



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Scuola di Ingegneria

---

Corso di Laurea Magistrale in  
INGEGNERIA INFORMATICA

## **Video Forensic based on File Format Analysis**

Tesi di Laurea di  
Saverio Meucci

**Relatori:**

Prof. Alessandro Piva  
Prof. Fabrizio Argenti

**Correlatori:**

Dott. Marco Fontani  
Dott. Massimo Iuliani

---

Anno Accademico 2015/2016



# Abstract

Write abstract.



# Contents

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stato dell'Arte</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>Implementazione</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Esperimenti</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Conclusione</b>	<b>27</b>
<b>A</b>	<b>Lorem</b>	<b>29</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>31</b>



# Chapter 1

## Introduzione

### INDEX

#### 1. Introduction

##### 1.1. Introduction to Multimedia Forensics

- Diffusione dei video digitali e loro utilizzo come potenziale fonte di prova.
- Autenticità e integrità (Piva Survey, 2014-ICCT.pdf).

##### 1.2. Forensic Analysis of Video File Format

- Tracce nel container (VideoFormantAn.pdf). - Applicabilità per valutare l'integrità di un filmato o più in generale la sua provenienza (ultimo container).

#### 2. Implementation and Applications

##### 2.1. Forensic Applications of Video Container analysis

- Introduzione sui vari formati video (ISO?). - Spiegare come hai implementato l'analisi del container, quali peculiarità e limiti ha (è estendibile?, come gestisce i contenitori inattesi?, ...) - Applications: - Integrity Verification. - Source Identification (Brand/Model). - Introduzione all'interfaccia.

#### 3. Experiments

##### 3.1. Dataset

- Spiegare come è stato acquisito il dataset e da quali video è composto.

##### 3.2. Experimental Validation

1. Integrity Analysis based on File Container: applicazione confronto diretto tra due alberi (Query VS Ref) - TEST: Matching case (video nativi) VS minimal processed video (e.g. avidemux, ffmpeg, Adobe Premiere).
2. Model Identifi-

cation based on File Container: tua applicazione per identificare il modello del device sorgente. - TEST 1. Available Ref Device: comparison between matching and mismatching. - TEST 2. Unavailable Ref Device: recursive (iterative) search with adaptive training. 3. Application on Social Network: applicabilità della tua tecnica fuori dall'ambiente di laboratorio. - TEST 1: Facebook VS NON-Facebook (native + other social media). - TEST 2: YouTube VS NON-YouTube (native + other social media).

#### 4. Conclusions

- Riassumere gli obiettivi della tesi, gli strumenti utilizzati e come abbiamo implementato l'idea.
- Dire se i risultati sperimentali validano o meno la nostra tesi.
- Parlare di problemi, cose da migliorare e possibili sviluppi futuri.

#### Appendix

##### A. Container

- Mostrare la tabella con tutti gli atomi possibili previsti dallo standard del formato.
- Dettagli aggiuntivi.

##### B. Mp4Parser

- Spiegare il funzionamento di questa libreria.

#### STATO DELL'ARTE

- utilizzo di immagini e video come prove - definizione multimedia Forensics.
- fingerprints - procedure standard - chi è l'analista forense - applicazioni (autenticità, integrità, identificazione) - strumenti utilizzati (flusso dati, meta-dati) - metadati exif per immagini, debolezze - metadati file container per video, vantaggi e descrizione - applicazioni precedenti usando container

##### 1.1. Introduction to Multimedia Forensics

Con la sempre maggior diffusione di contenuti digitali sia audio che video, l'analisi su questi oggetti multimediali sta sempre più assumendo di importanza nel contesto delle investigazioni digitali, che considerano sia dati digitali che dispositivi digitali.

Nelle investigazioni digitali i contenuti multimediali come immagini, tracce audio e video sono sempre più utilizzati come prove giudiziarie. Risulta quindi molto importante riuscire ad estrarre informazioni da tali contenuti in maniera affidabile.

La multimedia forensics ha l'obiettivo di acquisire conoscenza sul ciclo di



vita di un contenuto multimediale sfruttando le tracce che i vari step di processing lasciano sui dati. Infatti, l'idea alla base del multimedia forensics è che ogni dispositivo di acquisizione e ogni operazione di processing sui dati multimediali lascia sui dati del contenuto multimediale delle tracce, note come fingerprints, che quindi caratterizzano la sua storia.

Molti algoritmi e tecniche sono state sviluppate dalla comunità scientifica basandosi sull'estrazione di features dal flusso di dati audio-visuali del contenuto multimediale e sfruttando tali features cerca di inferire alcune informazioni sul dispositivo d'acquisizione sorgente e sui processi di modifica e codifica a cui il contenuto multimediale è stato sottoposto durante il suo ciclo di vita. In particolare riguardo contenuti come immagini e video, le tecniche principali si pongono l'obiettivo di identificare la sorgente del video/immagine e/o determinare se il contenuto è autentico oppure è stato modificato senza nessuna informazione a priori sul contenuto sotto analisi. Ciò è possibile sfruttando appunto tali features e degli strumenti che permettono di verificare la presenza o l'assenza di tali features, ovvero delle impronte che sono intrinsecamente legate ai dati multimediali dal dispositivo sorgente o dagli step di processing di programmi di modifica ecc. Infatti si possono distinguere tre tipi di tracce lasciate su un contenuto multimediale: tracce di acquisizione, tracce di codifica e tracce di modifica.

