



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in *Ingegneria Informatica e dell'Automazione*

Implementazione di OpenVPN su router 4G per site-to-site vpn in ambiente CG-NAT

*Implementation of OpenVPN on a 4G Router for site-to-site VPN in
CG-NAT environment*

Relatore:

Prof. Ennio Gambi

Correlatore:

Ing. Adelmo De Santis

Laureando:

Simone Viozzi

Prefazione

work-in-progress

Sono sempre stato curioso sul funzionamento di Internet, una delle rivoluzioni più importanti fatte dall'uomo, eppure molti lo usano con superficialità e pochi ne conoscono il meccanismo interno.

Nel mio percorso universitario ho avuto l'opportunità di frequentare il corso di *Networking* tenuto presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dall'Ing. Adelmo De Santis, e successivamente conseguire la certificazione *HUAWEI HCIA Routing and Switching*.

Tale percorso mi ha permesso di approfondire molti aspetti sul funzionamento di Internet e come è stato possibile scalare la rete in modo così veloce e semplice.

Con le conoscenze acquisite, insieme ad alcuni miei colleghi, abbiamo avuto modo di progettare e realizzare una VPN site-to-site attraverso una connessione radiomobile in un tirocinio in collaborazione con l'azienda *Esse-ti S.r.l.*

Questo elaborato tratterà l'implementazione della VPN seguendo un approccio incrementale, ponendo molta attenzione nei test necessari e nel troubleshooting.

Indice

Prefazione work-in-progress	ii
Indice	iii
Elenco delle figure	v
1 Introduzione	1
1.1 TCP/IP e modello a strati OK	1
1.1.1 Internet Protocol Suite OK	2
1.1.2 Incapsulamento OK	3
1.1.3 IP Network Address Translator (NAT) OK	4
1.2 Openvpn OK	5
1.2.1 Crittografia e autenticazione OK	5
1.2.2 Networking	5
1.3 OpenWrt OK	6
1.3.1 LuCI web interface OK	7
2 Overview dell'architettura e delle componenti utilizzate OK	9
2.1 Obiettivo da ottenere OK	9
2.2 Specifiche dei componenti OK	11
3 Configurazione del <i>Server</i>	14
3.1 Overview della configurazione e prerequisiti OK	14
3.2 Creazione della <i>Public key infrastructure</i> OK	15
3.2.1 Creazione della struttura di cartelle necessaria per ospitare la PKI OK	15
3.2.2 Creazione della <i>Certificate Authority</i> CA OK	16
3.2.3 Configurazione della PKI di OpenVPN OK	18
3.2.4 Firma del certificato OpenVPN dalla CA OK	20

3.3	Generazione della <i>tls-crypt pre-shared key</i> OK	20
3.4	Generazione dei certificati per i <i>clients</i> OK	21
3.4.1	Script per la creazione delle configurazioni dei client OK	22
3.5	Creazione del file di configurazione del Server OpenVPN OK	24
3.6	Configurazioni sulla network stack del Server OK	24
3.7	Configurazione del firewall OK	25
3.7.1	Configurazione del NAT OK	25
3.7.2	Configurazione del packet forwarding OK	26
3.7.3	Conclusione della configurazione del firewall OK	27
3.8	Avvio del Server OpenVPN OK	28
3.9	Test della configurazione OK	29
4	Configurazione del <i>Router</i> OK OK	31
4.1	Overview della configurazione OK	31
4.2	Prerequisiti per la configurazione del <i>Router</i> OK	32
4.3	Creazione della configurazione OpenVPN per il <i>Router</i> OK	32
4.4	Connessione del <i>Router</i> alla VPN OK	32
4.5	Auto start del <i>Client VPN</i> nel <i>Router</i> OK	33
4.6	Abilitazione del Client-to-Client nel server OpenVPN OK	34
4.7	Assegnazione IP statico al <i>Router</i> OK	36
5	Connessione degli Host domotici alla VPN OK OK	37
5.1	Overview della configurazione OK	37
5.2	Configurazione del firewall nel <i>Router</i> OK	38
5.2.1	Creazione della zona firewall per la VPN OK	38
5.2.2	Aggiunta dell'interfaccia <i>tun0</i> alla zona firewall <i>vpn</i> OK	40
5.3	Modifiche alla configurazione OpenVPN del <i>Server</i> OK	42
5.4	Test e analisi della configurazione	43
6	Conclusione work-in-progress	47
	Bibliografia	49

Elenco delle figure

1.1	Rappresentazione degli strati del modello TCP/Ip, con relativo incapsulamento e dispositivo di dominio	1
1.2	Incapsulamento	4
1.3	Incapsulamento di un pacchetto OpenVPN.	6
1.4	Interfaccia web LuCI	7
2.1	Schema concettuale dell'obiettivo da raggiungere.	9
2.2	Schema concettuale dell'architettura che si dovrà implementare.	10
2.3	Topologia virtuale vista dal cliente.	10
2.4	Esse-ti 4G.Router	11
2.5	Interfaccia web Esse-ti 4G.Router	12
3.1	Configurazione di partenza e di obiettivo per il capitolo 3.	14
3.2	Diagramma per schematizzare la procedura di creazione della CA e della PKI del server OpenVPN. TODO: va bene senza mettere nessuna spiegazione per lo schema?? . .	15
3.3	Diagramma per schematizzare la procedura di firma di un certificato client. . . .	21
4.1	Schemi delle configurazioni iniziali e finali per il capitolo 4.	31
4.2	Configurazione della VPN tramite LuCI.	33
4.3	Effetto del <code>client-to-client</code> sulla network stack del <i>Server</i> [19].	35
5.1	Schemi concettuali della configurazione iniziale e finale per il capitolo 5.	37
5.2	Configurazione di default delle zone del firewall.	38
5.3	Schermata di aggiunta di una nuova zona firewall.	39
5.4	Configurazione delle zone firewall dopo l'aggiunta della zona <i>vpn</i>	40
5.5	Assegnazione interfaccia <i>tun0</i> alla zona firewall <i>vpn</i> tramite interfaccia LuCI . .	41
5.6	Topologia finale con evidenziati alcuni punti di interesse nel percorso del pacchetto. .	43
6.1	multi-istanza virtual	48

6.2	multi-istanza real	48
-----	------------------------------	----

Tutti i diagrammi sono stati realizzati con il tool *diagrams.net* [6], usando le icone fornite da Huawei [4].

Capitolo 1

Introduzione

1.1 TCP/IP e modello a strati OK

Internet costituisce la più grande rete di comunicazione al mondo, con più di 5 miliardi di dispositivi connessi nello stesso momento [7]. Eppure la sua architettura di base è relativamente semplice, tutto è incentrato su un set di protocolli e i dispositivi che li implementano.

Il suo obiettivo è quello di collegare utenti attraverso una rete geografica, indipendentemente dalla distanza o da quali mezzi fisici vengano usati per trasferire i dati. Deve quindi essere in grado di gestire una grande varietà di applicazioni, tipi di rete e mezzi di trasmissione. Per garantire la flessibilità necessaria e non aggiungere troppa complessità, l'architettura di Internet è stata suddivisa in alcuni strati, il modello TCP/IP è costituito da 4 strati.

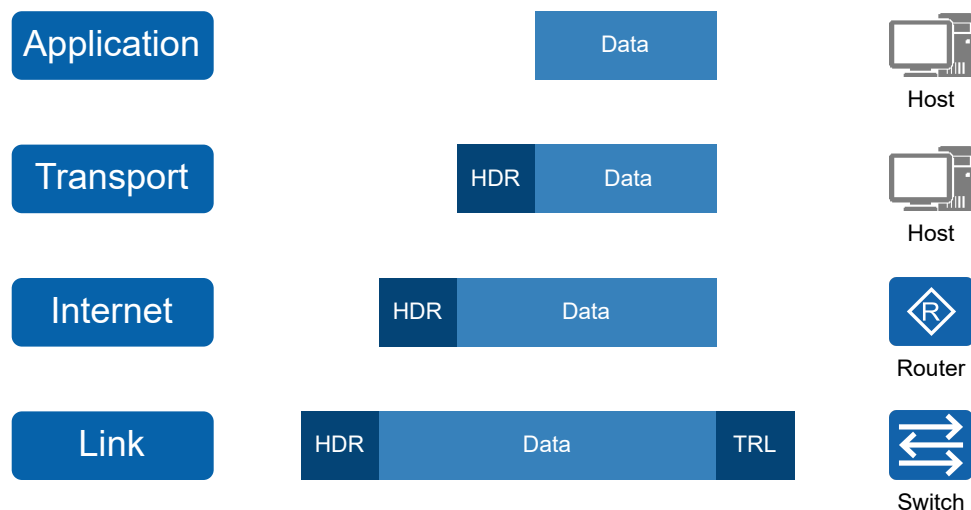


Figura 1.1: Rappresentazione degli strati del modello TCP/Ip, con relativo incapsulamento e dispositivo di dominio

1.1.1 Internet Protocol Suite OK

Per comunicare su Internet, gli Host devono implementare un set di protocolli che costituiscono l'*Internet protocol suite* [1]. I protocolli si suddividono in strati logici che li raggruppano in 4 categorie, ogni Host deve implementare almeno un protocollo per ogni strato.

Vediamo una breve descrizione dei layer e delle loro funzioni:

layer 4: **Application:** Il livello applicazione è il layer più alto dell'*Internet protocol suite*, i protocolli di questo livello si suddividono in protocolli utente e di supporto.

I protocolli utente espongono un servizio direttamente all'utente finale, alcuni esempi sono: [http](#), [ftp](#), [ssh](#). Mentre i protocolli di supporto non sono direttamente usati dagli utenti ma sono comunque necessari per il funzionamento della rete, alcuni esempi sono: [DNS](#), [SNMP](#).

layer 3: **Transport:** Il livello di trasporto fornisce una comunicazione end-to-end tra le applicazioni, infatti in generale il campo data del livello di trasporto non viene letto da nessuno se non l'applicazione di sorgente e destinazione. I protocolli principali di questo livello sono TCP e UDP: il [TCP](#) è connection-oriented e fornisce alta affidabilità; mentre l'[UDP](#) è connection-less, quindi ogni inaffidabilità della rete deve essere gestita a livello applicazione.

layer 2: **Internet:** Tutti i protocolli di trasporto usano il protocollo Internet (IP) per portare i dati dall'host sorgente alla destinazione. Al contrario dei protocolli di livello trasporto il protocollo IP non è end-to-end, quindi è intrinsecamente di tipo connection-less. Non fornisce quindi nessuna garanzia che il pacchetto arrivi a destinazione, o arrivi danneggiato o duplicato. I layer sopra al livello IP sono responsabili di mantenere l'affidabilità dei servizi quando essa è richiesta. Di questo layer fanno parte i protocolli [IP](#) e [ICMP](#) ad esempio.

layer 1: **Link:** È il layer più vicino al mezzo fisico su cui viaggiano i dati, ogni host deve implementare il protocollo usato per la specifica interfaccia che usa. Ad esempio un'host con un'interfaccia Ethernet deve implementare i protocolli [Ethernet II](#) e [IEEE 802.3](#).

1.1.2 Incapsulamento OK

Ogni protocollo di ogni layer aggiunge un header e un trailer, incapsulando il prodotto del layer precedente nel suo campo data, possiamo vederne una rappresentazione grafica in fig. 1.1.

Possiamo inoltre esaminare l'incapsulamento in azione catturando un pacchetto con il programma *Wireshark*, ad esempio in questo caso si tratta di un pacchetto proveniente da una pagina web *https*:

```
Wireshark code: 1.1.1
1  Frame 43408: 93 bytes on wire (744 bits), 93 bytes captured (744 bits) on interface
   ↪  wlp5s0, id 0
2  1 > Ethernet II, Src: IntelCor_eb:91:5f (cc:d9:ac:eb:91:5f), Dst: HuaweiDe_27:a9:24
   ↪  (0c:e4:a0:27:a9:24)
3  2 > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.8.119, Dst: 142.250.180.174
4  3 > Transmission Control Protocol, Src Port: 36354, Dst Port: 443, Seq: 36720, Ack:
   ↪  13639, Len: 39
5  4 > Transport Layer Security
6  > TLSv1.3 Record Layer: Application Data Protocol: http-over-tls
7  Opaque Type: Application Data (23)
8  Version: TLS 1.2 (0x0303)
9  Length: 34
10 Encrypted Application Data:
   ↪  389bf9516cce567d0d90ef62ba2a87376091fedb7f66f3b9e60e45a39376b1ae667a
11 [Application Data Protocol: http-over-tls]
```

Quindi andando ad analizzare lo stack di protocolli si vede:

- **Transport Layer Security**[10]: È il dato effettivo che è stato trasmesso in rete. In questo caso consiste in un pacchetto http cifrato con il protocollo TLS.
- **Transmission Control Protocol**[9]: Incapsula il layer applicazione in un layer di trasporto usando il protocollo TCP. Le informazioni principali contenute nell'header sono la porta sorgente e destinazione, ciò permette di individuare a quale applicazione è destinato il pacchetto.
- **Internet Protocol Version 4**[8]: Incapsula il layer di trasporto in un pacchetto IP. Nell'header IP sono contenuti l'indirizzo IP di sorgente e destinazione, ciò permette di individuare a quale host è destinato il pacchetto.
- **Ethernet II**[16]: In questo caso il mezzo fisico è una porta Ethernet, quindi il pacchetto IP viene incapsulato con il protocollo Ethernet II. Nell'header Ethernet II sono contenuti l'indirizzo MAC di sorgente e destinazione, ciò permette di individuare qual è l'interfaccia fisica a cui è destinato il pacchetto.

Possiamo vedere graficamente il pacchetto descritto in [code:1.1.1](#) e le informazioni principali di ogni header:

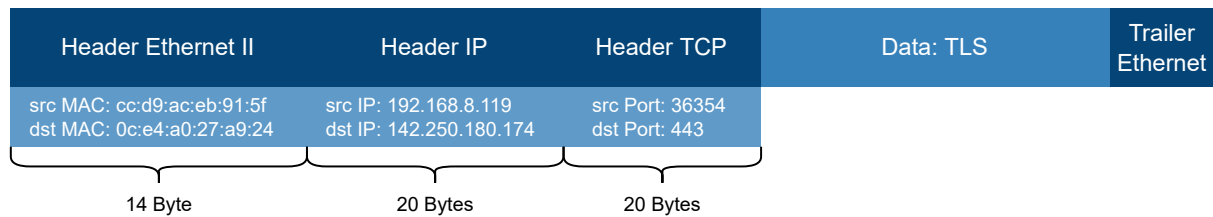


Figura 1.2: Incapsulamento

1.1.3 IP Network Address Translator (NAT) OK

Per mitigare il problema della saturazione degli indirizzi IPv4 [17], è stato introdotto un dispositivo di rete che consente di riusare spazi di indirizzi privati e ridurre il numero di Ipv4 pubblici necessari.

