

---

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA  
Dipartimento di Matematica e Informatica



A.D. 1308  
**unipg**  
DIPARTIMENTO  
DI MATEMATICA E INFORMATICA

TESI MAGISTRALE IN INFORMATICA

# Sviluppo di un Covert Channel tramite il protocollo ICMP per l'esfiltrazione di dati

*Relatore*

**Prof. Santini Francesco**

*Laureando*

**Mecarelli Marco**

---

Anno Accademico 2024-2025

---

<b>Indice</b>		
<b>1</b>	<b>Parte 1 - Introduzione</b>	<b>5</b>
	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
1.1	Strumenti Utilizzati . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Parte 2 - Covert Channel implementati</b>	<b>9</b>
	<b>Covert Channel implementati</b>	<b>9</b>
2.1	Timing Covert Channel . . . . .	9
2.1.1	Covert Channel Temporale tramite pacchetti ICMP Echo . . .	9
2.1.2	Timing Channel a 8 bit . . . . .	11
2.2	Storage Covert Channel . . . . .	11
2.3	Struttura della comunicazione fra le entità . . . . .	14
	<b>Test e Risultati</b>	<b>17</b>
2.4	Test . . . . .	17



--

Listings

--

--

# Elenco delle figure

1	.....	7
2	Traffico relatico al comando <i>ls -s</i> .....	7
3	Architettura generale <i>icmp tunnel</i> .....	8
4	Diagramma delle entità presenti .....	15
5	Diagramma del dlusso di comunicazione fra le entita .....	16



---

# 1 Parte 1 - Introduzione

ICMP (Internet Control Message Protocol) è un protocollo che opera al livello di rete (livello 3 nel modello ISO/OSI). e permette la **segnalazione errori**, la **diagnostica di rete** e la **messaggistica di controllo**. Proprio per questo che viene utilizzato per il monitoraggio dello stato di una rete e per la risoluzione dei problemi che avvengono in essa. Data la sua necessità per la diagnostica di rete e la segnalazione degli errori, può essere utilizzato in modo improprio per mettere a segno degli attacchi o per studiare la rete (ricognizione della rete).

Nei seguenti capitoli verrà illustrato come può essere sfruttato per la creazione di un Covert Channel; un attacco che permette (in ambienti ritenuti sicuri) la capacità di comunicare e/o trasferire dati in maniera non autorizzata e non voluta. L'attacco opera al di fuori degli usuali meccanismi di comunicazioni e per questo risulta difficile da rilevare e/o identificare. Sia dagli amministratori che dai tipici strumenti di monitoraggio. Infine, siccome qualsiasi risorsa condivisa può essere utilizzata per la sua creazione, può esistere in qualunque sistema.

## 1.1 Strumenti Utilizzati

### Virtual Box

Il codice sviluppato è stato testato in un ambiente Linux. Per poter far ciò sono state create, per ciascun entità necessaria, una macchina virtuale contenente Ubuntu. Alla fine si sono ottenute quattro macchine virtuali: una per l'attaccante e la vittima, mentre le altre due per i proxy. Si poteva usare anche un singolo proxy ma si voleva testare anche come i dati ricavati dalla vittima, e da inoltrare all'attaccante, venissero distribuiti ai proxy connessi a essa.

### Scapy

Scapy è un framework per la manipolazione dei pacchetti scritto in Python che consente di falsificare molti tipi di pacchetti (http, tcp, ip, udp, icmp, ecc.) È in grado di creare o decodificare pacchetti di vari protocolli. Inoltre può inviarli in rete, catturarli, memorizzarli o leggerne i dati.

Svolge principalmente due funzioni: invia i pacchetti e riceve le risposte, consentendo all'utente di inviare, intercettare, analizzare e falsificare pacchetti di rete. Questa capacità consente la creazione di strumenti in grado di sondare, scansionare o attaccare le reti.

Nella libreria il metodo **send** (o similari) permetteranno di inviare un definito pacchetto. Per definire un pacchetto basterà concatenare i livelli che dovranno essere presenti, e opportunamente inizializzati; mentre per poter ascoltare il traffico di rete basterà una variabile di tipo *AsyncSniffer*.