Come spiegato, da un punto di vista scientifico, la ricerca ha prodotto un grande numero di tecniche per l'analisi di contenuti multimediali, ma dal punto di vista dell'applicazione di tale tecniche nell'aule di tribunale c'è un gap importante che è probabilmente dovuto ad una mancanza di comunicazione fra la parte legale e quella scientifica, così come una non completa maturità delle tecniche che spesso si basano su risultati ottenuti in contesti di laboratorio e non in scenari del mondo reale.

Inoltre c'è necessità di una maggiore condivisione di standard nel contesto delle investigazioni digitali che aiuti la multimedia forensics a crescere ed a raggiungere la maturità. Diverse comunità si sono adoperate per mettere insieme delle linee guida e degli standard su aspetti importanti dell'investigazioni digitali come catena di custodia, autenticazione dei dati, applicazione del metodo scientifico, documentazione e reporting. The ISO/IEC JTC1 Working Group 4 è uno

di tali gruppi che cercano di dare standard internazionali (lista) il cui scopo principale è quello di promuovere delle buone procedure e metodi per l'investigazione di prove digitali e di incoraggiare l'adozione di approcci per l'analisi forense di contenuti digitali più simili a livello internazionale, in modo da rendere più facile il confronto e la combinazione di risultati provenienti da entità e organizzazione differenti e anche attraverso giurisdizioni diverse, in modo tale da aumentare l'affidabilità delle tecniche e dei risultati.

Un'altro gruppo che si occupa di dare standard e linee guida è lo Scientific Working Group on Digital Evidence (SWGDE) che si occupa di mettere in contatto organizzazioni diverse che sono concentrate nel campo del multimedia forensics in modo da promuovere comunicazione e cooperazione e assicurare una maggiore qualità e consistenza all'interno della comunità forense.

Lo Scientific Working Group on Imaging Technologies (SWGIT) invece concentra il suo lavoro sulle tecnologie di analisi delle immagini e ha l'obiettivo di facilitare l'integrazione di tali sistemi di analisi delle immagini nel contesto del sistema giudiziario fornendo best practises e linee guida per l'acquisizione, storage, processing, analisi, trasmissione, output image e archivio delle prove digitali. Riguardo l'analisi forense di immagini e/o video, il processo è definito essere composto da tre task principali: preparazione tecnica, esaminazione, interpretazione. La preparazione tecnica si occupa di tutti quelle operazioni necessarie a preparare i video e le immagini per gli altri task. L'esaminazione è la parte principale dell'analisi forense e si occupa dell'applicazione delle tecniche per estrarre informazioni dai video/immagini. L'interpretazione riguarda l'analisi del contenuto digitale da parte di esperti in modo da fornire conclusioni sulle features estratte dai video/immagini in esame.

In questo contesto diventa fondamentale la figura dell'analista forense, ovvero colui che è in grado di applicare tali tecniche di analisi di contenuti digitali, interpretare i risultati e fare una sintesi di risultati provenienti da tecniche diverse in modo da aumentare l'affidabilità delle conclusioni. È inoltre in grado di eseguire tutti i tasks dell'analisi in accordo con gli standard condivisi dalla comunità forense. L'analista forense è in grado di trovare le tracce lasciate sui dati multimediali ed acquisire numerose informazioni sull'oggetto multimediali in esame come il dispositivo d'origine, se il contenuto è autentico, se l'oggetto digitale

è stato sottoposto a particolare fasi di processing, che informazioni semantiche possono essere estratte da esso, se esso è integro, ecc.

Applicazioni. Le principali applicazione per l'analisi forense sono: la source identification, l'autenticazione e l'integrità della risorsa multimediale.

Il processo di identificazione della sorgente ha come obbiettivo quello di recuperare informazioni riguardo il dispositivo sorgente del contenuto multimediali in esame. È possibile identificare la sorgente a vari livelli di dettaglio. Ad esempio distinguere fra tipi di sorgenti, distinguere fra differenti modelli di sorgente dello stesso tipo e distinguere fra dispositivi diverse ma dello stesso tipo e modello. Informazioni possono essere ottenuti dai metadati.

Il problema dell'autenticazione riguarda il compito di stabilire se il contenuto multimediale è un accurato rendiconto di un evento originale. Il processo di analisi si basa sulla ricerca di inconsistenze nelle features del segnale audio-visivo.

Il problema dell'integrità riguarda il compito di stabilire se un contenuto multimediale è stato modificato o meno da quando è stato acquisito dal dispositivo sorgente. L'analisi si basa sulla ricerca di tracce lasciate dai tools di editing e processing durante il ciclo di vita che non sono compatibili con i contenuti provenienti dal dispositivo sorgente che è noto.

Un file multimediali può essere visto come un pacco composto da due parti principali: l'header, che contiene i metadati ovvero informazioni sul contenuto del file; il contenuto stesso, ovvero il flusso di dati che forma il segnale audio-visivo. In generale, l'estrazione di features si basa sull'analisi delle tracce lasciate sia sui dati veri e proprio che sui metadati del file multimediale.

Per quanto riguarda l'ispezione del flusso di dati, l'esaminazione consiste di due aspetti principali: l'interpretazione del contenuto, che riguarda l'analisi del contesto come comprendere cosa sta succedendo, chi sono i soggetti e gli oggetti coinvolti, informazioni sull'ambiente e tutte le informazione che derivano dall'osservazione umana; identificazione di dettagli rivelanti nella scena rappresentata, come anomalie audio-visive, features interessanti come direzione della luce, ombre, prospettiva incoerenze, segni di smudge ecc. Sempre nel contesto dell'ispezione del segnale audio-visivo, è l'analisi e l'enhancement dei contenuti, come migliorare il segnale per rilevare dettagli o oggetti rilevanti, estrazione

di relazioni dimensionali come dimensioni di oggetti o soggetti, comparazione fotografica fra oggetti noti e oggetti rappresentati nella scena.

