12: Monokee SSO da CLI

A.1.6 Problemi

Di seguito elencati alcuni dei problemi rilevati.

* Facendo SSH su una macchina con un utente per il quale si è configurata l'autenticazione tramite Monokee, quindi non presente localmente ma gestito da FreeIPA, verrà chiesta la password, che non esiste per l'utente FreeIPA, perciò sarà impossibile accedere.

* Potrebbe capitare che ci siano delle differenze tra i file di cache della macchina e quelli del server e che, quando si tenta l'accesso con `kinit` si riceva il seguente messaggio di errore: `ipa: ERROR: No valid Negotiate header in server response`. In tal caso un riavvio della macchina virtuale e della macchina dalla quale si sta facendo SSH dovrebbe risolvere.

Appendice B

Appendice B

B.1 Codice C dell'applicazione PAM-aware

```
#include <security/pam_appl.h>
#include <security/pam_misc.h>
#include <stdlib.h>

static struct pam_conv conv = {
    misc_conv, /* Conversation function defined in pam_misc.h */
    NULL       /* We don't need additional data now*/
};

int main()
{
    pam_handle_t *handle = NULL;
    const char *service_name = "pam_example";
    int retval;
    char *username; /* This will be set by PAM with pam_get_item
        (see below) */

    retval = pam_start(service_name, NULL, &conv, &handle); /*
        Initializing PAM */
    if (retval != PAM_SUCCESS)
    {
        fprintf(stderr, "Failure in pam initialization: %s\n",
            pam_strerror(handle, retval));
        return 1;
    }

    retval = pam_authenticate(handle, 0); /* Do authentication (
        user will be asked for username and password)*/
    if (retval != PAM_SUCCESS)
    {
        fprintf(stderr, "Failure in pam authentication: %s\n",
            pam_strerror(handle, retval));
        return 1;
    }
```

```
    retval = pam_acct_mgmt(handle, 0); /* Do account management (
        check the account can access the system) */
    if (retval != PAM_SUCCESS)
    {
        fprintf(stderr, "Failure in pam account management: %s\n"
            , pam_strerror(handle, retval));
        return 1;
    }

    /* We now get the username given by the user */
    pam_get_item(handle, PAM_USER, (const void **)&username);
    printf("Welcome, %s\n", username);

    retval = pam_open_session(handle, 0); /* Do account
        management (check the account can access the system) */
    if (retval != PAM_SUCCESS)
    {
        fprintf(stderr, "Failure in pam account management: %s\n"
            , pam_strerror(handle, retval));
        return 1;
    }
    printf("Do you want to change your password? (answer y/n): ")
        ;
    char answer = getc(stdin); /* Taking user answer */
    if (answer == 'y')
    {
        retval = pam_chauthtok(handle, 0); /* Do update (user
            will be asked for current and new password) */
        if (retval != PAM_SUCCESS)
        {
            fprintf(stderr, "Failure in pam password: %s\n",
                pam_strerror(handle, retval));
            return 1;
            }
    }

    int exit;
    scanf("%d", &exit);
    if (exit == 1)
    {
        pam_close_session(handle, 0);
    }
    pam_end(handle, retval); /* ALWAYS terminate the pam
        transaction!! */
}
```

B.2 Codice C del modulo PAM

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <strings.h>
#include <string.h>
```

```c
#include <stdint.h>
#include <time.h>
#include <stdbool.h>
#include <security/pam_modules.h>
#include <security/pam_ext.h>
#include <sys/stat.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>

#define MAX_USERFILE_SIZE 1024
#define USERSFILE "users"

bool auth_user(const char *, const char *);
void change_pass(const char *, const char *);
/**
 * @brief R
 *
 * @param user
 * @param password
 */
bool auth_user(const char *user, const char *password)
{
    int pos = 0;
    bool authenticated = false;

    if (strcmp(password, "pizza") == 0)
    {
        authenticated = true;
    }

    return authenticated;
}

void change_pass(const char *username, const char *password)
{
    FILE *f = fopen(USERSFILE, "wr");
    char content[MAX_USERFILE_SIZE];
    int pos = 0;
    bool authenticated = false;

    int filepos = 0;

    int c;
    /* Reading the file until EOF and filling content */
    while ((c = fgetc(f)) != EOF)
    {
        content[pos++] = c;
    }

    char *userfield = strtok(content, ":");
    char *passfield = strtok(NULL, "\n");
    filepos += strlen(userfield) + strlen(passfield) + 2;
    while (1)
    {
```