Il NAT [3] permette di effettuare una mappatura da uno spazio di indirizzi a un altro, modificando così le informazioni di routing nel pacchetto IP. La mappatura può essere sia uno-a-uno, nel caso di *Static NAT* e *Dynamic NAT*; sia multi-a-molti, nel caso di *Network Address and Port Translation* (NAPT), in cui oltre all'IP viene modificata anche la porta del protocollo di trasporto. Ciò consente di mappare un grande numero di indirizzi privati in relativamente pochi indirizzi pubblici.

Dato il funzionamento del NAT è intrinsecamente impossibile comunicare dall'esterno verso un dispositivo al di sotto del NAT a meno che non venga opportunamente configurato per consentirlo.

Prendiamo in esempio un NAT di tipo *easyip*, in questo caso un'intera sottorete viene mappata su un singolo IP esterno. Ogni volta che un'host della rete tenta di comunicare con un server esterno, nel NAT viene salvata la relazione tra chi ha inviato la richiesta e su quale porta esterna è stata inviata verso il server. Data questa relazione il NAT è in grado di re-inoltrare all'host corretto la risposta del server. Si vede quindi che la comunicazione attraverso un NAT è possibile solo se viene iniziata da un'host della rete privata, poiché in caso contrario il NAT non potrebbe conoscere a quale host stiamo tentando di comunicare e quindi semplicemente scarterebbe il pacchetto.

Carrier Grade NAT (CG-NAT) OK

I CG-NAT [15] sono una tipologia di NAT che lavorano su larga scala e in generale sono implementati all'interno della rete dell'ISP. Sono usati per mappare un grande numero di utenti in relativi pochi indirizzi pubblici. Dato che sono gestiti dall'ISP, gli utenti non hanno nessun controllo sulla sua configurazione.

1.2 Openvpn OK

OpenVPN è un applicativo open source che ha l'obiettivo di fornire una VPN che sia semplice da configurare e che funzioni in ogni contesto. Openvpn può incapsulare sia pacchetti IP che frame Ethernet, in un tunnel sicuro che può viaggiare sia su TCP che UDP. Ha molte opzioni di configurazione, come la possibilità di usare qualsiasi porta, oppure l'uso della compressione. Il tutto è raccolto in un singolo applicativo che può funzionare sia da client che da server, in base alla configurazione fornita.

Possiamo ad esempio vedere una cattura di Wireshark di un pacchetto OpenVPN su UDP e porta 1194:

```
Wireshark code: 1.2.1
1 > Frame 90: 82 bytes on wire (656 bits), 82 bytes captured (656 bits) on interface
  ↳ br-08876ccdf1f5, id 0
2 > Ethernet II, Src: cc:d9:ac:eb:91:5f (cc:d9:ac:eb:91:5f), Dst: 0c:e4:a0:27:a9:24
  ↳ (0c:e4:a0:27:a9:24)
3 > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.20, Dst: 51.178.141.119
4 > User Datagram Protocol, Src Port: 47007, Dst Port: 1194
5 > OpenVPN Protocol
6 Type: 0x48 [opcode/key_id]
7 Peer ID: 0
8 Data (36 bytes)
9 Data: 00000019a366196eb2aca181df226faf8514ab73f524f7ef335d55fc57322d032a2095e4
```

1.2.1 Crittografia e autenticazione OK

Per la cifratura e autenticazione viene usata la libreria [OpenSSL](#), open source e ampiamente usata dalla maggior parte dei servizi su internet, come ad esempio l'https. Ciò fornisce ad OpenVPN la flessibilità di poter usare tutti i cifrari forniti da questa libreria.

L'autenticazione può essere eseguita usando una pre-shared key, un sistema basato sull'utilizzo dei certificati, una semplice password o una combinazione dei precedenti. Il metodo più sicuro è quello basato sui certificati, che sfrutta una *Public key infrastructure* [18] per autenticare che i certificati forniti dai client siano effettivamente autentici. Con questo metodo si crea un certificato per ogni utente che, se opportunamente firmato, permette allo specifico utente di autenticarsi al server VPN. Questo metodo ha inoltre il vantaggio che un certificato può essere revocato in ogni momento [2], facendo così perdere l'accesso all'utente che lo stava usando.

Maggiori informazioni possono essere trovate sulla [wiki di OpenVPN](#).

1.2.2 Networking

OpenVPN viene incapsulato dai più comuni protocolli di trasporto (TCP e UDP), ciò lo rende adatto in caso l'ISP blocchi VPN di livello più basso, es. [ipsec](#). Può inoltre funzionare attraverso la maggior parte dei server proxy, firewall e NAT.

La configurazione del server permette di impostare opzioni che modificano la configurazione di rete del server o dei client, ciò permette ad esempio di aggiungere una rotta alla tabella di routing dei client nel momento in cui si connettono alla VPN.

Per depositare il traffico nella network stack dei client, OpenVPN usa i **driver universali TUN/TAP**. Può quindi creare sia un tunnel IP di livello 3 (TUN), sia Ethernet livello 2 (TAP).

In figura 1.3 possiamo vedere l'incapsulamento del pacchetto OpenVPN descritto in code: 1.2.1, compreso di un esempio del contenuto cifrato.

Si può vedere come il protocollo OpenVPN contenga al suo interno un pacchetto IP/Ethernet cifrato, in questo caso un pacchetto ICMP.

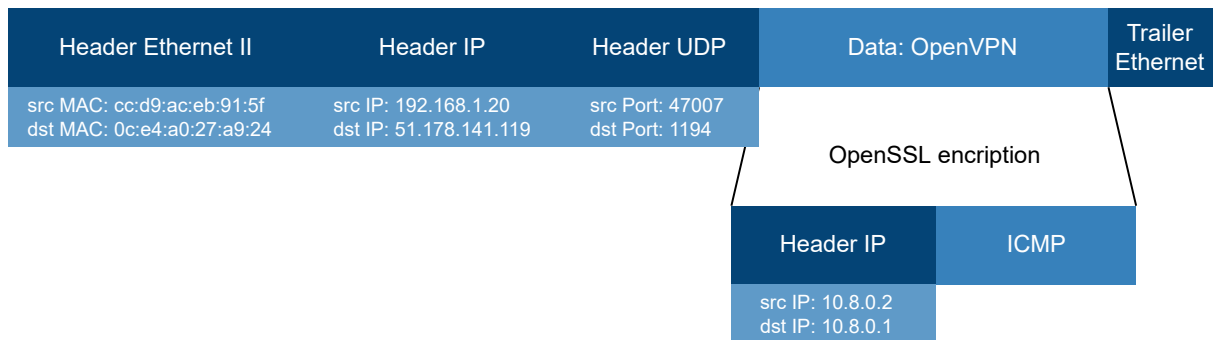


Figura 1.3: Incapsulamento di un pacchetto OpenVPN.

Analizzando l'incapsulamento si vede che sono presenti 2 header IP:

Interno. Solo gli Host della VPN possono decifrare il pacchetto e leggere questo header. Gli IP di sorgente/destinazione sono relativi alla subnet della VPN.

Esterno. Serve a trasportare il pacchetto tra i vari Host della VPN, deve quindi avere IP di sorgente/destinazione indirizzabili in Internet.

1.3 OpenWrt OK

```

1 BusyBox v1.35.0 (2022-04-24 21:09:51 UTC) built-in shell (ash)
2 -----
3 |      |.----.-----|. | | |.----.| _
4 | -  || _ | -__|    || | | | _|| _|
5 |_____| | _|_____|_|_|_|_____|_|_|_|_____|
6 |__| W I R E L E S S   F R E E D O M
7 -----
8 OpenWrt SNAPSHOT, r19521-46980294f6
9 -----

```

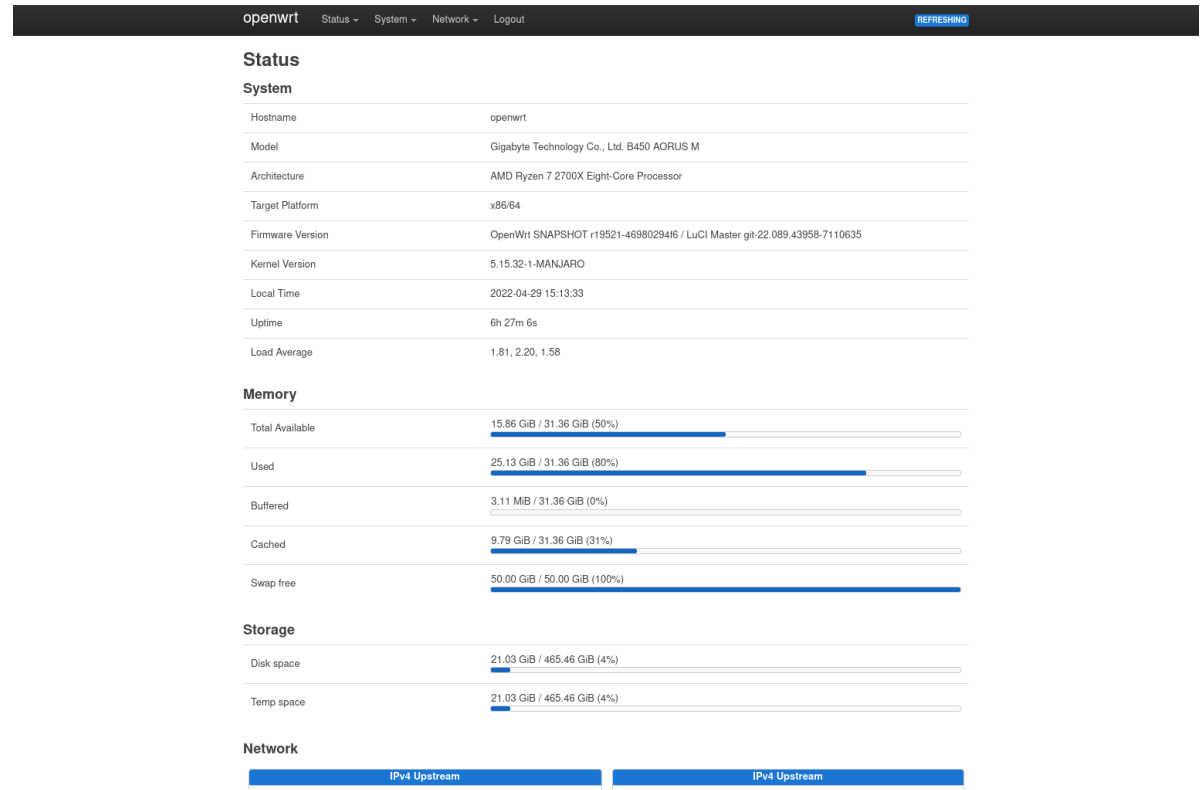
OpenWRT è un sistema operativo open-source per sistemi embedded, principalmente usato come firmware alternativo per router domestici. Si basa su kernel linux, con specifica attenzione all'ottimizzazione per renderlo adatto a dispositivi con risorse estremamente limitate.

Al contrario di altri sistemi operativi per dispositivi embedded, OpenWRT presenta un filesystem con permessi di scrittura. Questo permette di modificare il funzionamento del sistema senza dover reinstallare l'intero firmware a ogni modifica. Per facilitare l'installazione delle funzionalità aggiuntive ha il suo gestore pacchetti ([opkg](#)), ciò lo rende estremamente estensibile e configurabile.

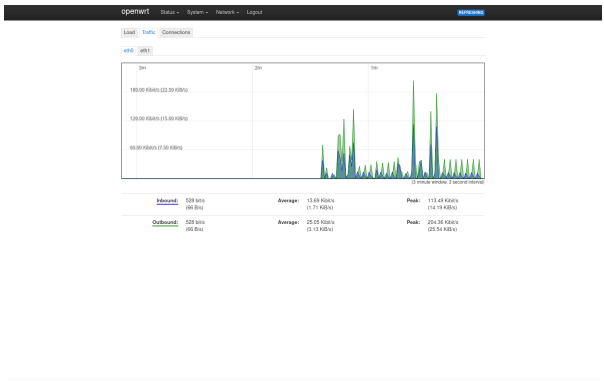
OpenWRT può essere configurato sia tramite shell ([ash](#)) che tramite interfaccia web ([LuCI](#)).

1.3.1 LuCI web interface OK

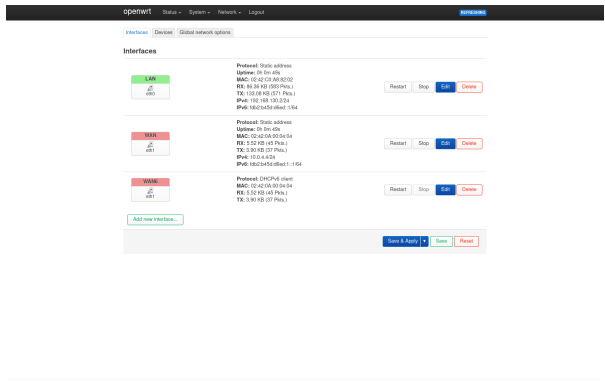
LuCI è l'interfaccia web ufficiale di *OpenWrt*, è un progetto open-source nato dalla necessità di un'interfaccia web per sistemi embedded che sia gratuita, completa ed estensibile. L'installazione e configurazione di LuCI è molto semplice, si può infatti seguire la [guida ufficiale](#).



(a) Status page



(b) Graphs page



(c) Interfaces page

Figura 1.4: Interfaccia web LuCI

L'home page, fig. [1.4a](#), mostra un riepilogo dello stato del router, ad esempio sono presenti: informazioni sull'hardware, informazioni sulla memoria e storage, sono presenti inoltre informazioni riassuntive sulle interfacce di rete e sul *DHCP*. L'interfaccia LuCI è estensiva e permette di configurare quasi ogni aspetto del funzionamento del router, compreso il firewall, il *DHCP*, i processi in esecuzione, etc. Presenta inoltre la possibilità di installare plugins che modificano e/o aggiungono funzionalità non presenti di default nell'interfaccia.