L'altro strumento riguarda l'estrazione e l'analisi di metadati. I metadati possono essere estratti facilmente e possono contenere molte informazioni riguardo il segnale audio-visivo come ad esempio (video) il dispositivo sorgente, lo spazio colore, la risoluzione, i parametri di compressione, la data, dati gps, frame rate, (audio) format tags, bit rate, sample rate, numero di canali. Ovviamente il tipo e il numero di metadati dipende dal tipo del file in esame e quali processi ha subito durante il suo ciclo di vita. Ad esempio, per quando riguarda le immagini i metadati sono estratti dall'header Image file format (Exif). Una volta ottenuti i metadati è compito dell'analista forense verificare la compatibilità, la completezza e la coerenza delle informazioni estratte rispetto allo scenario da cui il contenuto si suppone provenire: metadati saranno differenti se una risorsa proviene da un social network piuttosto che direttamente dal dispositivo di acquisizione.

## 1.2. Forensic Analysis of Video File Format

### 1.2.1. Container

Gli standard dei formati video prescrivono un numero limitato di features, lasciando quindi molta libertà alla casa produttrice. Ciò può essere sfruttato come risorsa per identificare e autenticare, dato un video, la sorgente di provenienza. In particolare lo studio si concentra su MP4-like video format (mp4 e mov).

In un mondo sempre più digitale c'è sempre più la necessità di metodi per l'autenticazione dei dati multimediali, del riconoscimento della loro sorgente di provenienza e della loro storia.

L'analisi forense si è principalmente concentrata su l'analisi di immagini sviluppando tecniche basate su due principali approcci: analisi del rumore (PRNU); analisi dei metadati JPEG e EXIF.

Anche l'analisi forense di video digitale è sempre più rilevante. I primi lavori hanno seguito un procedimento simile a quello delle immagini, basandosi rumore e artefatti presenti nel video ed anche l'utilizzo di metadati JPEG e EXIF. Tuttavia, riguardo all'utilizzo di metadati per l'autenticazione di sorgenti digitali, sono state espresse preoccupazioni rispetto falsificabilità. Infatti, è solo questione

di trovare il giusto strumento, spesso disponibile pubblicamente, per modificare facilmente informazioni di alto livello come appunto i metadati EXIF.

Contrariamente, gli strumenti noti non permettono di modificare strutture core dei file multimediali, come appunto i video file containers, ed altri strumenti pubblicamente disponibili che permettano di falsificare sistematicamente i containers non sono noti. Quindi queste caratteristiche di basso livello riducono le preoccupazioni riguardo la falsificabilità di tali metadati in quanto solo in possesso di skills avanzate di programmazione sarebbe possibile modificare la struttura interna dei file video rendendo la falsificabilità un'operazione non triviale ed altamente tecnica.

Il formato container MOV è stato introdotto da Apple nel 1991. Utilizzando questo formato come base, sono stati introdotti anche i formati MP4 e 3GP.

I file containers di questo formato sono composti da atomi (o boxes) che sono identificati caratteri unici di 4 byte, preceduti dalla dimensione dell'atomo. Tali atomi possono avere o meno dei campi e possono essere o meno nidificati, ovvero possono contenere altri atomi; quindi si incontrano 4 tipi di atomi: - atomi senza campi né che contengono altri atomi; - atomi senza campi che contengono altri atomi; - atomi con campi ma che non contengono altri atomi; - atomi con campi che contengono altri atomi;

La struttura più comune dei MP4-like containers è la seguente: - atomo ftyp: è semi-obbligatorio, ovvero il più recente standard ISO prevede che sia presente e che venga esplicitato il prima possibile nel file container. Fa riferimento alla specifica del tipo di file con la quale il file video, a cui il container appartiene, è compatibile. I campi principali sono majorbrand, che indica quale specifica sia la migliore, e vari campi numerati chiamati compatiblebrand, che indica una specifica che è compatibile con il file video. Non contiene altri atomi. - atomo mdat: contiene lo stream dei dati ed è accompagnato dal campo size che ne indica la dimensione. Non contiene altri atomi. - atomo moov: è l'atomo con la struttura più complessa del container. È un atomo nidificati, ovvero contiene numerosi altri atomi. In questo atomo, e nella sua sotto-struttura, sono contenuti i metadati necessari per la decodifica del flusso dati contenuto nell'atomo mdat.

Tale struttura non è sempre rispettata. I file container dei formati MP4-like

sono molto complessi e presentano numerosi elementi e differenze dipendenti dalla sorgente e dalla casa manifatturiera; quindi costituiscono uno strumento prezioso per un'analista forense. Le differenze dei containers di diversi file video si possono presentare nei seguenti modi: - posizione relativi degli atomi: nonostante lo standard dia specifiche riguardo la posizione di determinati atomi (in particolare quelli principali), ciò non è sempre rispettato. Soprattutto, si ha variazione di posizione per quegli atomi la cui posizione non è specificata dallo standard. Questo discorso è valido sia al primo livello, ovvero quello contenente gli atomi ftyp, mdat, moov, sia per quanto riguarda gli atomi della sotto-struttura contenuta nell'atomo moov. - presenza di atomi aggiuntivi non standard ai vari livelli del container. - differenze nei valori dei campi contenuti negli atomi.

Tutte queste possibili differenze e tipi di differenze danno vita ad un numero insieme di combinazioni che l'analista forense può sfruttare per autenticare una risorsa video.