## RITA

RITA (Real Intelligence Threat Analytics) è uno strumento open source per la ricerca delle minacce di rete, progettato per identificare attività di comando e controllo (C2) dannose. Acquisisce i log di Zeek e utilizza l'analisi comportamentale per identificare sistemi potenzialmente compromessi. Per l'installazione si è seguita la seguente guida. Siccome si utilizza un computer Windows, i comandi sono stati eseguiti tramite WSL (Windows Subsystem for Linux).

Le funzionalità principali sono: il rilevamento dei Beacon, rilevamento del tunneling DNS, rilevamento di connessioni che hanno comunicato per tempi lunghi, controllo dei feed per le Threat Intel (domini e host sospetti), valutazione per gravità delle connessioni, quanti host hanno comunicato con un determinato host, il primo incontro di un host,

## ICMP Door

È stato studiato per comprendere come potesse effettuare il tunneling dei dati. Oltre alla struttura delle entità, che successivamente verrà ridefinita, risulta interessante come il programma richiede degli argomenti dall'utente. Tramite la libreria *argparse* richiede all'utente l'interfaccia su cui ascoltare i dati e l'indirizzo di destinazione dei pacchetti. Inoltre usa il metodo *sniff* del framework Scapy per ascoltare il flusso dei dati mentre tramite *sr* invia i pacchetti.

Sebbene il programma ci introduce a una possibile struttura del Covert Channel; gli si sono trovati dei difetti. Gli svantaggi sono che i dati vengono trasmessi non solo

nel campo data, del messaggio di tipologia ICMP Echo Reply, ma anche in chiaro. Inoltre il valore del campo identifier rimano invariato per tutta la sessione. Un sistema di sicurezza, se vedesse le molteplici risposte (che non combaciano con il numero di richieste) e leggesse i testi in chiaro, potrebbe identificare il canale nascosto. Di solito per ogni Echo Request corrisponde una singola Echo Reply in cui la risposta rimanda i dati ricevuti e il campo data di solito contiene frasi già preimpostate e sempre costanti (e.g 'helloworld').

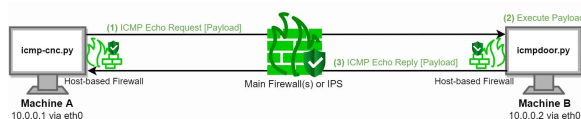


Figura 1

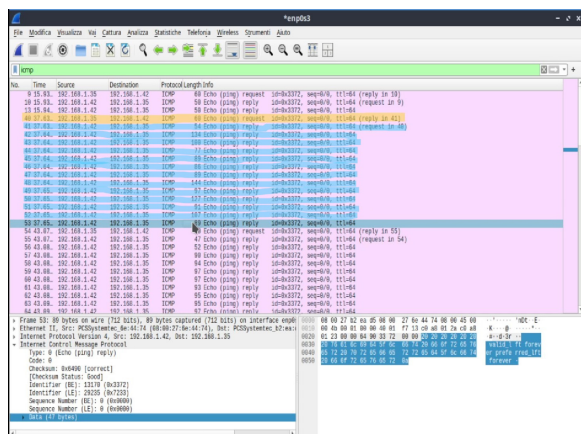


Figura 2: Traffico relativo al comando `ls -s`

## ICMP Exfil

Analizzato per vedere come un Covert Channel temporalizzato potesse funzionare. Riceve un dato, lo converte in binario e dopodichè avrà una lista di numeri binari. Per mandare il dato, invia un ping con un timeout pari a **binary\_number+leway**. Il valore leway viene utilizzato per rallentare il numero di pacchetti inviati ed avere una connessione maggiormente silenziosa. L'autore infine indica come miglioria, la crittografia dei dati per aggiungere del rumore, dell'entropia.

Ciò su cui si affida è che un osservatore, vedendo i pacchetti ICMP, li veda come vailidi; iccome non riuscirebbero a trovare alcun dato, a meno che non sappiano della

tecnica utilizzata.