Capitolo 2

Overview dell'architettura e delle componenti utilizzate OK

2.1 Obbiettivo da ottenere OK

In una collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e l'azienda **Esse-ti S.R.L.** ci è stato esposto un progetto che consiste nel:

- Fornire a dei clienti un router 4G, su cui possono essere connessi vari dispositivi, ad es. di tipo domotico;
- Rendere questi dispositivi accessibili ai clienti attraverso internet;

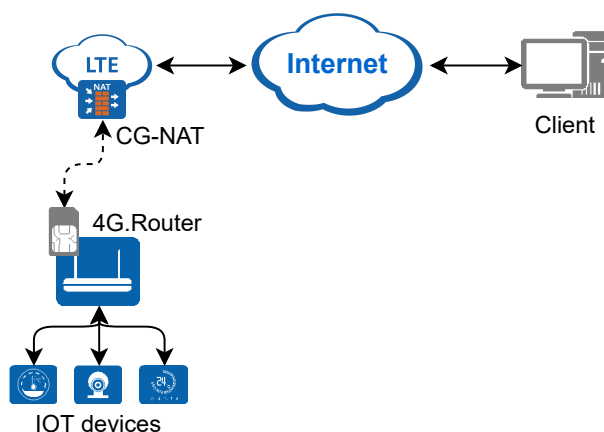


Figura 2.1: Schema concettuale dell'obiettivo da raggiungere.

È pratica comune degli operatori mobili di implementare nella loro rete un CG-NAT (sezione 1.1.3) per gestire il traffico degli utenti, ciò significa che la comunicazione da internet verso il *router* non è possibile in generale. Un modo per risolvere questo problema potrebbe essere di richiedere al cliente di avere a disposizione un IP pubblico, ciò però non è sempre possibile e sarebbe molto scomodo per il cliente.

Quindi per una soluzione più generale a questa topologia si deve necessariamente introdurre una terza macchina provvista di IP pubblico e che funga da ponte tra il *4G.Router* e il cliente.

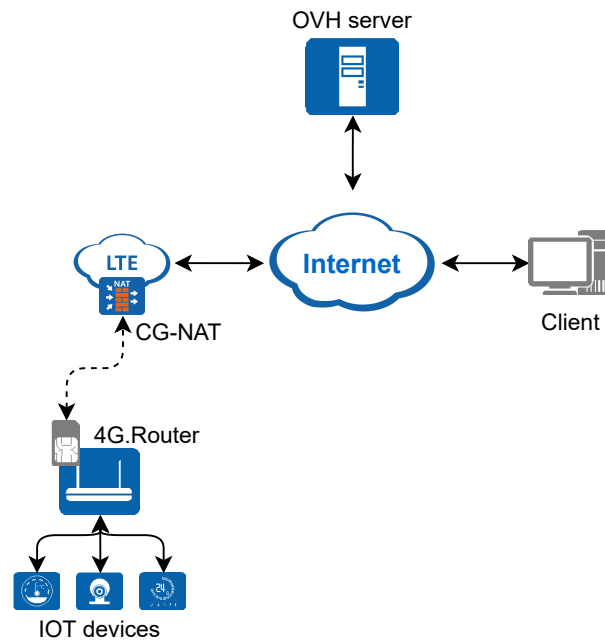


Figura 2.2: Schema concettuale dell'architettura che si dovrà implementare.

In questo modo si può usare il *Server* per configurare una *Virtual Private Network* (VPN), a cui saranno connessi sia il *4G.Router* che il cliente. Ciò consente la creazione di una topologia virtuale in cui tutti i dispositivi connessi alla VPN sono nella stessa rete locale, quindi possono comunicare tra loro.

Inoltre in questo modo viene minimizzata la configurazione da effettuare sulle macchine dei clienti, sarà infatti sufficiente avere un client OpenVPN.

La configurazione virtuale vista dal *4G.Router* e dai clienti sarà quindi:

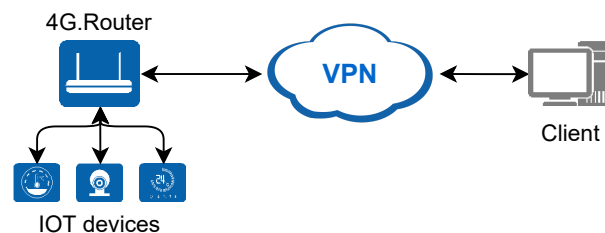


Figura 2.3: Topologia virtuale vista dal cliente.

2.2 Specifiche dei componenti **OK**

VPS OVHCloud **OK**

La VPS ha il solo vincolo di dover avere un'IP pubblico e una connessione a internet sufficientemente veloce. Dovrà infatti sopportare un traffico simmetrico in upload/download.

Per la realizzazione della topologia è stata selezionata una macchina VPS del provider *OVHCloud*, con le seguenti caratteristiche:

- 2 core virtuali;
- 4Gb di memoria ram;
- 80Gb di storage NVMe;
- 500Mbps simmetrici di banda;
- ipv4 pubblico;
- Ubuntu 16.04;

Per semplicità si farà riferimento alla *VPS OVHCloud* come *Server*.

Esse-ti 4G.Router **OK**

È stato fornito dall'azienda *Esse-ti*, consiste in un gateway 4G con funzionalità di router. Le specifiche complete possono essere trovate sul sito del produttore ([link](#)).



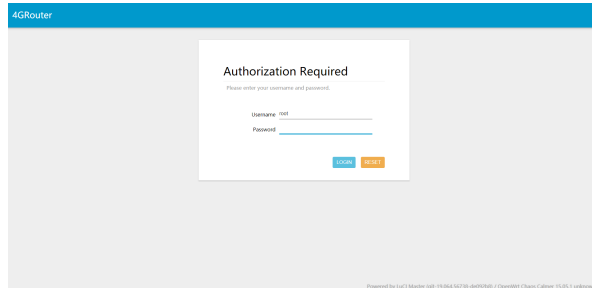
Figura 2.4: Esse-ti 4G.Router

Per l'implementazione di questa architettura sono necessarie solo un sub-set delle specifiche:

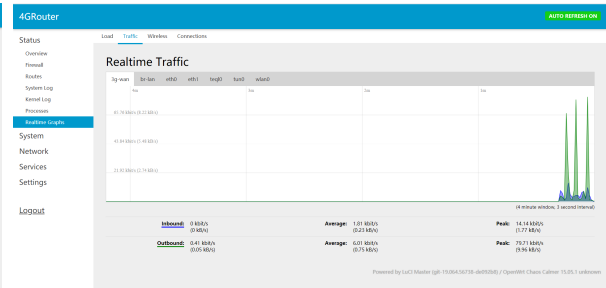
- Modulo LTE per consentire l'accesso a internet;
- Porta LAN e Access Point Wi-Fi;

Il sistema operativo del *Router* è una versione personalizzata di OpenWRT, le funzionalità sono le stesse del corrispettivo OpenSource ma risulta preconfigurato per gestire tutte le funzionalità presenti, come ad esempio la gestione della connessione radiomobile.

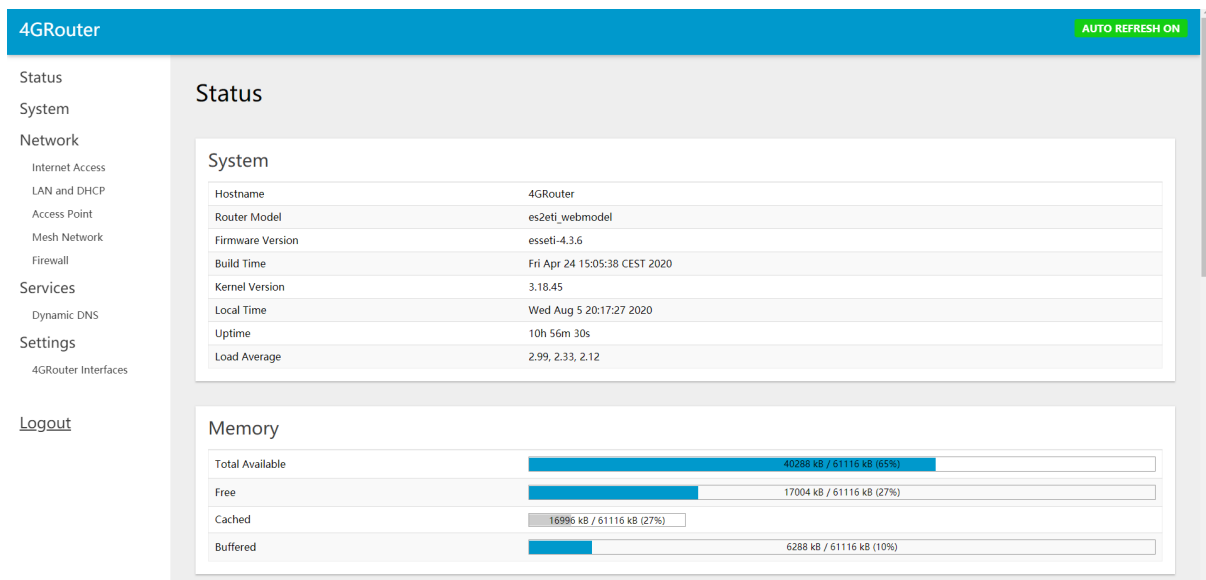
La configurazione del dispositivo può essere fatta sia da terminale, entrando in ssh, sia da interfaccia web:



(a) Schermata di autenticazione



(b) Grafico del traffico



(c) Schermata con stato riassuntivo

Figura 2.5: Interfaccia web Esse-ti 4G.Router

Per semplicità si farà riferimento all'*Esse-ti 4G.Router* chiamandolo semplicemente *Router*.

Macchina del cliente OK

Per avere la massima flessibilità la macchina del cliente deve essere generica e non deve necessitare di nessuna configurazione specifica. Infatti necessita solo del client OpenVPN, che essendo un applicativo cross-platform non pone vincoli di sistema operativo.

Si farà riferimento a una generica macchina di un cliente come *Client*.

Host domotico OK

L'obiettivo dell'azienda *Esse-ti* è quello di fornire ai clienti una connessione diretta verso dispositivi domotici posti in una locazione remota. In questa topologia un'*host-domotico* potrebbe essere un qualunque dispositivo di rete, ad es: una telecamera di videosorveglianza, un termostato digitale o un dispositivo più complesso come una [Raspberry Pi](#).

Per simulare un'*host-domotico* ed effettuare le varie operazioni di testing è stata usata una *Raspberry Pi*.

Capitolo 3

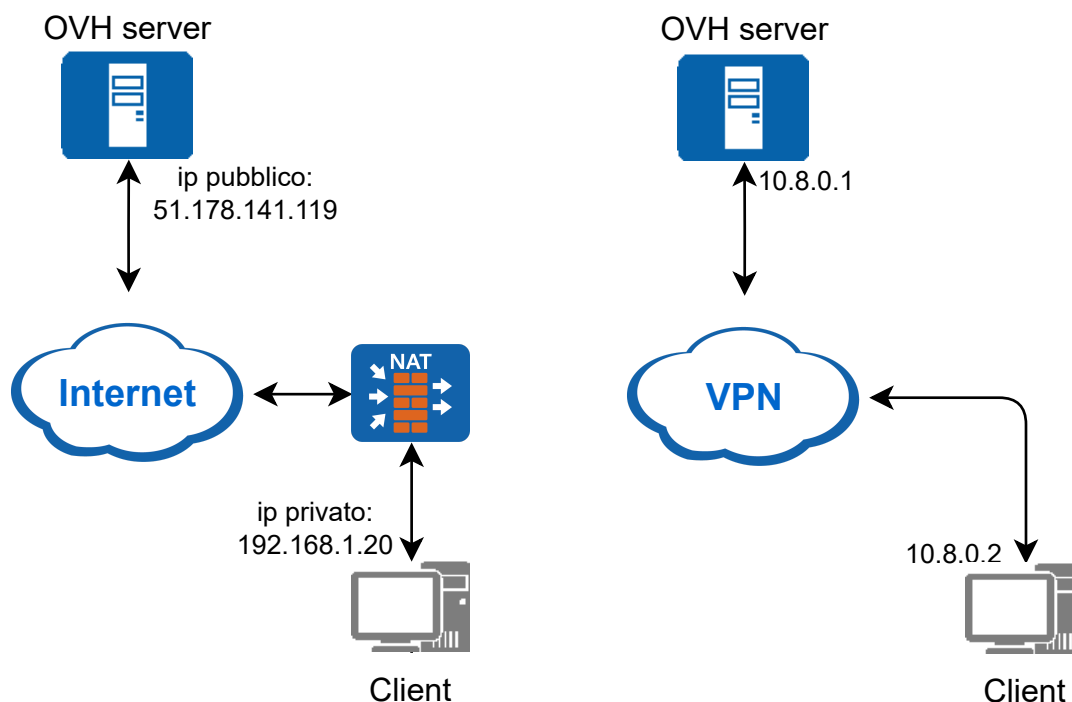
Configurazione del *Server*

3.1 Overview della configurazione e prerequisiti OK

In questo capitolo verrà installato e configurato *OpenVPN server* sulla VPS di OVHCloud.

Per facilitare la configurazione e il testing, si suppone di partire da una topologia che contiene solo il server OpenVPN e un generico client. Come da specifiche, il Server deve avere a disposizione un'IP pubblico (sezione 2.2); e il client deve essere il più generico possibile, viene quindi supposto al di sotto di un NAT (sezione 2.2).

Sapendo che l'IP pubblico del Server è `51.178.141.119`, si avrà una configurazione iniziale come in figura 3.1a.



(a) Configurazione di partenza per questo capitolo.

(b) Configurazione virtuale da raggiungere per questo capitolo.

Figura 3.1: Configurazione di partenza e di obiettivo per il capitolo 3.

Per instaurare una comunicazione bidirezionale tra il server e il client, si dovrà configurare opportunamente una rete VPN, che risulterà nella configurazione virtuale rappresentata in figura 3.1b.

3.2 Creazione della *Public key infrastructure* OK

Per la gestione dell'autenticazione dei client alla VPN è necessario creare una *Public key infrastructure* (PKI), come descritto nella sezione 1.2.1. Inoltre, per una maggiore sicurezza è indicato separare la *Certificate Authority* dal *Server OpenVPN* [5], supponiamo quindi di usare un secondo server chiamato *Server CA*.

Il *Server CA* verrà usato in fase di configurazione del *Server* e di creazione dei certificati per i client, dopodiché non sarà più necessario.