#### PARLARE ANCHE DEL FORMATO AVI.

##### 1.2.2. Applications

Il problema dell'autenticazione si basa sull'analisi del segnale audio-visivo, quindi non è nel nostro dominio visto che usiamo i file container che sono metadati. Con i metadati non si può stabilire se il contenuto multimediale è una rappresentazione autentica di un evento originale.

Il problema dell'integrativa invece viene affrontato. Infatti, come descritto prima, i file container di un video è il file container creato dall'ultimo strumento del ciclo di vita. Se un video è modificato anche leggermente da un software avrà un suo particolare container. Questo container conterrà atomi aggiuntivi o in posizione diversa e valori degli attributi differenti rispetto ad un video proveniente direttamente dalla sorgente. É quindi possibile confrontare un container reference, proveniente da un dispositivo noto, ed un container query, che si suppone provenire da quel dispositivo noto, per verificare se il video è stato o meno modificato.

Il problema della source classification ha senso perchè siccome gli standard definiscono solo alcune features obbligatorie, lasciano molta libertà alle case manifatturiere. Significa che ogni classe di dispositivi avrà il suo container diverso. Ciò può essere usato per distinguere fra dispositivi, nel caso di video

provenienti da smartphone, dello stesso brand, dallo stesso brand e model, dallo stesso brand, model e sistema operativo. Per fare ciò occorre rappresentare in qualche modo le varie classi presenti in un training set. Inoltre occorre una misura di compatibilità che stimi la probabilità di un container query di appartenere ad una determinata classe di dispositivi.

### VFT

Requisiti Funzionali Per poter utilizzare i container dei video come strumenti di analisi, abbiamo implementato un programma che permetta di estrarli da in input un video. Tale programma presenta inoltre varie altre funzionalità che sono state rese disponibili sia come libreria Java che come programma da terminale, implementando sia funzioni di basso livello che di alto livello che fungono da interfaccia per il programma da terminale. Le features implementate sono:

- Parse: dato in input un file video di formato mp4-like (mp4 o mov), estrae il file container sfruttando la libreria Mp4Parser e lo salva in un file xml.
- Batch parse: dato in input una folder, fa il parse di tutti i video presenti nella folder e nelle sottofolder, ricrea la stessa struttura delle cartelle.
- Draw: permette di visualizzare tramite interfaccia un albero, dato in input un file xml.
- Merge: dati in input due file xml, permette di unire tali file xml in un unico xml. Prendendo uno come base, vengono aggiunti atomi gli atomi che l'altro ha in più; inoltre per gli atomi in comune, vengono considerati gli attributi, ovvero vengono aggiunti i valori nuovi.
- Update: come merge, ma prende in input una cartella che contiene file xml e fa il merge di tutti i file; considera anche le sottocartelle.
- Compare: dati due file xml, li compara ovvero dà una misura di quanto sono simili.

### Implementazione

Durante lo sviluppo dell'applicazione sono state fatte varie scelte implementative. Di seguito verranno spiegati tali scelte in aggiunta ad ulteriori dettagli. Le feature spiegate saranno solo quelle principali, ovvero parse, merge e compare:

- Parse: la feature parse sfrutta la libreria Mp4Parser, a Java API to read, write and create MP4-like file. La funzione di alto livello è `parse()`, che viene utilizzata da interfaccia. Prende in ingresso due stringhe, l'url del file video da parsare e il percorso della cartella di output dove salvare il file xml. Si occupa di fare il setup per l'operazione, di chiamare la funzione di basso livello `parser()`

e di salvare il container estratto in un file xml.

La funzione `parser()` è ciò che estrae effettivamente il file container. Prende in ingresso un file iso del video da parsare, estratto dalla libreria `Mp4Parser`. Questa funzione crea la base (root) del file xml (`org.dom`) e istanzia un oggetto di classe `BoxParser`. Tale classe ha il compito di leggere il file iso ricorsivamente per estrarre tutti gli atomi e i relativi attributi. Infatti, come spiegato in precedenza, gli atomi hanno una struttura nidificata. `BoxParser` implementa una funzione ricorsiva chiamata `getBoxes()`. Tale funzione prende in ingresso un `AbstractContainerBox` e un `Element`. Il primo parametro è passato come null nella prima chiamata da `parser()`; il secondo è il root element creato in `parser()`.

La funzione `getBoxes()` legge il file iso (passato nel costruttore di `BoxParser`) ed estrae ricorsivamente gli atomi. Inizialmente il `AbstractContainerBox` è inizializzato a null, quindi la prima volta vengono estratti gli atomi direttamente dal file iso; questi sono gli atomi di primo livello (`ftyp`, `moov`, `mdat`, ecc). In generale, per ogni atomo vengono estratti i figli. Viene ciclato sui figli e, in base al loro codice di 4byte rappresentato da una stringa di 4 caratteri, viene chiamato il giusto parser per quell'atomo che è in grado di estrarre i suoi attributi. Tali "parser" implementano l'interfaccia `Wrapper` che ha un solo metodo `toString()`. I wrapper implementati chiamano infatti le funzioni `get` degli atomi specifici e costruiscono una stringa che costituirà la lista degli attributi e dei loro valori dell'atomo. Un attributo che è stato inserito artificialmente nell'implementazione a tutti gli atomi è l'attributo `count` con valore fisso a 0, che servirà successivamente solo per verificare se un atomo è presente o meno.

Gli atomi non riconosciuti, ovvero per il quale non è riconosciuto il nome di 4 caratteri, vengono gestiti dal un wrapper di default; tale wrapper si limita a inserire solo l'attributo `count`. È sempre possibile estendere il numero di atomi supportati, semplicemente implementando un nuovo wrapper dedicato.