## ICMP Tunnel

Strumento che permette il tunneling del traffico IP. Tramite delle richieste e risposte ICMP Echo, incapsula il traffico e lo invia al server proxy. Questi ultimo lo decapsula e lo inoltrano. I pacchetti in entrata, che sarebbero diretti alla macchina vittima, sono poi incapsulati dal proxy e inviati. L'approccio è possibile siccome RFC-792, che indica le linee guida del protocollo ICMP, permette una quantità arbitraria di dati nei pacchetti ICMP Echo (sia richiesta che risposta).

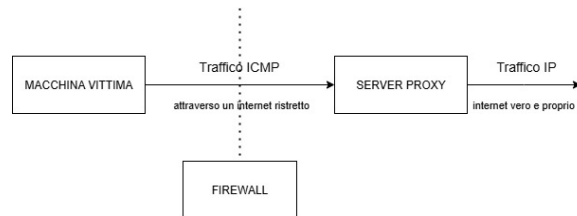


Figura 3: Architettura generale *icmp tunnel*



## 2 Parte 2 - Covert Channel implementati

Le principali categorie di Covert Channel sono:

- **Timing Covert Channel (Temporizzazione):**  
Sfruttano gli intervalli di tempo o l'ordine degli eventi per codificare informazioni (e.g. ritardi fra i pacchetti di rete, ...).
- **Storage Covert Channel (Archiviazione):**  
Implicano la scrittura di dati su un'area di memoria condivisa accessibile da entrambi i processi. I veicoli saranno tutte quelle risorse che consentono la scrittura (diretta o indiretta) da parte di un processo e la lettura (diretta o indiretta) da parte di un altro. Un processo scrive su una risorsa condivisa, mentre un altro processo legge da essa.

### 2.1 Timing Covert Channel

#### 2.1.1 Covert Channel Temporale tramite pacchetti ICMP Echo

In questo caso si definisce un Covert Channel Temporale inviando pacchetti ICMP (di tipo Echo) in intervalli specifici. Tramite la differenza fra il tempo precedente e il tempo di ircezione del nuovo pacchetto; l'attaccante riuscirà a codificare un bit (o coppie di bit) mentre la vittima riuscirà a decodificare il bit (o la coppia di bit) associato all'intervallo.

La formula per calcolare i tempi associati alle codifiche dei bit è la seguente:

$$\text{tempo\_base} + \text{index} * (2 * \text{distanza\_tempi}) \quad (1)$$

In essa il **tempo di base** indica il minimo dei secondi da aspettare per ogni tempo possibile. L'indice indicherà l'indice associato alla codifica e siccome si trattano bit, corrisponderà all'intero rappresentato dalla coppia di bit (eg 101=5). Invece la distanza è la differenza minima di tempo che tutti i tempi calcolati dovranno avere.

Siccome RITA riesce ad individuare gli schemi temporali calcolati, si è definito un range così da poter mandare tempi randomici e non costanti. Ora la codifica di una coppia di bit, non è più definita da un singolo, costante intervallo di tempo, ma da

un range di intervalli temporali. Quindi se si volesse mandare il codice *01*, non si aspetteranno più 7 secondi, ma un tempo randomico che appartiene al range range [5, 9].

Inoltre si è pensato di introdurre anche un tempo (in minuti) che definirà quanto aspettare una volta che si è mandato un byte. Ciò potrà essere usato se lo scambio di informazioni risultasse prolungato; infatti un numero elevato e continuo di pacchetti potrebbe risultare anomalo.

Il dato da inviare (di qualunque tipo esso sia) dovrà essere convertito in una lista di byte, dalla quale estrarremo i singoli bit da mandare.

Dopodichè avverrò la comunicazione vera e propria. Si manderà un pacchetto per indicare al destinatario l'inizio della comunicazione e impostare così il tempo di inizio. Se non si determina questo tempo, il destinatario non riuscirà a calcolare l'intervallo di tempo fra il tempo di arrivo del pacchetto corrente e di quello del pacchetto precedente. Di conseguenza non si riuscirà a decodificare il primo bit. Successivamente si itererà l'intera lista contenente i singoli bit e si aspetterà il tempo associato.