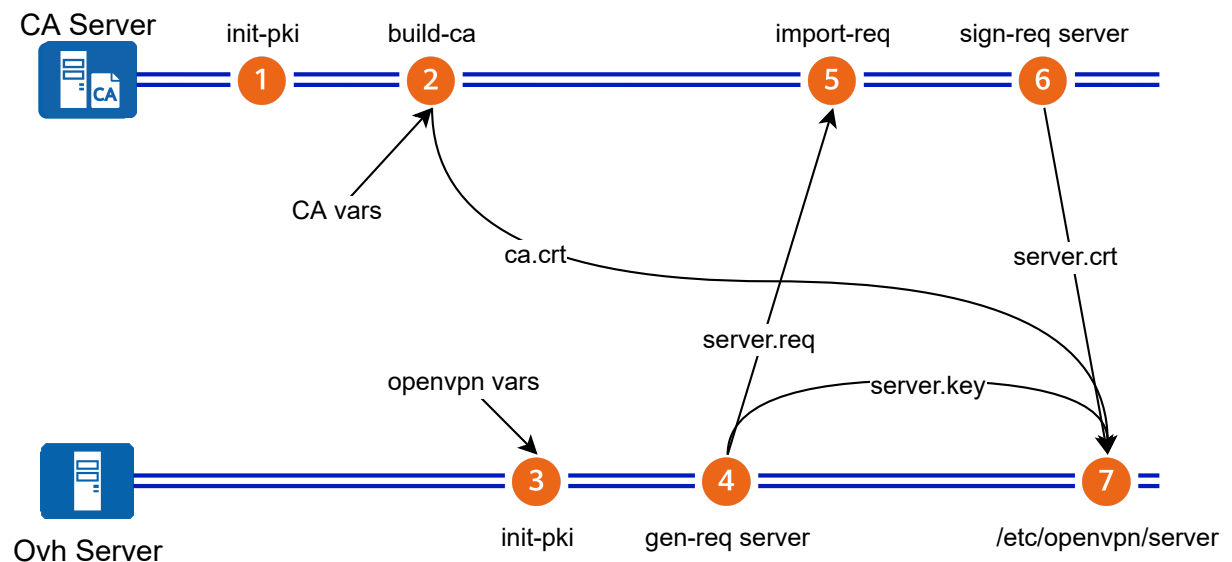


Figura 3.2: Diagramma per schematizzare la procedura di creazione della CA e della PKI del server OpenVPN. **TODO:** va bene senza mettere nessuna spiegazione per lo schema??

3.2.1 Creazione della struttura di cartelle necessaria per ospitare la PKI OK

Per la gestione della PKI verrà usato il tool *easy-rsa*, che fornisce un wrapper intorno alle funzionalità di *OpenSSL* facilitandone l'utilizzo.

Il pacchetto *easy-rsa* è presente nei repository ufficiali di ubuntu e può essere installato con il comando `sudo apt-get install easy-rsa`.

Dopo l'installazione verrà creata una struttura di cartelle pronta a ospitare la PKI nel percorso `/usr/share/easy-rsa/`, ma è sconsigliato usarla per motivi di sicurezza.

Quindi si deve spostare/collegare questo percorso in una cartella di un utente non privilegiato, in questo caso `ubuntu`. Per semplicità il collegamento verrà creato nella *home*:

```
Server CA code: 3.2.1
1 $ mkdir ~/openvpn-ca
2 $ ln -s /usr/share/easy-rsa/* ~/openvpn-ca/ # soft link di easy-rsa nella home
3 $ chmod 700 /home/ubuntu/openvpn-ca/      # cambio i permessi in modo che solo l'utente
4                                           # corrente possa leggere il contenuto
```

A questo punto è possibile usare lo script `easyrsa` presente nella cartella per creare la PKI.

```
Server CA code: 3.2.2
1 $ tree ~/openvpn-ca/
2 .
3 |-- easyrsa -> /usr/share/easy-rsa/easyrsa
4 |-- openssl-easyrsa.cnf -> /usr/share/easy-rsa/openssl-easyrsa.cnf
5 |-- vars.example -> /usr/share/easy-rsa/vars.example
6 |-- x509-types -> /usr/share/easy-rsa/x509-types
```

3.2.2 Creazione della *Certificate Authority* CA OK

Il primo step è la creazione della *Certificate Authority*, passaggio 1 fig.3.2.

Si deve quindi usare l'albero di cartelle creato in code: 3.2.1:

```
Server CA code: 3.2.3
1 $ cd openvpn-ca/
2 $ ./easyrsa init-pki
3 init-pki complete; you may now create a CA or requests.
4 Your newly created PKI dir is: /home/ubuntu/openvpn-ca/pki
```

Ora si devono personalizzare le variabili `vars`, si può sia partire da un file vuoto oppure modificare `vars.example` per poi rinominarlo `vars`.

In questo caso verrà creato un nuovo file: *TODO: è ok lasciare queste?*

```
Server CA code: 3.2.4
1 $ vim vars
2 set_var EASYRSA_REQ_COUNTRY "IT"
3 set_var EASYRSA_REQ_PROVINCE "MC"
4 set_var EASYRSA_REQ_CITY "Recanati"
5 set_var EASYRSA_REQ_ORG "Esse-ti"
6 set_var EASYRSA_REQ_EMAIL "s.gasparrini@esse-ti.it"
7 set_var EASYRSA_REQ_OU "Esse-ti"
8 set_var EASYRSA_REQ_CN "openvpn-ca"
9
10 set_var EASYRSA_ALGO "ec"
11 set_var EASYRSA_DIGEST "sha512"
```

Le variabili nel primo blocco determinano i dati che poi verranno registrati nei certificati. Le ultime 2 sono opzioni di sicurezza. In particolare si setta il tipo di algoritmo di cifratura per usare la crittografia a chiave ellittica ([Elliptic-Curve Cryptography](#)); L'ultima opzione setta l'algoritmo di hashing da usare nella firma dei certificati.

A questo punto si deve lanciare il comando `build-ca` per costruire la CA (passaggio 2 fig.3.2):

```
Server CA code: 3.2.5
1 $ ./easyrsa build-ca
2
3 Note: using Easy-RSA configuration from: ./vars
4
5 Using SSL: openssl OpenSSL 1.1.1f 31 Mar 2020
6
7 Enter New CA Key Passphrase:
8 Re-Enter New CA Key Passphrase:
9 read EC key
10 writing EC key
11
12 You are about to be asked to enter information that will be incorporated
13 into your certificate request.
14 What you are about to enter is what is called a Distinguished Name or a DN.
15 There are quite a few fields but you can leave some blank
16 For some fields there will be a default value,
17 If you enter '.', the field will be left blank.
18 -----
19 Common Name (eg: your user, host, or server name) [Easy-RSA CA]:
20
21 CA creation complete and you may now import and sign cert requests.
22 Your new CA certificate file for publishing is at:
23 /home/ubuntu/openvpn-ca/pki/ca.crt
```

Eseguendo il comando verrà chiesto di inserire una passphrase, che verrà usata per cifrare la chiave privata appena generata. Se non si vuole cifrare la chiave privata, basta lasciare il campo vuoto. Il secondo prompt è relativo al *Common Name* da dare alla certificazione, in questo caso

è stato lasciato il valore di default `Easy-RSA CA`.

3.2.3 Configurazione della PKI di OpenVPN OK

Il procedimento è simile al precedente, ma questa volta va eseguito sul *Server*.

Quindi per prima cosa si devono ripetere i passaggi fatti in sezione 3.2.1, questa volta però la cartella è stata chiamata `openvpn-pki` in modo da distinguerle:

Server	code: 3.2.6
<pre>1 \$ mkdir openvpn-pki 2 \$ ln -s /usr/share/easy-rsa/* ~/openvpn-pki/ 3 \$ chmod 700 /home/ubuntu/openvpn-pki/ 4 \$ cd openvpn-pki/</pre>	

Si deve quindi creare un file `vars`, che questa volta conterrà solo le informazioni essenziali, e poi dare il comando `init-pki` (step 3 fig.3.2):

Server	code: 3.2.7
<pre>1 \$ vim vars 2 set_var EASYRSA_ALGO "ec" 3 set_var EASYRSA_DIGEST "sha512" 4 \$./easyrsa init-pki 5 Note: using Easy-RSA configuration from: ./vars 6 7 init-pki complete; you may now create a CA or requests. 8 Your newly created PKI dir is: /home/ubuntu/openvpn-pki/pki</pre>	

A questo punto il server OpenVPN ha tutti i prerequisiti per creare una sua chiave privata e relativa *Certificate Signing Request* (step 4 fig.3.2).

Come *Common Name* è stato scelto `server`:

```
Server code: 3.2.8
1 $ ./easyrsa gen-req server nopass
2
3 Note: using Easy-RSA configuration from: ./vars
4
5 Using SSL: openssl OpenSSL 1.1.1f 31 Mar 2020
6 Generating an EC private key
7 writing new private key to '/home/ubuntu/openvpn-pki/pki/private/server.key.438W2xM0g9'
8 -----
9 You are about to be asked to enter information that will be incorporated
10 into your certificate request.
11 What you are about to enter is what is called a Distinguished Name or a DN.
12 There are quite a few fields but you can leave some blank
13 For some fields there will be a default value,
14 If you enter '.', the field will be left blank.
15 -----
16 Common Name (eg: your user, host, or server name) [server]:
17
18 Keypair and certificate request completed. Your files are:
19 req: /home/ubuntu/openvpn-pki/pki/reqs/server.req
20 key: /home/ubuntu/openvpn-pki/pki/private/server.key
```

La chiave `server.key` va copiata nella cartella del server OpenVPN:

```
Server code: 3.2.9
1 $ sudo cp /home/ubuntu/openvpn-pki/pki/private/server.key /etc/openvpn/server/
```

Il secondo file creato, `server.req`, corrisponde a una *Certificate Signing Request (CSR)* che va firmata e validata dalla CA.

3.2.4 Firma del certificato OpenVPN dalla CA OK

Per firmare la *Certificate Signing Request* si deve copiare il file `.req` nel *Server CA*. Supponendo di averlo copiato nella cartella `/tmp`, lo si deve importare nella CA e firmarlo,

ciò corrisponde ai passaggi 5 e 6 fig.3.2:

Server CAcode: 3.2.10

```
1 $ cd ~/openvpn-ca
2 $ ./easyrsa import-req /tmp/server.req server # passaggio 5
3 $ ./easyrsa sign-req server server # passaggio 6
4 Using configuration from /home/ubuntu/openvpn-ca/pki/safessl-easyrsa.cnf
5 Check that the request matches the signature
6 Signature ok
7 The Subject's Distinguished Name is as follows
8 commonName :ASN.1 12:'server'
9 Certificate is to be certified until Mar 11 15:50:45 2025 GMT (1080 days)
10
11 Write out database with 1 new entries
12 Data Base Updated
```

Verrà creato un file in `~/openvpn-ca/pki/issued` chiamato `server.crt`, che contiene il certificato firmato dalla CA.

Per concludere la procedura (step 7 fig.3.2), si devono copiare i file `ca.crt` e `server.crt` dal *Server CA* al *Server OpenVPN*, spostandoli nella cartella del *Server OpenVPN*: `/etc/openvpn/server`.

3.3 Generazione della *tls-crypt pre-shared key* OK

Per aumentare ulteriormente la sicurezza del nostro *Server OpenVPN* si può creare un'ulteriore chiave, che permette di offuscare il certificato in fase di validazione. In questo caso la chiave è di tipo *preshared* ed è comune per tutti gli utenti, serve principalmente per aggiungere un ulteriore livello di sicurezza.

La creazione va fatta sul *Server OpenVPN* e il file risultante va copiato nella cartella del server OpenVPN:

Servercode: 3.3.1

```
1 $ cd ~/openvpn-pki/
2 $ openvpn --genkey --secret ta.key
3 $ sudo cp ta.key /etc/openvpn/server
```

3.4 Generazione dei certificati per i *clients* OK

La generazione dei certificati per i client consiste in una procedura molto simile alla creazione del certificato del *Server*, sezione 3.2.3 e 3.2.4.



Figura 3.3: Diagramma per schematizzare la procedura di firma di un certificato client.

Per raccogliere tutte le chiavi degli utenti si creerà una cartella nella home, successivamente questa verrà usata per automatizzare la creazione dei file di configurazione OpenVPN che verranno usati dai client per connettersi alla VPN.

Server

code: 3.4.1

```
1 $ mkdir -p ~/client-configs/keys
2 $ chmod -R 700 ~/client-configs
```

A questo punto si possono creare i certificati per i client. Ad esempio si può creare un certificato per il *Client*, è importante che il *Common Name* dato in fase di creazione sia unico ed è consigliabile usare un nome che permetta di collegare il certificato con il cliente che ha richiesto il servizio. Ciò permette di conoscere quale certificato revocare [2] in caso sia necessario.

In questo caso è stato usato il *Common Name* `client1` (step 1 fig.3.3):

Server

code: 3.4.2

```
1 $ cd ~/openvpn-pki/
2 $ ./easysrsa gen-req client1 nopass
```

Con questo comando verranno creati 2 file:

- `pki/private/client1.key` costituisce la chiave privata del certificato e va copiata nella cartella creata in code: 3.4.1;

- `pki/reqs/client1.req` è la *Certificate Signing Request* che deve essere copiata nel *Server CA* per essere firmata.

Supponiamo di aver copiato il file `client1.req` nella cartella `tmp` del *Server CA*, e' quindi possibile importarla e firmarla (passaggi 2 e 3 fig.3.3):

```

Server CA code: 3.4.3
1 $ cd ~/openvpn-ca
2 $ ./easysrsa import-req /tmp/client1.req client1      # passaggio 2
3 $ ./easysrsa sign-req client client1                # passaggio 3
4 Using configuration from /home/ubuntu/openvpn-ca/pki/safessl-easysrsa.cnf
5 Check that the request matches the signature
6 Signature ok
7 The Subject's Distinguished Name is as follows
8 commonName      :ASN.1 12:'client1'
9 Certificate is to be certified until Mar 16 13:15:09 2025 GMT (1080 days)
10
11 Write out database with 1 new entries
12 Data Base Updated

```

Ciò produrrà il file di certificato `openvpn-ca/pki/issued/client1.crt` che deve essere copiato nel *Server OpenVpn*, supponiamo di copiarlo nella cartella `~/client-configs/keys/`.