Una volta estratti gli attributi viene creato l'elemento xml col nome uguale al codice e vengono settati gli attributi dell'atomo come attributi dell'elemento xml corrispondente. A questo punto, se l'atomo ha figli viene passato alla funzione `parser()`, continuando la ricorsione. Quando la ricorsione per un certo atomo arriva alla fine, l'elemento xml viene aggiunto al root, che ogni volta sarà l'elemento xml che era stato passato nella ricorsione, fino ad arrivare al root vero



e proprio. A questo punto, il parsing del file iso del file video è terminato e la funzione `parser()` ha un Element root che contiene il file container rappresentato come file xml. La funzione `parse()` si occuperà di salvarlo su disco.

Alcuni dettagli implementativi: - per considerare la posizione degli atomi nel container, viene utilizzata una variabile che da assegna un numero ad ogni atomo figlio, in modo da assegnare un ordinamento a tali figli. Ciò fa in modo che possa essere riconosciuta la differenza di posizione fra atomi di due video, utile successivamente. L'atomo `moov` nell'xml non corrisponderà più al tag xml `<moov>` ma ad esempio `<moov-2>`. Due atomi `moov` in posizione diversa nel container sono considerati completamente diversi e aiutano notevolmente nella discriminazione dei file video usando i container. - la posizione degli attributi degli atomi non è considerata. Sia che venga sfruttata la funzione `toString` della libreria `Mp4Parser` che quella implementata nei wrapper, l'ordine degli attributi è comunque arbitrariamente decisi da uno di questi due proxy e non ha niente a che vedere con la scelta della casa produttrice come invece avviene per l'ordine degli atomi.

- Merge: tale feature, unisce due file xml che rappresentano file container. Verrà utilizzata in seguito nella fase di training.

Dato in input due file xml, viene preso il primo come base. Viene esplorato ricorsivamente il secondo e per ogni atomo viene verificato se è presente o meno nel file base: - se è presente in entrambi, si procede a confrontare i valori degli attributi. Se nel secondo file, dato un attributo, viene trovato un valore diverso, questo viene aggiunto al file base, creando quindi un vettore di valori per tale attributo. Al "valore" dell'attributo, che è una stringa, viene anche inserito un vettore di pesi, inizializzati a zero, di dimensione pari al primo vettore. - se non è presente, l'atomo del secondo file, viene aggiunto al file base insieme ai suoi attributi.

La procedura procede poi ricorsivamente, in maniera simile alla feature parse. Dato che il merge produce un file xml come output, il merge può essere fatto tra un file xml di un video e il file xml dato in output ad un merge precedente. L'unica differenza è che quando verranno confrontati i valori degli attributi, non dovrò più verificare se il valore è diverso, ma se il valore dell'attributo del secondo file è presente nel vettore di valori per quell'attributo

nel file base.

- Compare: la feature compare server per confrontare due file xml e dare una misura della differenza dei container che rappresentano. L'applicazione pratica è l'Integrity analysis, ovvero verificare che il video è integro, ovvero il suo file container non ha subito modifiche dopo essere uscito dalla camera del dispositivo.

Per confrontare i due file xml, viene scelto uno come reference e l'altro come query. In teoria, per il reference viene costruito un vettore di dimensioni pari a tutti gli elementi del tag che possono essere diversi, quindi per tutti gli attributi di tutti gli atomi (per gli atomi senza attributi abbiamo precedentemente inserito l'attributo count). Gli elementi di tale vettore sono idealmente inizializzati a 1. Per il query viene inizializzato un vettore delle stesse dimensioni. Procedendo come in precedenza, il query viene esplorato ricorsivamente cercando gli atomi del reference nel query e si hanno due casi: - atomo presente: vengono confrontati gli attributi, ogni attributo diverso corrisponde ad uno zero nel vettore di query ad indicare una differenza. - atomo non presente: vengono messi tanti zero quanti sono gli attributi dell'atomo del reference.

Alla fine, otterremo due vettori della stessa dimensioni, uno di uni e l'altro di uni e zeri con gli zeri che indicano le differenze. Siccome fare la distanza euclidea fra due vettori di valori 0, 1 in cui uno è tutto inizializzato a uno corrisponde semplicemente a contare il numero di zeri presenti nel secondo vettore e poi fare la radice quadrata, invece di creare questi vettori, semplicemente viene incrementata una variabile per ogni differenza trovata. Oltre al numero di differenze, viene calcolato anche il numero totale degli attributi, quindi delle potenziali differenze, del file xml reference.

La feature compare restituisce infine un json con i seguenti campi: reference, query, tot, diff. (spiegare nomi).

- Albero: serve per rappresentare i file xml come oggetti da manipolare con più facilità. Ogni tag del file xml è un Node o un Leaf, classi che implementano l'interfaccia Tree. Ogni Tree ha delle variabili per identificarla (code), un padre (per il root è null), una lista di altri tree (i figli) e una lista di fields (gli attributi dell'atomo corrispondente).