```
        if (strcmp(username, userfield) == 0 &&
            strcmp(password, passfield) == 0)
        {
            authenticated = true;
            break;
        }
        userfield = strtok(NULL, ":");
        if (userfield == NULL)
            break;
        passfield = strtok(NULL, "\n");
        if (passfield == NULL)
            break;
    }
}

PAM_EXTERN int pam_sm_authenticate(pam_handle_t *handle, int
    flags, int argc,
                                   const char **argv)
{
    int pam_code;

    const char *username = NULL;
    const char *password = NULL;

    /* Asking the application for an  username */
    pam_code = pam_get_user(handle, &username, "username: ");
    if (pam_code != PAM_SUCCESS)
    {
        fprintf(stderr, "Can't get username");
        return PAM_PERM_DENIED;
    }

    /* Asking the application for a password */
    pam_code =
        pam_get_authtok(handle, PAM_AUTHTOK, &password, "type '
            pizza' to login: ");
    if (pam_code != PAM_SUCCESS)
    {
        fprintf(stderr, "Can't get password");
        return PAM_PERM_DENIED;
    }

    /* Checking the PAM_DISALLOW_NULL_AUTHTOK flag: if on, we can
        't accept empty passwords */
    if (flags & PAM_DISALLOW_NULL_AUTHTOK)
    {
        if (password == NULL || strcmp(password, "") == 0)
        {
            fprintf(stderr,
                    "Null authentication token is not allowed!.")
                        ;
            return PAM_PERM_DENIED;
        }
    }
```

```
    /*Auth user reads a file with usernames and passwords and
        returns true if username
     * and password are correct. Obviously, you must not save
         clear text passwords */
    if (auth_user(username, password))
    {
        return PAM_SUCCESS;
    }
    else
    {
        fprintf(stderr, "Wrong username or password");
        return PAM_PERM_DENIED;
    }
}

PAM_EXTERN int pam_sm_acct_mgmt(pam_handle_t *pamh, int flags,
    int argc,
                                const char **argv)
{
    time_t expire_time;
    struct tm tm;

    /* fill in values for 2019-08-22 23:22:26 */
    tm.tm_year = 2024 - 1900;
    tm.tm_mon = 8 - 1;
    tm.tm_mday = 22;
    tm.tm_hour = 23;
    tm.tm_min = 22;
    tm.tm_sec = 26;
    tm.tm_isdst = -1;
    expire_time = mktime(&tm);
    time_t current_time;
    char *exp = "Your account has expired\n";

    /* Getting time_t value for expiry_date and current date */
    current_time = time(NULL);

    /* Checking the account is not expired */
    if (current_time > expire_time)
    {
        printf("%s", exp);
        return PAM_PERM_DENIED;
    }
    else
    {
        return PAM_SUCCESS;
    }
}

PAM_EXTERN int pam_sm_setcred(pam_handle_t *pamh, int flags, int
    argc,
                              const char **argv)
{
```

```
    /* Environment variable name */
    const char *env_var_name = "USER_FULL_NAME";

    /* User full name */
    const char *name = "John Smith";

    /* String in which we write the assignment expression */
    char env_assignment[100];

    /* If application asks for establishing credentials */
    if (flags & PAM_ESTABLISH_CRED)
        /* We create the assignment USER_FULL_NAME=John Smith */
        sprintf(env_assignment, "%s=%s", env_var_name, name);
    /* If application asks to delete credentials */
    else if (flags & PAM_DELETE_CRED)
        /* We create the assignment USER_FULL_NAME, withouth
            equal,
         * which deletes the environment variable */
        sprintf(env_assignment, "%s", env_var_name);

    /* In this case credentials do not have an expiry date,
     * so we won't handle PAM_REINITIALIZE_CRED */

    pam_putenv(pamh, env_assignment);
    return PAM_SUCCESS;
}

PAM_EXTERN int pam_sm_open_session(pam_handle_t *pamh, int flags,
     int argc,
                                   const char **argv)
{
    int fd;
    mode_t mode = S_IRUSR | S_IWUSR | S_IRGRP | S_IROTH;
    char *filename = "/tmp/test.txt";
    fd = creat(filename, mode);

    return PAM_SUCCESS;
}

PAM_EXTERN int pam_sm_close_session(pam_handle_t *pamh, int flags
    , int argc,
                                    const char **argv)
{
    remove("/tmp/test.txt");
    return PAM_SUCCESS;
}