Num bit	IPv4	IPv6
1	8:33	14:46
2	7:20	12:08
4	12:00	22:20

Tabella 1: Tempi di esecuzione del Timing Channel

L'unica differenza presente nella versione (del Timing Channel) che utilizza il protocollo IPV6, è la struttura del pacchetto. Si aggiungerà un livello *Ether* in cui si specifica l'indirizzo MAC di destinazione e l'indirizzo MAC sorgente. Inoltre nel livello *IPv6* bisognerà definire lo ScopeId dell'indirizzo di destinazione; ciò verrà fatto specificando nel campo non solo l'indirizzo IP di destinazione, ma anche l'interfaccia per poter raggiungerlo.

### 2.1.2 Timing Channel a 8 bit

Uno sviluppo effettuato è stato l'amplamento dei bit trasportabili. Siccome la quantità di dati risulta non congrua alla quantità di tempo speso; si è sviluppato l'approccio presente in ICMP Exfill. In esso viene mandato l'intero byte e il tempo da aspettare è determinato da esso. Questo perché il byte, rappresentante il carattere, può essere letto come un numero intero.

Da questo approccio si è cercato di ridurre la quantità di tempo necessaria per mandare i dati. Inizialmente si è optato per sottrarre al numero ricavato un certo valore. Il valore in questione era 31 siccome i caratteri stampabili vanno da 32 sino a 127. Ma anche qui l'ostacolo era la presenza di caratteri speciali che così sarebbero stati tagliati fuori. Di conseguenza caratteri speciali come  
n o  
t non sarebbero potuti essere inviati.

La soluzione finale è stata raggiunta tramite il calcolo del delay in questo modo:

$$\text{min\_delay} + (\text{byte}/255) * (\text{max\_delay} - \text{min\_delay})$$

Tramite questa funzione il range dei possibili delay è stato ristretto a due valori precisi e definiti: min\_delay e max\_delay. E questo ha permesso l'invio di 72 byte in circa 13/14 minuti. Il lato negativo è una maggiore possibilità di errore: se il computer che riceve i dati subisce un delay, la possibilità di decodificare il carattere sbagliato è maggiore rispetto ai metodi illustrati precedentemente.

## 2.2 Storage Covert Channel

Verranno utilizzate le tipologie di messaggi presenti nel protocollo ICMP, per codificare dei dati nei campi presenti. Nelle tabelle sono stati indicati quali campi verranno sfruttati, per ogni tipologia di messaggio ICMP, oltre alla quantità di byte codificabili.

Tipologia	Byte trasmessi	Campi Sfruttati	Uso
-----------	----------------	-----------------	-----

--

Destination Un-reachable	3-8	unused, header+64 bits	Una destinazione (rete, porta,...) risulta non disponibile
Source Quench	3-8	unused, header+64 bits	Un gateway notifica il buffer di memoria per i pacchetti pieno (indica la congestione nella rete).
Redirect Message	3-4	header+64 bits	Suggerisce un reindirizzamento del pacchetto verso un percorso migliore.
Time Exceeded	3-8	unused, header+64 bits	Il gateway notifica che il TTL del pacchetto ricevuto risulta zero.
Parameter Problem	4-8	pointer, unused, header+64 bits	Il gateway rileva dei problemi nei campi dell'intestazione
Echo Request	2	identifier, data	Usato per inviare un dato a un destinatario e ricevere una risposta indietro.
Echo Reply	2	identifier, data	Replica i dati ricevuti nella richiesta rimandandoli al mittente
Timestamp Request	5	identifier,timestamp, data	Usato per inviare una serie di timestamp a un destinatario e ricevere una risposta indietro.

--

Timestamp Reply	5	identifier,timestamp,data	Replica i timestamp ricevuti nella richiesta rimandandoli al mittente
Information Request	2	identifier	Permette di scoprire se l'host si trova nella stessa rete di chi ha risposto. Nel mandare il pacchetto lascia il campo <i>destinazione</i> vuoto.
Information Reply	2	identifier	Risponde alla richiesta con tutti i campi compilati correttamente. In particolare quello relativo al proprio indirizzo IP.