CMD Line Tool

usage: vft [-b — -c — -d — -h — -m — -p — -u] [-i ;file—folder;] [-i2 ;file;]  
 [-o ;folder;] [-wa] -b,—batch batch parse a directory of video files; it recreates the  
 same folder structure -c,—compare compare two xml files -d,—draw draw a tree  
 from an xml file -h,—help print help message -i,—input ;file—folder; video file for  
 —parse, xml file for —draw and —compare, a folder for —batch and —update-config  
 -i2,—input2 ;file; second xml file for —merge and —compare -m,—merge merge two  
 xml file into one -o,—output ;folder; output folder for the xml file,for —parse,  
 —merge and —update-config -p,—parse parse a video file container into a xml file  
 -u,—update-config merge all files in the dataset folder into a config.xml file -wa,—  
 with-attributes whether to consider attributes in —merge and —update-config or  
 not. Default is false

## FOA

Teoria L'applicazione è la source identification ovvero dato un video vogliamo determinarne la sua origine. Da che dispositivi, servizio, piattaforma, programma viene? Siccome il file container è molto arbitraria, lascia tracce che possono essere usata per identificarne l'origine. Per ciascuno delle origini, o classi, di interesse viene posta una domanda binaria, ovvero: tale video proviene dall'origine X? La risposta dovrà essere una likelihood, che mi esprimerà quanto il video appartiene a quella classe; sogliando poi opportunamente la likelihood sarà possibile rispondere alla domanda binaria. Per ogni domanda, vengono fatte due query nel dataset di training: vengono presi un insieme di video che sappiamo risponde true alla domanda, ovvero appartengono alla classe in oggetto, e un insieme di video complementare che corrisponde ad una classe avversaria, composta cioè da video che rispondono false alla domanda binaria.

Il groundtruth viene quindi diviso in questi due set. Viene poi fatto un merge di tutti i file container (come spiegato in precedenza) in un unico file xml in modo che contenga tutti gli atomi e tutti i possibili valori degli attributi dei due set. Durante il merge, viene inizializzato il vettore dei pesi nella stringa degli attributi; ogni volta che un valore viene aggiunto si inizializza a zero il suo peso, quando troviamo il solito peso più volte il suo peso incrementa, modulato dal numero totale di video del set. Ciò serve a calcolare il potere discriminante di ciascun attributo rispetto alle due classi.

A questo punto, dato in ingresso un video query di cui vogliamo determinare

la classe, guardiamo i valori dei suoi attributi e per ciascuno di questi viene calcolato il rapporto fra i pesi associati a quel valore nei due set. Il numeratore è il set che risponde true e il denominatore il set che risponde false. Tale rapporto ha un massimo di 1 e un minimo di zero escluso (vedi dettagli). I rapporti di tutti gli attributi vengono poi moltiplicati (ecco perchè non può essere zero); più tale prodotto è maggiore di 1, più il video è sicuro appartenere al set che risponde true; più è minore di 1 e più il video è sicuro appartenere al set che risponde false, ovvero appartiene al set che risponde false.

**Requisiti Funzionali** L'implementazione della teoria è stata realizzata con un'applicazione java da utilizzare da terminale. Le funzionalità principale sono:

- Training: si occupa prendere i due set considerati e di fare il merge di tutti i file xml. Inoltre calcola il potere discriminante di ciascun attributo relativamente ad entrambi i set.
- Testing: è la fase che si occupa di rispondere alla domanda. Dato un video in ingresso, calcola la likelihood usando i config file costruiti dalla fase di training. La likelihood viene modulata usando il logaritmo in base 10 e tale score viene sogliaato sullo zero.  $\geq 0$  true,  $< 0$  false.

In foa sono state poi implementate una serie di operazione su database sqlite che serviranno successivamente per la web application che serve da interfaccia di foa e verranno quindi descritte in seguito.

**Implementazione** Sono state fatte alcune scelte implementative per migliorare la capacità del programma di identificare correttamente la classe:

- quando cerco un atomo per calcolare i rapporti, prendo l'atomo corrispondente nel config di training cercando il nome intero es. jmoov-2j. Questo vale per tutti gli atomi tranne per jtrakj. Il codice trak è usato sia per l'atomo delle traccia audio che quello della traccia video. Cercare jtrak-2j potrebbe restituire sia l'atomo con lo stesso nome ma che invece riguarda l'audio e non il video, dovuto al diverso posizionamento nel file container.
- alcuni attributi che sono noti essere unici per il video e non per la classe a cui appartiene non vengono considerati nella fase di testing. Tali attributi sono ad esempio la dimensione del file video, o la data di creazione e modifica. Potremmo considerarli e poi sogliaare la likelihood in accordo dopo aver fatto una statistica di quanto sposta tale modifica per tutte le classi. (come in compare).
- alcuni atomi non vengono considerati, in particolare xyz e udta. L'atomo xyz è dove sono salvate le informazioni relative

alla posizione del dispositivo nel momento dell'acquisizione. Sebbene molto utile per certi scopi, non è utile come discriminante per l'appartenza ad una classe di dispositivi. Infatti basta filmare due video dallo stesso dispositivo una volta col gps acceso e l'altra spento per ottenere due container diversi. Tale diversità è accentuata dal fatto che considerando la posizione degli atomi (numerazione dei figli), l'aggiunta di un tag fa incrementare il valore del numero a tutti gli atomi figli che vengono dopo. Questo significa che i container verrà visto come completamente diverso. Per porsi rimedio basta attivare una flag quando ho trovato ad un certo livello dell'albero creato dal file xml. Quando la flag è attiva, per quel livello del file xml, cerco i tag in base al codice vero senza considerare il numero della posizione. (da rivedere). - dato un atomo ho tanti attributi; nella fase di testing per ogni attributo di un atomo calcolo il rapporto e poi ne faccio il prodotto. Ciò rappresenta la likelihood di quell'atomo. Se però i rapporti degli attributi di un atomo sono tutti esattamente uguali, praticamente sto moltiplicando più volte la stessa cosa; è come se stessi contanto più volte la stessa uguaglianza. Per ovviare è ciò la likelihood di ciascuno atomo è modulata in base ad un'entropia data da una formula (da mettere). Quando l'entropia è massima, ovvero tutti i rapporti diversi fa il prodotto normale; quando è minima ovvero zero praticamente considera solo un rapporto; nei casi medi fa una specie di media per quei gruppetti che hanno i rapporti uguali. Altrimenti alcuni atomi poco discriminanti ma con tanti attributi pesano tantissimo. - rapporto: quando vado a calcolare il rapporto fra i pesi di un attributo di un atomo, vado a prendere i pesi nel set A e i pesi nel set B. Si possono verificare fra casi diversi: - numeratore e denominatore = 0: faccio rapporto normale. - numeratore = 0 e denominatore != 0: siccome non posso avere un rapporto pari a zero altrimenti col prodotto mi manda a zero tutta la likelihood, devo modificare il numeratore. Siccome tale caso in teoria è favorevole alla classe del denominatore (B), mi basta scegliere come numeratore un valore per il quale il rapporto è sempre minore di 1. Quindi scelgo  $1 / (\text{il numero di video presenti nella classe B} + 1)$ . In tal modo è sempre minore di 1, con il rapporto che però varia in base al valore del denominatore. - numeratore != 0 e denominatore = 0: il denominatore non può essere zero. Come prima: mi basta che il rapporto sia sempre in favore di numeratore, quindi che sia sempre maggiore di 1. Sceglo il denominatore pari