3.4.1 Script per la creazione delle configurazioni dei client OK

Per facilitare la creazione dei file di configurazione OpneVPN dei client, `Common-Name.ovpn`, andremo a creare un apposito script bash che userà la cartella creata in code: 3.4.1.

Per concludere la preparazione si devono copiare i file `ta.key` (creato nella sezione 3.3) e `ca.crt` (creato nella sezione 3.2.4), correggendo inoltre l'*owner* in modo che l'utente non privilegiato vi possa accedere:

```

Server code: 3.4.4
1 $ cp ~/openvpn-pki/ta.key ~/client-configs/keys/
2 $ sudo cp /etc/openvpn/server/ca.crt ~/client-configs/keys/
3 $ sudo chown ubuntu:ubuntu ~/client-configs/keys/*

```

Ora si deve scaricare e personalizzare la configurazione di esempio per i client:

Servercode: 3.4.5

```
1 $ cd ~/client-configs/
2 $ wget "https://raw.githubusercontent.com/OpenVPN/openvpn\
3     /master/sample/sample-config-files/client.conf" \
4     -O base.conf
5 $ vim base.conf
6 42 remote 51.178.141.119 1194      # va messo l'IP e la porta del server OpenVPN
7 88 ;ca ca.crt                    # non useremo i file esterni ma ingloberemo
8 89 ;cert client.crt              # questi file direttamente nella
9 90 ;key client.key                # configurazione del client
10 108 ;tls-auth ta.key 1           #
11 116 cipher AES-256-GCM          # cifratura usata
12 117 auth SHA256                  # autenticazione usata
13 118 key-direction 1              # indica che è un client
```

Ora si può creare lo script bash `make_config.sh`:

Servercode: 3.4.6

```
1 $ vim make_config.sh
2 #!/bin/bash
3
4 # usage:
5 # $ make_config.sh client1
6 # will use [ca.crt, client1.crt, client1.key, ta.key] to create client1.ovpn
7
8 KEY_DIR=~/.client-configs/keys
9 OUTPUT_DIR=~/.client-configs/files
10 BASE_CONFIG=~/.client-configs/base.conf
11
12 cat ${BASE_CONFIG} \
13     <(echo -e '<ca>' ) \
14     ${KEY_DIR}/ca.crt \
15     <(echo -e '</ca>\n<cert>' ) \
16     ${KEY_DIR}/${1}.crt \
17     <(echo -e '</cert>\n<key>' ) \
18     ${KEY_DIR}/${1}.key \
19     <(echo -e '</key>\n<tls-crypt>' ) \
20     ${KEY_DIR}/ta.key \
21     <(echo -e '</tls-crypt>' ) \
22     > ${OUTPUT_DIR}/${1}.ovpn
23 $ chmod 700 make_config.sh
```

Questo script permette di aggiungere in modo *inline* i file necessari all'autenticazione di un client alla VPN, ha il vantaggio di poter inviare al cliente un solo file invece di 5.

Quindi, in base al *Common Name* passato come argomento, lo script userà: il certificato della CA, `ca.crt`; il certificato e chiave relativi al *Client* per cui si sta creando la configurazione, usando il *Common Name* passato come argomento; e la *presheared key*, `ta.key`.

Il tutto viene scritto in un file che ha lo stesso nome del *Common Name* del *Client* per cui si sta creando la configurazione ma con estensione `.ovpn`.

Quindi per creare la configurazione di *client1* (passaggio 4 fig.3.3):

```
Server code: 3.4.7
1 $ ./make_config.sh client1
```

Ciò creerà il file `client-configs/files/client1.ovpn`, successivamente sarà necessario copiare questo file nella macchina del *Client*.

3.5 Creazione del file di configurazione del Server OpenVPN OK

Il server openvpn viene configurato attraverso il file di configurazione `/etc/openvpn/server/server.conf`, per non partire da una configurazione vuota si può usare la configurazione di esempio offerta da OpenVPN:

```
Server code: 3.5.1
1 $ cd /etc/openvpn/server/
2 $ sudo wget "https://raw.githubusercontent.com/OpenVPN/openvpn/\
3     master/sample/sample-config-files/server.conf"
```

A questo punto si deve modificare il file di esempio personalizzandolo per le nostre necessità:

```
Server code: 3.5.2
1 $ sudo vim server.conf
2 85 dh none           # non sono stati usati i parametri Diffie-Hellman
3 92 topology subnet  # topologia raccomandata
4 244 ;tls-auth ta.key 0 # questa riga va commentata
5 245 tls-crypt ta.key  # selezione della preshared key
6 253 cipher AES-256-GCM # selezione della cifratura scelta
7 275 user nobody       # utente che eseguirà il server openvpn, in modo da
8                       # restringere i permessi
9 276 group nogroup     # stassa cosa per il gruppo
10 318 auth sha256       # selezione del metodo di autenticazione
```

3.6 Configurazioni sulla network stack del Server OK

OpenVPN per funzionare necessita che il server abbia l'*ip forwarding* abilitato. Ciò è necessario per permettere al *server OpenVPN* di inoltrare il traffico proveniente dalla VPN nella sua network stack, e viceversa.

Per abilitare l'*ip forwarding* nella network stack si dovrà modificare il file `/etc/sysctl.conf`, il successivo comando serve a ricaricare le configurazioni dai file:

```
1 $ sudo vim /etc/sysctl.conf
2 69 net.ipv4.ip_forward = 1
3 $ sudo sysctl -p
4 net.ipv4.ip_forward = 1
```

3.7 Configurazione del firewall OK

Sulla VPS scelta (sezione 2.2) è presente il firewall `firewalld`, ma per una più semplice configurazione è consigliato di disattivarlo e installare `ufw`:

```
1 $ sudo systemctl mask firewalld
2 $ sudo systemctl stop firewalld
3 $ sudo apt-get install ufw
4 $ sudo ufw allow ssh
5 Rule added
6 Rule added (v6)
7 $ sudo ufw enable
```

È importantissimo abilitare l'SSH prima di abilitare il firewall, altrimenti si perderà l'accesso alla VPS.

3.7.1 Configurazione del NAT OK

Per far sì che i pacchetti provenienti dalla VPN entrino nella network stack del *Server* si deve aggiungere una regola di NAT nel firewall. Per farlo si deve conoscere quale è l'interfaccia di rete del *Server*, cioè quella che ha come IP il suo IP pubblico:

```
1 $ ip addr
2 [...]
3 2: ens3: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc mq state UP group default qlen
   ↪ 1000
4     link/ether a6:23:5f:48:ba:de brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
5     inet 51.178.141.119/20 brd 51.178.141.255 scope global dynamic ens3
6         valid_lft 1857sec preferred_lft 1857sec
7     inet6 fe80::23:bfff:ac24:aace/64 scope link
8         valid_lft forever preferred_lft forever
9 [...]
```

In questo caso il nome dell'interfaccia di rete è `ens3`. E' quindi possibile procedere con la configurazione del NAT:


```
1 $ sudo vim /etc/ufw/before.rules
2 # ## rules.before
3 # ## Rules that should be run before the ufw command line added rules. Custom
4 # rules should be added to one of these chains:
5 # ufw-before-input
6 # ufw-before-output
7 # ufw-before-forward
8 #
9
10 # START OPENVPN RULES
11 # NAT table rules
12 *nat
13 :POSTROUTING ACCEPT [0:0]
14 # Allow traffic from OpenVPN client to ens3
15 -A POSTROUTING -s 10.8.0.0/24 -o ens3 -j MASQUERADE
16 COMMIT
17 # END OPENVPN RULES
18
19
20 # Don't delete these required lines, otherwise there will be errors
21 *filter
22 . . .
```

Nella modifica del file si deve stare attenti a inserire la nuova regola in cima al file e sotto i commenti iniziali, è inoltre importante inserire i commenti nella regola.

3.7.2 Configurazione del packet forwarding OK

Precedentemente abbiamo abilitato il forwarding nella network stack del server (sezione 3.6), ora si deve abilitare la corrispondente opzione nel firewall. Si deve quindi cambiare la regola di default per i pacchetti inoltrati da **DROP** ad **ACCEPT**.

Per farlo si deve modificare il file `/etc/default/ufw`:

```
1 $ sudo vim /etc/default/ufw
2 DEFAULT_FORWARD_POLICY="ACCEPT"
```

3.7.3 Conclusione della configurazione del firewall OK

Per concludere la configurazione si deve abilitare la porta relativa alla vpn, in questo caso `1194` , e riavviare il firewall:

*Server*code: 3.7.5

```
1 $ sudo ufw allow 1194/udp
2 $ sudo ufw reload
3 $ sudo ufw status
4 Status: active
5 To           Action      From
6 --           -
7 22           ALLOW      Anywhere
8 1194/udp     ALLOW      Anywhere
9 22 (v6)      ALLOW      Anywhere (v6)
10 1194/udp (v6) ALLOW      Anywhere (v6)
```

Se la configurazione è stata effettuata correttamente di avrà un output simile al precedente, in caso contrario si dovranno valutare gli errori dati da `ufw` .

Maggiori informazioni sul funzionamento di `ufw` possono essere trovare nella sua [documentazione](#).

3.8 Avvio del Server OpenVPN OK

Ora che la configurazione del Server è in una situazione stabile e' possibile avviarlo:

Servercode: 3.8.1

```
1 $ sudo systemctl enable openvpn-server@server.service
2 $ sudo systemctl start openvpn-server@server.service
3 $ sudo systemctl status openvpn-server@server.service
4 • openvpn-server@server.service - OpenVPN service for server
5     Loaded: loaded (/usr/lib/systemd/system/openvpn-server@.service; enabled; vendor
        ↳ preset: disabled)
6     Active: active (running) since Mon 2022-04-18 13:08:44 CEST; 4h 22min ago
7     Docs: man:openvpn(8)
8           https://community.openvpn.net/openvpn/wiki/Openvpn24ManPage
9           https://community.openvpn.net/openvpn/wiki/HOWTO
10    Main PID: 436 (openvpn)
11    Status: "Initialization Sequence Completed"
12    Tasks: 1 (limit: 9488)
13    Memory: 4.8M
14    CPU: 199ms
15    CGroup: /system.slice/system-openvpn\x2dserver.slice/openvpn-server@server.service
16            └─436 /usr/bin/openvpn --status /run/openvpn-server/status-server.log
17              ↳ --status-version 2 --suppress-timestamps --config server.conf
18 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: TUN/TAP device tun0 opened
19 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: Incoming Control Channel Encryption: Cipher
20 ↳ 'AES-256-CTR' initialized with 256 bit key
21 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: Incoming Control Channel Encryption: Using 256 bit
22 ↳ message hash 'SHA256' for HMAC authentication
23 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: net_addr_v4_add: 10.8.0.1/24 dev tun0
24 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: UDPv4 link local (bound): [AF_INET][undef]:1194
25 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: UDPv4 link remote: [AF_UNSPEC]
26 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: MULTI: multi_init called, r=256 v=256
27 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: IFCONFIG POOL IPv4: base=10.8.0.2 size=253
28 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: IFCONFIG POOL LIST
29 Apr 18 13:08:44 server openvpn[436]: Initialization Sequence Completed
```

Il comando `systemctl enable` abilita il servizio per essere avviato all'avvio della macchina, mentre `systemctl start` lo avvia immediatamente.

Con il comando `systemctl status` si può verificare lo stato del servizio, si vede che il servizio è *active (running)*.

In caso il servizio fallisse ad avviarsi si avrà un breve *log* con `systemctl status`, oppure si possono leggere i *log* completi usando `journalctl -u openvpn-server@server.service`.

3.9 Test della configurazione OK

Ora che la configurazione per questo capitolo è conclusa e' necessario testare che tutto funzioni correttamente.

Per farlo ci spostiamo su una macchina *Client*, con sistema operativo Linux ad esempio. Usando la configurazione creata in code:3.4.7 e' possibile connettere il *Client* alla VPN:

```
Client code: 3.9.1
1 $ sudo openvpn --config client1.ovpn
2 [...]
3 Thu Apr 21 12:53:04 2022 Outgoing Data Channel: Cipher 'AES-256-GCM' initialized with 256
  ↳ bit key
4 Thu Apr 21 12:53:04 2022 Incoming Data Channel: Cipher 'AES-256-GCM' initialized with 256
  ↳ bit key
5 Thu Apr 21 12:53:04 2022 ROUTE_GATEWAY 192.168.1.20/255.255.255.0 IFACE=eth0
  ↳ HWADDR=02:42:0a:00:04:03
6 Thu Apr 21 12:53:04 2022 /sbin/ip route add 10.8.0.1/32 via 10.8.0.2
7 Thu Apr 21 12:53:04 2022 WARNING: this configuration may cache passwords in memory -- use
  ↳ the auth-nocache option to prevent this
8 Thu Apr 21 12:53:04 2022 Initialization Sequence Completed
```

Se la configurazione fino a questo punto è corretta si avrà il messaggio `Initialization Sequence Completed`.

Nel *Client* si avrà una nuova interfaccia di rete chiamata `tun0`, questa è l'interfaccia virtuale creata dalla vpn:

```
Client code: 3.9.2
1 $ ip addr
2 2: tun0: <MULTICAST,NOARP,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc fq_codel state UNKNOWN group
  ↳ default qlen 500
3     link/none
4     inet 10.8.0.2/24 scope global tun0
5         valid_lft forever preferred_lft forever
```

Si può vedere come l'IP assegnato al *Client* dalla VPN è `10.8.0.2`.

Per testare che la connessione sia instaurata correttamente si può usare la utility `ping`, ad esempio possiamo fare il ping dal *Client* verso l'IP interno alla VPN del *Server*:

```
Client code: 3.9.3
1 $ ping -c1 10.8.0.1
2 PING 10.8.0.1 (10.8.0.1) 56(84) bytes of data.
3 64 bytes from 10.8.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.250 ms
```

Se nel frattempo si esegue la utility `tcpdump` sul server si potranno vedere i pacchetti *echo request* ed *echo reply*:

Server		code: 3.9.4
1	\$ sudo tcpdump -i tun0	
2	listening on tun0, link-type RAW (Raw IP), capture size 262144 bytes	
3	13:11:12.018615 IP 10.8.0.2 > 10.8.0.1: ICMP echo request, id 11, seq 1, length 64	
4	13:11:12.018640 IP 10.8.0.1 > 10.8.0.2: ICMP echo reply, id 11, seq 1, length 64	

Si vede quindi che è possibile instaurare una comunicazione bidirezionale tra *Client*, 10.8.0.2, e *Server*, 10.8.0.1.