PAM_EXTERN int pam_sm_chauthtok(pam_handle_t *pamh, int flags,
    int argc,
                                const char **argv)
{
    const char *username;
    const char *cur_password;
    const char *new_password;
```

```
    /* We always return PAM_SUCCESS for the preliminary check */
    if (flags & PAM_PRELIM_CHECK)
    {
        return PAM_SUCCESS;
    }

    /* Get the username */
    pam_get_item(pamh, PAM_USER, (const void **)&username);

    /* We're not handling the PAM_CHANGE_EXPIRED_AUTHTOK
       specifically
     * since we do not have expiry dates for our passwords. */
    if ((flags & PAM_UPDATE_AUTHTOK) ||
        (flags & PAM_CHANGE_EXPIRED_AUTHTOK))
    {
        /* Ask the application for the password. From this module
           function, pam_get_authtok()
         * with item type PAM_AUTHTOK asks for the new password
           with the retype. Therefore,
         * to ask for the current password we must use
           PAM_OLDAUTHTOK. */
        pam_get_authtok(pamh, PAM_OLDAUTHTOK, &cur_password,
                        "Insert current password: ");

        if (auth_user(username, cur_password))
        {
            pam_get_authtok(pamh, PAM_AUTHTOK, &new_password,
                            "New password: ");
            change_pass(username, new_password);
        }
        else
        {
            return PAM_PERM_DENIED;
        }
    }
    return PAM_SUCCESS;
}
```

B.3 Script bash per compilare ed eseguire l'applicazione PAM-aware

```
#!/bin/sh
gcc -fPIC -fno-stack-protector -c pam_module_example.c
sudo ld -x --shared -o /lib/x86_64-linux-gnu/security/
    pam_module_example.so pam_module_example.o
gcc -o run_pam.o pam_example.c -lpam -lpam_misc
sudo ./run_pam.o
```

Acronimi e abbreviazioni

CLI Command-Line Interface. 2, 35

Bibliografia

Siti web consultati

A REST interface for FreeIPA Plugged In. URL: https://www.admin-magazine.com/Archive/2016/34/A-REST-interface-for-FreeIPA#article_l2.

FreeIPA's documentation. URL: https://freeipa.readthedocs.io/en/latest/index.html.

FreeIPA's website. URL: https://www.freeipa.org/page/Main_Page.

Linux man pages online. URL: https://man7.org/linux/man-pages/index.html.

Linux PAM configuration tutorial. URL: https://web.archive.org/web/20190420035810/https://fedetask.com/linx-pam-configuration-tutorial/.

Monokee's documentation. URL: https://test.monokee.com/docs/.

OAuth Device authorization flow. URL: https://auth0.com/docs/get-started/authentication-and-authorization-flow/device-authorization-flow.

OICD's documentation. URL: https://openid.net/connect/.

Self-Sovereign Identity: The Ultimate Guide 2023. URL: https://www.dock.io/post/self-sovereign-identity.

Talking to FreeIPA JSON web API via curl. URL: https://adam.younglogic.com/2010/07/talking-to-freeipa-json-web-api-via-curl/.

Understanding PAM. URL: https://aplawrence.com/Basics/understandingpam.html.

Using external identity providers to authenticate to IdM. URL: https://access.redhat.com/documentation/en-us/red_hat_enterprise_linux/8/html/configuring_and_managing_identity_management/assembly_using-external-identity-providers-to-authenticate-to-idm_configuring-and-managing-idm#proc_enabling-an-idm-user-to-authenticate-via-an-external-idp_assembly_using-external-identity-providers-to-authenticate-to-idm.

Using OAuth 2.0 to Access Google APIs. URL: https://developers.google.com/identity/protocols/oauth2.

What is OAuth 2.0. URL: https://auth0.com/intro-to-iam/what-is-oauth-2.

What is Single Sign-On. URL: https://www.ibm.com/topics/single-sign-on.

Writing a Linux PAM module. URL: https://web.archive.org/web/20190523222819/https:/fedetask.com/write-linux-pam-module/.

Writing a PAM-aware application. URL: https://web.archive.org/web/20190420073246/https://fedetask.com/writing-a-linux-pam-aware-application/.