a  $1 / \text{il numero di video della classe A} + 1$ . Anche in questo caso l'intensità di tale rapporto varia in base al valore del numeratore. - numeratore e denominatore  $\neq 0$ : questo caso si verifica quando il video di query presenta atomi o valori di attributi che non sono presenti nel config di training. Tale caso viene considerato a favore della classe B. Infatti tale problema, seppure binario, non è simmetrico: nel dubbio dico che non è della classe A (meglio lasciare libero un colpevole che mettere condannare un innocente). Questo caso viene considerato come un  $0/1$ , in cui il peso per la classe A è zero e quello per la classe B è pari a 1 massimo. Modifichiamo il numeratore con i principi del secondo caso, ma invece di considerare il numero di video della classe del denominatore, lo scegliamo di quello del denominatore. Infatti, seppure deciso in favore di B, tale caso è comunque dubbio quindi moduliamo il rapporto in base al numero di video di A. (Spiegare meglio discorso dei rapporti e dei numA ecc)

CMD Line Tool usage: foa [-cA *xml file<sub>i</sub>*] [-cB *xml file<sub>i</sub>*] [-h — -init — -trn — -tst — -ute — -utr] [-i *xml/txt file or folder<sub>i</sub>*] [-lA *txt/json file<sub>i</sub>*] [-lB *txt/json file<sub>i</sub>*] [-o *folder<sub>i</sub>*] [-v] -cA, -configA *xml file<sub>i</sub>* xml config file for class A, only for -test -cB, -configB *xml file<sub>i</sub>* xml config file for class B, only for -test -h, -help print help message -i, -input *xml/txt file or folder<sub>i</sub>* xml file or txt file with list of xml paths for which compute the likelihood for class A and B, only for -test, dataset folder path for -update -init, -initialize initialize database -lA, -listA *txt/json file<sub>i</sub>* text/json file containing a list of xml file for class A, only for -train -lB, -listB *txt/json file<sub>i</sub>* text/json file containing a list of xml file for class B, only for -train -o, -output *folder<sub>i</sub>* output folder for the training config files, only for -train -trn, -train train a binary classification problem -tst, -test predict the class of a xml file -ute, -update-testing update testing database -utr, -update-training update trainingdatabase -v, -verbose whether or not display information, only for -test

## WEBAPP

Per utilizzare più semplicemente gli strumenti di analisi forense implementati e spiegati precedentemente, è stato deciso di implementare una web application che funga da interfaccia e permettere ad un utente di customizzare le query e ottenere un output dei risultati. La web app è sviluppata come node.js app ed utilizza un server express. Segue quindi la struttura: html + css per aspetto, js

client-side per interattività e ajax call, js server-side per rispondere alle chiamate ajax e eseguire le features e poi rispondere al client (node+express).

Le features principali sono classify, per identificare la classe del dispositivo sorgente dato un video, compare, per integrity analysis, infine test per rendere più veloci i test con query.

Il dataset utilizzato è diviso in training e testing. Ciascun video possiede un file xml di informazioni utilizzato per costruire il groundtruth. Tali informazioni, insieme ai path del video, dell'info.xml e del file xml del container, sono salvati in un database. Tale database viene interrogato per ottenere i video per il training e per ottenere i video da testare.

Features É possibile selezionare le features dal nav in cima alla pagina, con in aggiunta una pagina dove spiega come usare tali features.

- Classify: questa feature funziona in due modalità per il training, ovvero manuale e automatica. La modalità manuale si ha quando l'utente è a conoscenza del dispositivo sorgente del video query ma non ha il dispositivo ed intende verificare tale classe. La modalità automatica invece viene utilizzata quando l'utente è totalmente all'oscuro del dispositivo sorgente del video query. Le due modalità funzionano così:

- manual: nel box class l'utente seleziona il brand, il model, e il sistema operativo. Questi elementi sono in sequenza; l'utente può scegliere solo il brand oppure il brand e il model oppure tutti e tre. In base a tale scelta cambierà come la classe avversaria (B) verrà selezionata, ed anche quella scelta (A). Per scegliere la classe A viene fatta un query al database sulla tabella dei video di training in base alla scelta della classe. Se scelgo solo il brand prendo tutti i video di quel brand; se scelgo brand e model prendo tutti i video di quel brand e specifico modello; infine se scelgo brand model e os prendo tutti i video di quel brand e modello con quel sistema operativo specificato. La classe B viene presa sulla base della scelta per la classe A. Se è stato scelto solo il brand prendo tutti i video i cui dispositivi non appartengono a quel brand; se è stato scelto solo brand e model, prendo tutti i video provenienti dai dispositivi di quel brand ma degli altri modelli disponibili per quel brand; infine se è stato scelto brand model e os, prendo tutti i video provenienti dai dispositivi di quel brand e modello ma degli altri sistemi operativi disponibili. Nel caso di brand model e os, se non sono

disponibili altri sistemi operativi mi riporto al caso 2, ovvero brand e model. Nel caso di brand model, se non sono disponibili altri modelli per quel brand, mi riporto al caso 1, ovvero brand.