Con questi test e' possibile concludere che la topologia di obbiettivo per questo capitolo, descritta in fig.3.1b, sia stata realizzata correttamente.

Capitolo 4

Configurazione del *Router* OK OK

4.1 Overview della configurazione OK

In questo capitolo si configurerà il *Router 4g* connettendolo alla VPN.

Continuando a seguire un approccio incrementale, verranno ignorati per ora gli *host-domotici* e verrà aggiunto alla topologia solo il *Router 4G*. Quindi, la configurazione di partenza sarà descritta in fig. 4.1a.

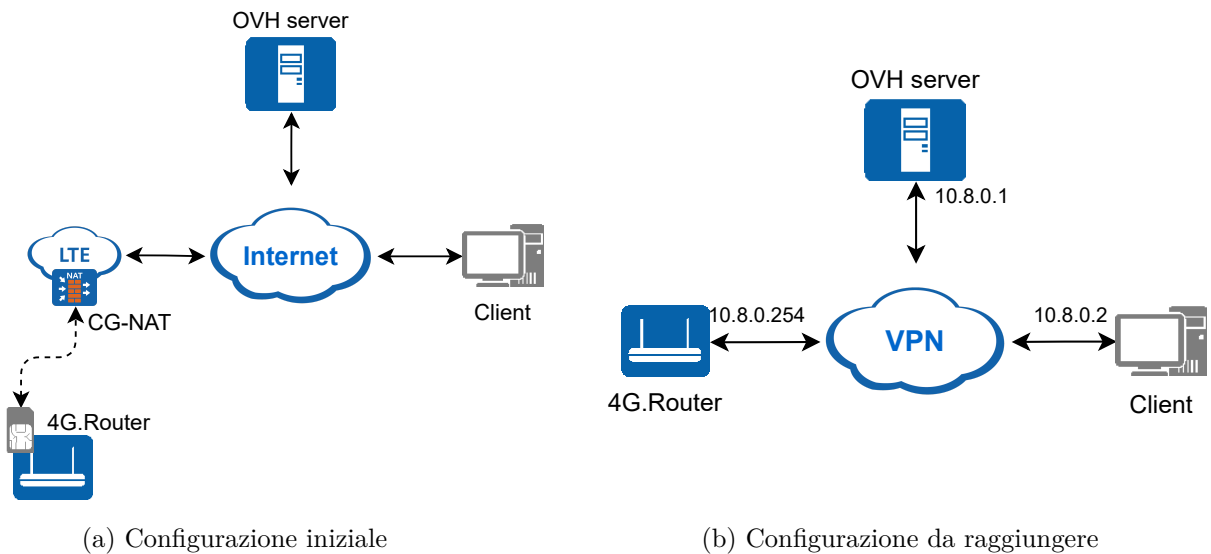


Figura 4.1: Schemi delle configurazioni iniziali e finali per il capitolo 4.

L'obiettivo di questo capitolo è di configurare il *Router 4G* e il *Server* in modo da poter instaurare un canale di comunicazione tra *Router* e *Client*, raggiungendo una topologia virtuale descritta in fig. 4.1b.

4.2 Prerequisiti per la configurazione del *Router* OK

La configurazione del *Router* verrà effettuata sia via shell, sia via interfaccia grafica LuCI, ci si deve assicurare quindi che sia installata (sezione 1.3.1).

Di default OpenVPN non è presente su OpenWRT, ma lo si può installare usando il package manager. Installiamo inoltre il [plugin di OpenVPN per LuCI](#), `luci-app-openvpn` :

```
Router 4g code: 4.2.1
1 $ opkg update
2 $ opkg install openvpn luci-app-openvpn
```

4.3 Creazione della configurazione OpenVPN per il *Router* OK

Per creare il file di configurazione OpenVPN per il *Router* si devono seguire gli step descritti in fig. 3.3. Supponiamo di usare come *Common Name* `router` , quindi dopo aver firmato il certificato e ottenuto il file `router.crt` dal *Server CA* possiamo procedere con la creazione della configurazione OpenVPN usando l'apposito script:

```
Server code: 4.3.1
1 $ ./make_config.sh router
```

Dopodiché si deve copiare il file `router.ovpn` dal *Server* al *Router*, supponiamo di averlo copiato nella cartella `/configs` del *Router*.

4.4 Connessione del *Router* alla VPN OK

Possiamo quindi spostarci nel *Router* e tentare di connetterlo alla VPN:

```
Router 4g code: 4.4.1
1 $ openvpn --config /configs/router.ovpn
2 2022-04-29 17:26:37 OpenVPN 2.5.6 x86_64-openwrt-linux-gnu [SSL (mbed TLS)] [LZ4] [EPOLL]
   ↪ [MH/PKTINFO] [AEAD]
3 [...]
4 2022-04-29 17:26:37 VERIFY ECU OK
5 2022-04-29 17:26:37 VERIFY OK: depth=0, CN=server
6 2022-04-29 17:26:37 Control Channel: TLSv1.2, cipher
   ↪ TLS-ECDHE-RSA-WITH-AES-256-GCM-SHA384, 2048 bit key
7 2022-04-29 17:26:37 [server] Peer Connection Initiated with [AF_INET]10.0.4.2:1194
8 2022-04-29 17:26:37 net_addr_ptp_v4_add: 10.8.0.10 peer 10.8.0.9 dev tun0
9 2022-04-29 17:26:37 Initialization Sequence Completed
```

Se il file di configurazione è stato creato correttamente si vedrà il messaggio `Initialization Sequence Completed`.

Comparirà inoltre l'interfaccia `tun0` a cui è assegnato l'indirizzo IP `10.8.0.3`.

4.5 Auto start del *Client VPN* nel *Router* OK

Per abilitare l'avvio automatico del *Client VPN* all'accensione del router si deve, per prima cosa, modificare il file `/etc/config/openvpn` in modo che faccia riferimento alla configurazione corretta:

```
Router 4g code: 4.5.1
1 $ vim /etc/config/openvpn
2 20 option config /configs/router.ovpn
```

Dopodiché va abilitata usando luci:

The screenshot shows the OpenVPN configuration page in the LuCI web interface. At the top, there is a navigation bar with links for Status, System, Network, VPN, and Logout. The main heading is "OpenVPN" followed by "OpenVPN instances". Below this, a message states: "Below is a list of configured OpenVPN instances and their current state".

Name	Enabled	Started	Start/Stop	Port	Protocol	
custom_config	<input type="checkbox"/>	no	start	1194	udp	Edit Delete
sample_server	<input type="checkbox"/>	no	start	1194	udp	Edit Delete
sample_client	<input type="checkbox"/>	no	start	-	udp	Edit Delete

Below the table is a section titled "Template based configuration" with a form containing an "Instance name" input field, a "Select template ..." dropdown menu, and an "Add" button.

Below that is a section titled "OVPN configuration file upload" with a form containing an "Instance name" input field, a "Browse..." button, and a "No file selected." message. There is also an "Upload" button.

At the bottom right of the page, there are three buttons: "Save & Apply", "Save", and "Reset".

Figura 4.2: Configurazione della VPN tramite LuCI.

Alla riga "custom_config" Si deve mettere il check su *enabled* e premere start, per poi salvare le modifiche. In questo modo il router si conatterà automaticamente alla VPN anche se venisse riavviato.

4.6 Abilitazione del Client-to-Client nel server OpenVPN OK

In questo momento i client della VPN, `client1` e `router`, possono comunicare tra loro. Ma lo fanno passando per la network stack del *Server*, questo può essere verificato con le utility *ping* e *tcpdump*.

Si può ad esempio eseguire un test in cui:

- `router` effettua il *ping* verso `client1`
- `server` è in ascolto sull'interfaccia `tun0` usando `tcpdump`

Router 4g code: 4.6.1

```
1 $ ping -c1 10.8.0.2                                # client1
2 PING 10.8.0.2 (10.8.0.2): 56 data bytes
3 64 bytes from 10.8.0.2: seq=0 ttl=63 time=0.519 ms
```

Il *ping* ha successo, quindi è possibile una comunicazione bidirezionale tra `router` e `client1`.

Dal server si può vedere un'analisi dei pacchetti che passano attraverso l'interfaccia `tun0` usando la utility `tcpdump`:

Server code: 4.6.2

```
1 $ sudo tcpdump -i tun0
2 listening on tun0, link-type RAW (Raw IP), snapshot length 262144 bytes
3 16:20:50.791063 IP 10.8.0.3 > 10.8.0.2: ICMP echo request, id 1759, seq 0, length 64
4 16:20:50.791098 IP 10.8.0.3 > 10.8.0.2: ICMP echo request, id 1759, seq 0, length 64
5 16:20:50.791273 IP 10.8.0.2 > 10.8.0.3: ICMP echo reply, id 1759, seq 0, length 64
6 16:20:50.791285 IP 10.8.0.2 > 10.8.0.3: ICMP echo reply, id 1759, seq 0, length 64
```

Si vede però che ogni richiesta viene duplicata, la prima è in entrata sulla network stack del *Server* e la seconda in uscita. Ciò perché il forwarding del pacchetto viene effettuato dal layer IP del *Server*, e dato che `tcpdump` è in ascolto sull'interfaccia `tun0`, il pacchetto viene letto 2 volte. Si può vedere una rappresentazione del percorso del pacchetto nella network stack del *Server* in fig. 4.3a, si vede come il pacchetto passa 2 volte per l'interfaccia `tun0`, punto 2 e 5.

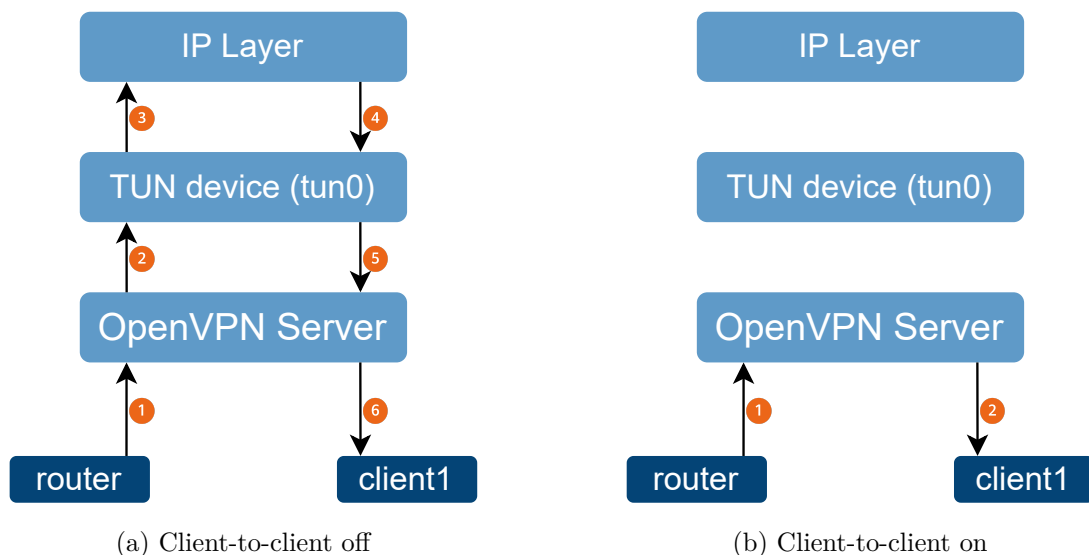


Figura 4.3: Effetto del `client-to-client` sulla network stack del *Server* [19].

Per evitare questo traffico possiamo abilitare l'opzione `client-to-client` nel *Server OpenVPN*. In questo modo il layer OpenVPN effettuerà direttamente il forwarding tra i client della VPN. Graficamente si vede in fig. 4.3b come il pacchetto viene subito inoltrato e non entra affatto nella network stack del server. Ciò comporta, come effetto collaterale, che i pacchetti tra client della VPN non siano soggetti alle regole di firewall imposte nel *Server*.

Si deve quindi modificare la configurazione del *Server OpenVPN*:

<i>Server</i>	code: 4.6.3
1	<code>\$ vim /etc/openvpn/server/server.conf</code>
2	<code>209 client-to-client</code>
3	<code>\$ sudo systemctl restart openvpn-server@server.service</code>

Dopo aver riavviato il servizio di openvpn con `systemctl restart`, è possibile rieseguire gli stessi test fatti sopra:

<i>Router 4g</i>	code: 4.6.4
1	<code>\$ ping -c1 10.8.0.2</code> # client1
2	PING 10.8.0.2 (10.8.0.2): 56 data bytes
3	64 bytes from 10.8.0.2: seq=0 ttl=64 time=0.351 ms

Ma questa volta la network stack del *Server* non vede nessun pacchetto, dato che i pacchetti non passano attraverso l'interfaccia `tun0` (fig. 4.3b):

<i>Server</i>	code: 4.6.5
1	<code>\$ sudo tcpdump -i tun0</code>
2	listening on tun0, link-type RAW (Raw IP), snapshot length 262144 bytes

4.7 Assegnazione IP statico al *Router* OK

Dato che non è possibile sapere a priori quanti client si connetteranno contemporaneamente alla VPN, e l'assegnazione degli IP da parte del *Server OpenVPN* è dinamico, per conoscere sempre quale IP viene assegnato al *Router* è necessario assegnargliene uno statico attraverso un'opportuna configurazione.

Questo viene fatto usando la `client-config-dir`, che consiste in una cartella dove l'amministratore può creare dei file di configurazione specifici per determinati utenti. Ciò è utile in caso alcune configurazioni non debbano essere applicate a tutti gli utenti, ma solo a uno. Il nome del file nella cartella deve essere lo stesso del *Common Name* del certificato del client per cui si sta creando la configurazione.

Nel caso in esame è necessario impostare un IP statico per il *Router*, quindi si deve creare nella cartella `ccd` un file chiamato `router`.

L'opzione che permette di impostare un IP statico attraverso la `client-config-dir` è `ifconfig-push` [11]:

Server	code: 4.7.1
1	<code>\$ sudo mkdir /etc/openvpn/server/ccd</code> # creo la client-config-dir
2	<code>\$ sudo vim /etc/openvpn/server/ccd/router</code>
3	<code>ifconfig-push 10.8.0.254 255.255.255.0</code> # impongo l'ip per questo common name
4	<code>\$ sudo vim /etc/openvpn/server/server.conf</code> # abilito l'opzione nella config del server
5	<code>167 client-config-dir ccd</code>
6	<code>\$ sudo systemctl restart openvpn-server@server.service</code>

Così facendo al router gli verrà sempre assegnato l'IP `10.8.0.254`, indipendentemente dall'ordine in cui gli host si connettono alla vpn. Ciò ci permette di sapere sempre e a priori qual è l'IP del router.