Tabella 3: Tipologie di messaggi ICMPv4

--

Tipologia	Codici	Campi Sfruttati	Uso
Destination Un-reachable	4-8	unused, invoking packet	Una destinazione (rete, porta,...) risulta non disponibile
Packet Too Big	8	mtu, invoking packet	Un router notifica l'impossibilità nell'inoltrare un pacchetto (indica la congestione nella rete)
Time Exceeded	4-8	unused, invoking packet	Il gateway notifica che il TTL del pacchetto ricevuto risulta zero.
Parameter Problem	8	pointer, invoking packet	Il gateway rileva dei problemi nei campi dell'intestazione
Echo Request	2	identifier, data	Usato per inviare un dato a un destinatario e ricevere una risposta indietro.
Echo Reply	2	identifier, data	Replica i dati ricevuti nella richiesta rimandandoli al mittente

Tabella 5: Tipologie di messaggi ICMPv6

## 2.3 Struttura della comunicazione fra le entità

La struttura del programma è definita nel seguente modo: sono presenti tre entità, che verranno definite come **attaccante**, **proxy** e **vittima**. Il caso standard sarà quello rappresentato in [Fig.4]; tuttavia sarà possibile, per l'attaccante, comunicare direttamente con la vittima. In questo caso l'entità proxy non verrà utilizzata ed

alcune funzioni presenti in essa verranno eseguite dall'attaccante (e.g connettersi alla vittima).

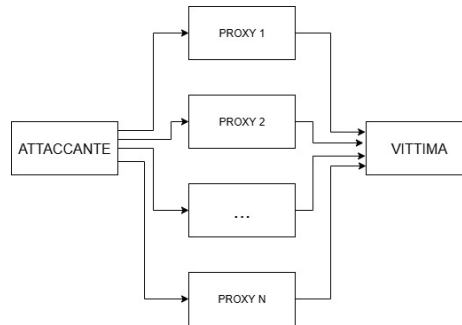


Figura 4: Diagramma delle entità presenti

Come avviene la comunicazione fra le entità è definito dal diagramma in [Fig.5]. Le entità inizializzano i parametri necessari, in particolare l'attaccante leggerà un file di configurazione in cui si indicano determinate cose. In particolare si indicano i proxy se si vorrà utilizzare per l'attacco, l'indirizzo IP della macchina vittima oltre alla tipologia di attacco che si vuole effettuare. Dopodiché l'attaccante si conatterà ad ogni proxy specificato nel file per testare se la connessione è possibile. La connessione viene ritenuta possibile se il proxy e l'attaccante riescono a comunicare fra di loro e se anche il proxy e la vittima riescono a comunicare fra di loro. Identificati i proxy sfruttabili, si inserirà un comando e, dopo averlo inviato ad uno dei proxy, si aspetteranno che i proxy ritornino i dati relativi all'operazione. Per l'invio del comando si utilizzerà un singolo proxy; quindi a tutti gli altri verrà notificato di aspettare direttamente i dati. Infine aspetta che tutti gli attaccanti e poi la analizza, per poterli riordinare.

Il proxy invece, al momento dell'inizializzazione, imposta un server su cui l'attaccante si conatterà. Successivamente cercherà di connettersi alla vittima inviandogli un messaggio ICMP e poi aggiorna l'attaccante se la connessione è stata stabilita o no. Dopodiché rimarrà in attesa del comando che l'attaccante potrà inviare. Se lo riceve provvederà ad inoltrarlo altrimenti rimane in attesa dei dati dalla vittima. Una volta ricevuti tutti i dati dalla vittima, procederà ad inoltrarli all'attaccante. Infine rimarrà in attesa di aggiornamenti da parte dell'attaccante, il quale può decidere se inviare un altro comando o terminare la comunicazione.

La vittima, durante la sua inizializzazione, specifica il numero minimo di proxy ne-

cessari per la comunicazione. Quindi si metterà in ascolto dei proxy che vogliono connettersi; quando si connette ad un proxy, gli manderà un messaggio di conferma. Se entro un certo tempo il numero non viene raggiunto, si può scegliere se continuare ad aspettare altri proxy o avanzare con l'attacco. Dopodichè la vittima rimane in attesa del comando dell'attaccante e una volta arrivato, lo esegue e ricava i dati restituiti in caso dall'operazione. Infine, per esfiltrare i dati, invierà a ciascuno dei proxy connessi una porzione delle informazioni ricavate. Terminato di farlo, si metterà in ascolto del prossimo comando dell'attaccante, che determinerà la prossima operazione o la terminazione della comunicazione.