Capitolo 5

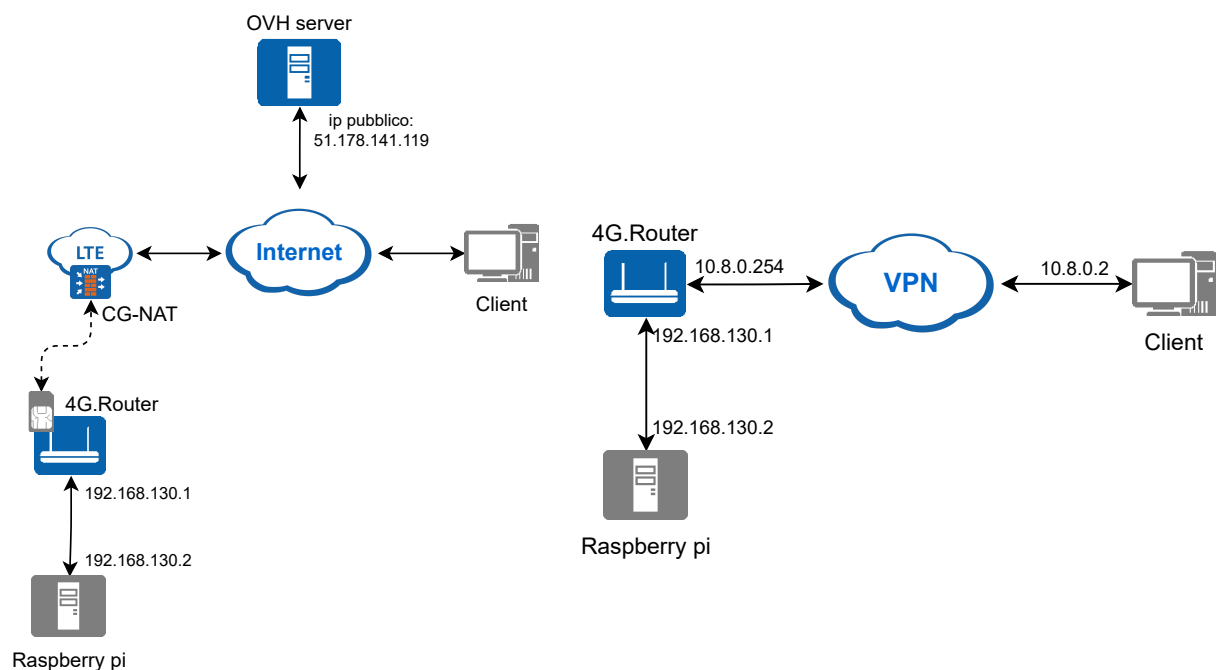
Connessione degli Host domotici alla VPN OK OK

5.1 Overview della configurazione OK

L'ultima parte della configurazione consiste nel rendere disponibile nella VPN la rete locale del *router 4g*, consentendo quindi lo scambio di dati tra gli *host-domotici* e i *Client* della VPN.

Per fare ciò si dovrà configurare il *Router* in modo che effettui il forwarding verso la VPN, e il *Server* in modo che annunci la sottorete del *Router* a tutti gli Host della VPN.

In fig. 5.1a è possibile vedere la configurazione iniziale per questo capitolo, cioè la configurazione finale del capitolo 4 con l'aggiunta dell'*host-domotico* connesso al *Router*.



(a) Diagramma reale della configurazione iniziale per questo capitolo

(b) Diagramma della topologia virtuale finale.

Figura 5.1: Schemi concettuali della configurazione iniziale e finale per il capitolo 5.

Una volta conclusa la configurazione si arriverà a una topologia virtuale descritta in fig. 5.1b, che costituisce inoltre la topologia di obbiettivo per questo elaborato (fig. 2.3).

5.2 Configurazione del firewall nel *Router* OK

5.2.1 Creazione della zona firewall per la VPN OK

Per rendere possibile la comunicazione tra la rete *lan* del *Router* e la VPN è necessario configurare opportunamente il firewall nel *Router*.

Ciò viene fatto direttamente da LuCI, nella sezione firewall si avranno preconfigurate delle zone firewall, in questo caso sono presenti di default 2 zone: *lan* e *wan*

The screenshot shows the OpenWRT LuCI interface for Firewall - Zone Settings. The top navigation bar includes 'openwrt', 'Status', 'System', 'Network', 'VPN', and 'Logout'. Below the navigation bar, there are tabs for 'General Settings', 'Port Forwards', 'Traffic Rules', and 'NAT Rules'. The main heading is 'Firewall - Zone Settings' with a subtext: 'The firewall creates zones over your network interfaces to control network traffic flow.'

General Settings

- Enable SYN-flood protection: ☒
- Drop invalid packets: ☐
- Input:
- Output:
- Forward:

Zones

Zone ⇒ Forwardings	Input	Output	Forward	Masquerading	
lan ⇒ wan	<input type="text" value="accept"/>	<input type="text" value="accept"/>	<input type="text" value="accept"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Delete"/>
wan ⇒ REJECT	<input type="text" value="reject"/>	<input type="text" value="accept"/>	<input type="text" value="reject"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Delete"/>

Figura 5.2: Configurazione di default delle zone del firewall.

Le 2 zone sono collegate alle relative interfacce: la zona *lan* è collegata all'interfaccia relativa alla rete interna del *Router*; la zona *wan* è collegata all'interfaccia esterna del *Router*.

Si deve quindi aggiungere una nuova zona, chiamata *vpn*, che successivamente sarà collegata all'interfaccia virtuale della VPN (*tun0*). La zona *vpn* dovrà avere le seguenti opzioni:

- Policy di forward: accept
- Forward consentito verso la zona *lan*
- Forward consentito dalla zona *lan*

In figura 5.3 è possibile vedere la pagina di configurazione con le opzioni inserite.

Firewall - Zone Settings

[General Settings](#) [Advanced Settings](#) [Conntrack Settings](#)

This section defines common properties of "this new zone". The *input* and *output* options set the default policies for traffic entering and leaving this zone while the *forward* option describes the policy for forwarded traffic between different networks within the zone. *Covered networks* specifies which available networks are members of this zone.

Name

Input

Output

Forward

Masquerading ☐

MSS clamping ☐

Covered networks

The options below control the forwarding policies between this zone (this new zone) and other zones. *Destination zones* cover forwarded traffic **originating from this new zone**. *Source zones* match forwarded traffic from other zones **targeted at this new zone**. The forwarding rule is *unidirectional*, e.g. a forward from lan to wan does *not* imply a permission to forward from wan to lan as well.

Allow forward to *destination* zones:

Allow forward from *source* zones:

[Dismiss](#) [Save](#)

Figura 5.3: Schermata di aggiunta di una nuova zona firewall.

Dopo aver salvato, la pagina del firewall sarà:

openwrt Status System Network VPN Logout UNSAVED CHANGES: 11

General Settings Port Forwards Traffic Rules NAT Rules

Firewall - Zone Settings

The firewall creates zones over your network interfaces to control network traffic flow.

General Settings

Enable SYN-flood protection ☒

Drop invalid packets ☐

Input: accept

Output: accept

Forward: reject

Zones

Zone ⇒ Forwardings	Input	Output	Forward	Masquerading	
lan ⇒ wan vpn	accept	accept	accept	<input type="checkbox"/>	≡ Edit Delete
wan ⇒ REJECT	reject	accept	reject	<input checked="" type="checkbox"/>	≡ Edit Delete
vpn ⇒ lan	accept	accept	accept	<input type="checkbox"/>	≡ Edit Delete

Add

Save & Apply Save Reset

Figura 5.4: Configurazione delle zone firewall dopo l'aggiunta della zona *vpn*.

5.2.2 Aggiunta dell'interfaccia *tun0* alla zona firewall *vpn* OK

Per far effettivamente funzionare la zona firewall aggiunta nella sezione precedente, si deve aggiungere l'interfaccia relativa alla VPN (*tun0*) alla zona *vpn*.


Dato che l'interfaccia *tun0* non è presente in LuCI, la si deve creare usando le opzioni che già conosciamo. Durante la creazione, nella sezione *Firewall Settings*, sarà possibile assegnare l'interfaccia a una zona firewall.

Quindi nella sezione *interfaces*, si deve aggiungere una nuova interfaccia con le seguenti opzioni:


- **Name:** tun0
- **Proto:** static
- **Device:** tun0
- **ipv4 address:** 10.8.0.254
- **ipv4 netmask:** 255.255.255.0
- **Assign firewall zone:** vpn

Interfaces » TUN0

General Settings Advanced Settings Firewall Settings DHCP Server

Status  **Device:** tun0
RX: 504 B (6 Pkts.)
TX: 808 B (10 Pkts.)

Protocol Static address ▼

Device  tun0 ▼

Bring up on boot ☒

IPv4 address 10.8.0.254 ...

IPv4 netmask 255.255.255.0 ▼


IPv4 gateway

IPv4 broadcast 10.8.0.255

IPv6 address Add IPv6 address... +

IPv6 gateway

IPv6 routed prefix


 Public prefix routed to this device for distribution to clients.


Dismiss Save

(a) General settings

Interfaces » TUN0

General Settings Advanced Settings Firewall Settings DHCP Server

Create / Assign firewall-zone  vpn (empty) ▼

 Choose the firewall zone you want to assign to this interface. Select *unspecified* to remove the interface from the associated zone or fill out the *custom* field to define a new zone and attach the interface to it.

Dismiss Save

(b) Firewall settings

Figura 5.5: Assegnazione interfaccia *tun0* alla zona firewall *vpn* tramite interfaccia LuCI

A questo punto i pacchetti provenienti dalla *lan* del *Router* vengono inoltrati correttamente nella VPN, ma gli Host nella VPN non hanno una rotta verso la rete interna del router, perciò la comunicazione risulta ancora mono direzionale. È possibile verificarlo con un semplice test i cui:

- l'host-domotico effettua il ping verso il client;
- il *Router* è in ascolto sull'interfaccia *tun0* con `tcpdump` ;

Host-domotico

code: 5.2.1

```
1 $ ping -c1 10.8.0.2      # client 1
2 PING 10.8.0.2 (10.8.0.2) 56(84) bytes of data.
3
4 --- 10.8.0.2 ping statistics ---
5 1 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 0ms
```

Router

code: 5.2.2

```
1 $ tcpdump -i tun0
2 15:33:38.363082 IP 192.168.130.2 > 10.8.0.2: ICMP echo request, id 17, seq 1, length 64
```

Si vede come il pacchetto ICMP *echo request* venga correttamente inoltrato nella VPN dal *Router*, ma il `ping` fallisce poiché che non vi è nessun *echo reply* dal *Client*.

5.3 Modifiche alla configurazione OpenVPN del *Server* OK

Come visto nella sezione precedente, la comunicazione tra *host-domotico* e *Client* è ancora mono direzionale. Per renderla bidirezionale, si deve modificare la configurazione del *Server* di OpenVPN facendo in modo che:

1. il *Server OpenVPN* sia consapevole che il *Router* vuole esporre una sua sottorete verso la VPN;
2. i client della VPN abbiano l'opportuna rotta per raggiungere la sottorete dove si trova l'*host-domotico*;

Per il punto 1 è necessario aggiungere l'opzione `iroute` [14] nel file `/etc/openvpn/server/ccd/router`, creato in sezione 4.7:

Server

code: 5.3.1

```
1 $ vim /etc/openvpn/server/ccd/router
2 ifconfig-push 10.8.0.254 255.255.255.0
3 iroute 192.168.130.0 255.255.255.0      # net e netmask della rete lan del router
```

Per il punto 2 è necessario usare l'opzione `push "route [...]"` [13] nella configurazione OpenVPN nel *Server*:

Server

code: 5.3.2

```
1 $ vim /etc/openvpn/server/server.conf
2 168 push "route 192.168.130.0 255.255.255.0"
```

Dopo aver modificato la configurazione del *Server* è necessario riavviarlo con `systemctl restart`.

In questo modo nella procedura di connessione alla VPN, i client aggiungeranno la rotta verso la sottorete `192.168.130.0/24` nella loro tabella di routing. Possiamo verificarlo con:

```
Client code: 5.3.3
1 $ ip route
2 [...]
3 192.168.130.0/24 via 10.8.0.1 dev tun0
```

5.4 Test e analisi della configurazione

Al termine della procedura di configurazione esposta, l'obiettivo precedentemente fissato in sezione 2.1 risulta completamente raggiunto. Ma è opportuno effettuare alcuni test che coprono i casi d'uso più comuni.

Nelle procedure di verifica verranno usate le utility `ping`, `tracpath` e `tcpdump`, poste in vari punti della topologia, in modo da valutare il percorso reale e virtuale dei pacchetti.

Supponendo per esempio che il *Client* voglia comunicare con un *host-domotico*, in questo caso la *Raspberry Pi* che ha IP `192.168.130.2`, e che il dato da trasmettere sia un ICMP *echo request*, facente parte di un `ping`.

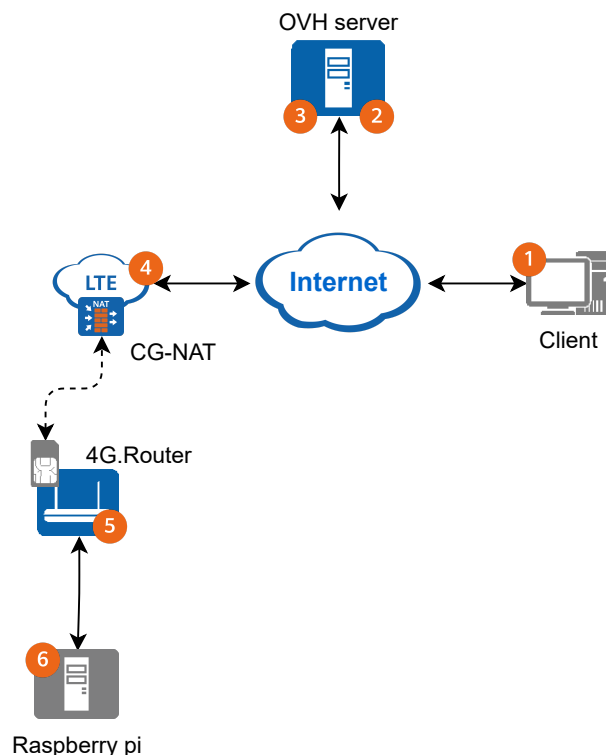


Figura 5.6: Topologia finale con evidenziati alcuni punti di interesse nel percorso del pacchetto.

Nell'analisi andremo a seguire il percorso del pacchetto nei punti di interesse rappresentati in fig. 5.6, esaminando in modo dettagliato cosa succede ad ogni step:

1. Il *Client* (10.8.0.2) effettua il ping verso l'*host-domotico* (192.168.130.2).

<i>Client</i>		code: 5.4.1
1	\$ ping -c 1 192.168.130.2	

Il *Client* ha la subnet 192.168.130.0/24 nella sua tabella di routing (sezione 5.3), può essere quindi costruito un pacchetto di tipo ICMP *echo request* che ha come IP sorgente 10.8.0.2 e come destinazione 192.168.130.2.

A questo punto il *Client OpenVPN* lo cifra e incapsula in un ulteriore pacchetto IP (sezione 1.2.2), che questa volta ha IP di destinazione 51.178.141.119, cioè l'IP pubblico del *Server*. Il pacchetto può essere quindi trasmesso attraverso Internet.

2. Il *Server* riceve il pacchetto, vedendo che il payload è di tipo OpenVPN lo inoltra al *Server OpenVPN* (sezione 3.6 e 3.7).

Il contenuto del pacchetto viene quindi decifrato e analizzato.

Dato che l'opzione `client-to-client` è abilitata (sezione 4.6) il traffico non passa per l'interfaccia `tun0`, infatti mettendoci in ascolto con `tcpdump` non vediamo nessun pacchetto:

<i>Server</i>		code: 5.4.2
1	\$ tcpdump -i tun0	

Possiamo però vedere il pacchetto transitare sull'interfaccia esterna del *Server* (`ens3`). In questo caso però vedremo il pacchetto esterno, possiamo riconoscerlo e distinguerlo dal normale traffico internet selezionando la porta di OpenVPN:

<i>Server</i>		code: 5.4.3
1	\$ sudo tcpdump -i ens3 -n port 1194	
2	15:43:15.543169 IP 151.57.44.194.59478 > 51.178.141.119.1194: UDP, length 108	

3. Il *Server OpenVPN* analizza il campo IP di destinazione e verifica che il pacchetto è destinato nella subnet 192.168.130.0/24, data la configurazione fatta in sezione 5.3, il *Server* provvederà a inoltrarlo al *Router* (10.8.0.254).

La comunicazione attraverso il NAT è possibile poiché OpenVPN implementa nel suo protocollo una serie di pacchetti *keepalive* [12] tra ogni Host e il *Server*. Ciò permette al NAT di sapere a quale host della sua rete privata deve inoltrare i pacchetti.

Il pacchetto viene cifrato con il certificato del *Router* e inoltrato usando come IP di sorgente 51.178.141.119 e destinazione l'IP pubblico del NAT.

Possiamo vedere il pacchetto in uscita dal *server* mettendoci in ascolto sull'interfaccia *ens3*:

```
Server code: 5.4.4
1 $ sudo tcpdump -i ens3 -n port 1194
2 15:43:15.543273 IP 51.178.141.119.1194 > 151.47.152.251.40637: UDP, length 108
```

4. Il NAT effettua la traduzione, modificando l'IP e la porta del pacchetto esterno e lo inoltra all'interfaccia *wan* del *Router*.
5. Il *Router* riceve il pacchetto e lo decifra usando il suo certificato. Vedendo che il pacchetto interno è destinato alla subnet `192.168.130.0/24`, deve essere quindi inoltrato alla sua *lan* (sezione 5.2.1 e 5.2.2).

Il pacchetto interno viene quindi inoltrato all'*host-domotico* (`192.168.130.2`).

In questo caso è possibile vedere il percorso del pacchetto decifrato con `tcpdump`:

```
Router code: 5.4.5
1 $ tcpdump -i tun0
2 10:44:07.228387 IP 10.8.0.2 > 192.168.130.2: ICMP echo request, id 12, seq 1,
  ↪ length 64
```

6. Il *host-domotico* riceve il pacchetto e legge il contenuto, vedendo che si tratta di ICMP *echo request* provvede a costruire una risposta ICMP *echo reply* e la invia al *Client*. Ciò viene fatto invertendo sorgente e destinazione del pacchetto *echo request*, cioè impostando sorgente: `192.168.130.2`; e destinazione: `10.8.0.2`.

Se è stato configurato tutto correttamente il `ping` avrà successo:

```
Client code: 5.4.6
1 $ ping -c 1 192.168.130.2
2 PING 192.168.130.2 (192.168.130.2) 56(84) bytes of data.
3 64 bytes from 192.168.130.2: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.643 ms
4
5 --- 192.168.130.2 ping statistics ---
6 1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
7 rtt min/avg/max/mdev = 0.643/0.643/0.643/0.000 ms
```

È inoltre possibile verificare il percorso del pacchetto interno (cifrato) usando la utility `tracpath`, che permette di vedere l'indirizzo IP di tutti i router che sono presenti tra chi esegue il comando e la destinazione:

```
Client code: 5.4.7
1 $ tracpath 192.168.130.2
2 1?: [LOCALHOST] pmtu 1500
3 1: 10.8.0.254 0.471ms
4 1: 10.8.0.254 0.473ms
5 2: 192.168.130.2 0.567ms reached
6 Resume: pmtu 1500 hops 2 back 2
```

Come possiamo vedere l'unico router presente nella topologia virtuale è il *Router 4G* (10.8.0.254).

Con questi test possiamo concludere che la topologia sia stata implementata correttamente.

Capitolo 6

Conclusione work-in-progress

L'architettura proposta in questo elaborato è stata effettivamente implementata su apparati reali durante il tirocinio in collaborazione con l'azienda *Esse-ti*. Ciò ci ha permesso di lavorare a stretto contatto con un'azienda del territorio, tenendo conto dei loro requisiti e limiti di budget.

TODO: da riscrivere Per rendere più completo il prodotto è necessario modificare la configurazione per consentire che più clienti, ognuno con il proprio Router 4G, possano usufruire del servizio.

Si deve però stare attenti a mantenere l'isolamento tra i clienti, per evitare che i dati trasmessi da un cliente vengano letti dagli altri.

A livello implementativo ciò significa avere più di un servizio OpenVPN nel *Server*, ogni uno collegato a una *Certificate Authority* differente.

Ad esempio con 2 clienti si avrà un'architettura virtuale simile a fig. 6.1, che corrisponde ad una topologia reale in fig. 6.2.

TODO: espandi!!!

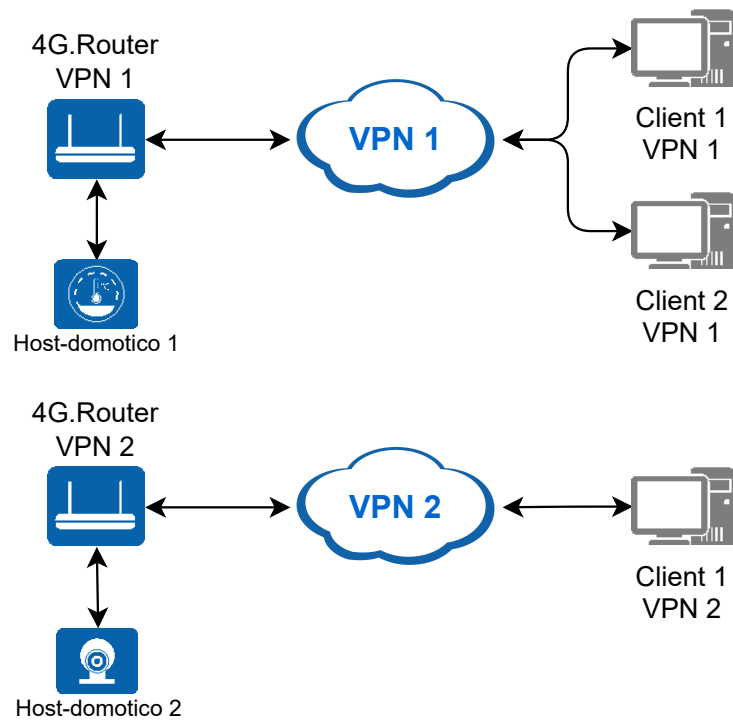


Figura 6.1: multi-istanza virtual

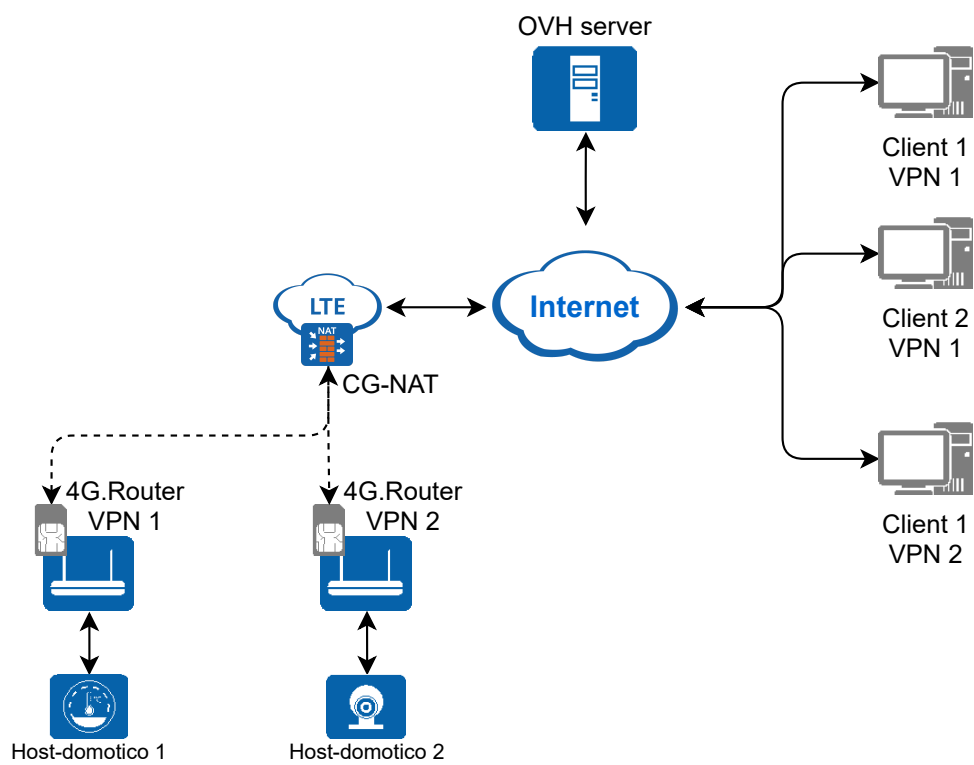


Figura 6.2: multi-istanza real

Bibliografia

- [1] Robert Braden. Requirements for Internet Hosts - Communication Layers. STD 3, RFC Editor, October 1989. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1122.txt>.
- [2] Jamon Camisso. How To Set Up and Configure a Certificate Authority (CA) On Ubuntu 20.04 - Revoking a Certificate. <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-set-up-and-configure-a-certificate-authority-ca-on-ubuntu-20-04#optional-revoking-a-certificate>, 2020. DigitalOcean Tutorial.
- [3] Kjeld Borch Egevang and Paul Francis. The IP Network Address Translator (NAT). RFC 1631, RFC Editor, May 1994. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1631.txt>.
- [4] Huawei. Product image gallery. https://info.support.huawei.com/network/imagelib/getImagePartList?product_family=Router&product_type=Access%20Router%7CIOT%20Gateway&domain=&lang=en.
- [5] jesrush (<https://serverfault.com/users/480025/jesrush>). OpenVPN server as it's own CA – security concerns? Server Fault Stack Exchange. URL:<https://serverfault.com/q/923049/558773> (version: 2018-05-22).
- [6] JGraph. draw.io, 10 2021. <https://www.diagrams.net/>.
- [7] Hannah Ritchie Max Roser and Esteban Ortiz-Ospina. Internet. *Our World in Data*, 2015. <https://ourworldindata.org/internet>.
- [8] Jon Postel. Internet Protocol. STD 5, RFC Editor, September 1981. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc791.txt>.
- [9] Jon Postel. Transmission Control Protocol. STD 7, RFC Editor, September 1981. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc793.txt>.
- [10] E. Rescorla. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. RFC 8446, RFC Editor, August 2018. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8446.txt>.
- [11] Lasse Michael Mølgaard (<https://serverfault.com/users/176217/lasse-michael-m%c3%b8lgaard>). openvpn - ifconfig parameter. Server Fault Stack Exchange. URL:<https://serverfault.com/a/1000725/558773> (version: 2020-01-18).
- [12] Jeeva (<https://superuser.com/users/118163/jeeva>). How to keep alive the VPN connection? SuperUser Stack Exchange. URL:<https://unix.stackexchange.com/a/117775/359169> (version: 2015-06-9).
- [13] Drav Sloan (<https://unix.stackexchange.com/users/44072/drav-sloan>). Openvpn: Push a route to client with a different gateway. Unix & Linux Stack Exchange. URL:<https://unix.stackexchange.com/a/117775/359169> (version: 2018-01-11).
- [14] waldner. Openvpn and iroute. <https://backreference.org/2009/11/15/openvpn-and-iroute/index.html>, 2009.

- [15] Wikipedia. Carrier-grade NAT — Wikipedia, the free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Carrier-grade%20NAT&oldid=1080669652>, 2022. [Online; accessed 12-June-2022].
- [16] Wikipedia. Ethernet II — Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ethernet%5C%20frame&oldid=1080405638#Ethernet_II, 2022. [Online; accessed 04-June-2022].
- [17] Wikipedia. IPv4 address exhaustion — Wikipedia, the free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IPv4%20address%20exhaustion&oldid=1090374520>, 2022. [Online; accessed 04-June-2022].
- [18] Wikipedia. Public key infrastructure — Wikipedia, the free encyclopedia. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Public%20key%20infrastructure&oldid=1085755772>, 2022. [Online; accessed 04-June-2022].
- [19] ysdx (<https://serverfault.com/users/84729/ysdx>). Openvpn client-to-client. Server Fault Stack Exchange. URL:<https://serverfault.com/a/738558/558773> (version: 2018-01-17).