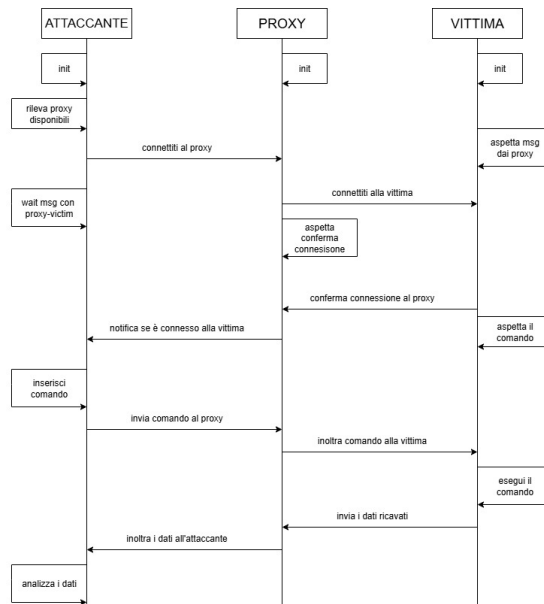


Figura 5: Diagramma del flusso di comunicazione fra le entità



## Parte 3 - Test e Risultati

### 2.4 Test

Per testare se RITA fosse in grado di rilevare i Covert Channel implementati; tramite Wireshark si è monitorato il traffico e il risultato è stato salvato in dei file pcap. Tuttavia RITA non supporta questo formato, ma solo i log di Zeek. Quindi tramite Zeek si sono estratti dai file pcap i log necessari che sono stati poi analizzati da RITA.

Per testare se i pacchetti venissero rilevati, si sono inviate tre tipologie di dati: il primo è un testo corto e lineare volto a simulare un comando, il secondo è un testo di lunghezza variabile, mentre il terzo è invece un testo la cui lunghezza incrementa ogni volta. L'ordine di grandezza è dei Kilobytes; questo è stato scelto per non appesantire troppo il carico di rete ed evitare lunghi tempi di attesa.

I risultati sono divisi per la tipologia di messaggio inviato e la quantità di dati inviati. All'interno di ogni cella si indicherà il livello di gravità che RITA ha associato alla comunicazione.

Ed il risultato è insoddisfacente. Il risultato è che RITA non rileva le connessioni ICMP. Sebbene si siano provate diverse tipologie di messaggio e diverse tipologie di messaggi RITA non rileva niente. All'inizio il problema erano i log di Zeek che non monitoravano le connessioni ICMP; ma dopo aver dockerizzato Zeek così da avere l'ultima versione, il test è risultato Indefinito. E in questa seconda prova zeek nei file di log dava una connessione ICMP.

Si sono quindi provate vari livelli di connessioni, dalle più leggere a quelle che inviavano un costante flusso di dati. Per testare il caso di una comunicazione pesante, si è creato apposta un file contenente 2 MB di dati. Il risultato è ancora Indefinito siccome i log di Zeek mostrano queste connessioni sebbene i database creati da RITA risultino negativi. Data questa ambiguità il risultato non può essere definito né positivo né negativo.

--

	Tipologia Messaggio	Quantita di byte totali inviati		
		33 bytes	2,5 KB	20 KB
	Information Reply	Non definito	Non definito	Non definito
	Timestamp Reply	Non definito	Non definito	Non definito
	Redirect	Non definito	Non definito	Non definito
	Echo	Non definito	Non definito	Non definito
	Source Quench	Non definito	Non definito	Non definito
	Parameter Problem	Non definito	Non definito	Non definito
	Time Exceeded	Non definito	Non definito	Non definito
	Destination Unreachable	Non definito	Non definito	Non definito
	Timing Channel 1bit	Non definito	Non definito	Non definito
	Timing Channel 2bit	Non definito	Non definito	Non definito

Tabella 6: Quali comunicazioni RITA ha rilevato