- automatic: nel box class l'utente non seleziona nulla, lascia tutto any. A questo punto verranno testate tutte le classi disponibili nel database. Verrà viene selezionata ogni possibile classe A e di conseguenza ogni possibile classe B.

Nel box upload, viene selezionata il video query che di cui si vuole predire la sorgente. È possibile caricare un video (mp4 o mov) o più video (max 5?), oppure direttamente i file xml dei rispettivi container. Nel caso in cui si caricano i file video, verrà fatto il parse del video prima di procedere.

I file di training sono creati ed aggiornati periodicamente indipendentemente dalla query. Infatti tali file dipendono dai video presenti nel dataset; la scelta della classe da parte dell'utente serve solo a decidere quali file di training utilizzare. Quindi è possibile ottimizzare creandoli prima e andando a selezionare quelli che mi servono di caso in caso.

Una volta che ho caricato il video, scelto la classe A e B, il server utilizza i corretti file di training. Dopo c'è la fase di testing (utilizza foa), che, dati i video caricati, calcola la likelihood rispetto alla classe selezionata. Per il caso automatic verrà calcolata la likelihood per tutte le classi; tali likelihood vengono ordinate dal migliore al peggiore.

Infine, finito tutto, nel box output viene mostrato il nome del video query e la classe testata insieme alla likelihood associata; per il caso automatic vengono mostrati, per ciascun video caricato, i migliori 5 risultati (classe + likelihood).

- Test: serve per fare il classify più velocemente, senza dover caricare ogni volta i video. C'è solo il box class dove selezionare la classe da testare (manual o auto) e il box output. I video da testare vengono presi dal database dalla tabella dei video di testing, dove sono già parsati in file xml. Oltre all'output come prima, viene mostrata una statistica sui risultati della classificazione per tutti i video considerati (true positivi ecc, correct classification rate); infatti in questo caso è nota la classe vera dei video testati, classe (label) che viene mostrata accanto al nome del file video testato.

- Compare: il compare sfrutta la feature compare di vft. È possibile caricare due video, uno reference l'altro query dal box upload. Una volta finito, nel



box output verranno mostrati i risultati, ovvero il numero totale di attributi di reference e le differenze rispetto a query; inoltre lo stesso calcolo è fatto invertendo ref e query, per dare una visione migliore delle differenze ed eventuali somiglianze/uguaglianze.

- vft-parse: se l'utente non è in possesso dei file container, può caricare un video; se però il file video è grande e non si può/vuole aspettare il caricamento sul server, dal box upload può essere scaricato un programmino jar chiamato vft-parse. Tale programma, con una semplice interfaccia in java swing, è una costola di vft completo e permetto di fare il parsing di un video selezionato o di un intera directory. In questo modo è possibile poi caricare i file xml invece dei file video, velocizzando notevolmente il processo per tutte le features.

- problema del parlante: il motivo per cui vengono scelte le classi avversarie nel modo spiegato precedentemente è che si va incontro al problema del parlante. Il problema del parlante consiste nel fatto che ad esempio nel riconoscimento del parlato, se uso un dataset molto vario in cui includo tutte le lingue e dialetti del mondo per fare il training, poi non sono in grado di classificare accuratamente un parlato query; mentre se invece per fare il training seleziono dialetti simili allora sono in grado di classificare correttamente. Ciò sembra contro-intuitivo per la realtà, dove accade il contrario, ma in questi contesti usare cose simili significa dare molto più peso a piccole differenze che nel caso globale andrebbero perse. Questa è l'idea usata alla base della scelta delle classi avversarie, che cercano di essere diverse ma simili alla classe selezionata dall'utente.



## Chapter 2

# Stato dell'Arte

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec pulvinar eget urna sed mollis. Ut pellentesque libero purus, non euismod turpis gravida mollis. Donec consequat justo vel nisi consequat faucibus. Phasellus nunc velit, maximus et nisl laoreet, ultricies ultrices enim. Aenean et velit et nulla ornare laoreet vel vel nulla. Etiam commodo tempus diam, a ornare mauris. Nulla facilisi. Ut sagittis, est ac tempus pharetra, dui lectus bibendum mauris, sit amet rutrum arcu diam at sem. Nullam blandit eget magna eu ullamcorper. Aenean elementum arcu at sem ultricies finibus. Morbi ullamcorper nulla dolor, eget convallis augue bibendum in. In tincidunt interdum odio ac vehicula. Morbi tristique velit a maximus placerat. Sed quis lacus eleifend, hendrerit libero non, feugiat lectus. Etiam id luctus libero. Cras efficitur dolor id purus lobortis, in facilisis mauris ornare.

Integer pretium dapibus tellus, vehicula sagittis ante euismod ut. Vivamus pretium bibendum purus, posuere consequat quam feugiat in. Duis tellus tellus, scelerisque quis neque a, tempus tincidunt mi. Maecenas consectetur at diam ut blandit. Fusce interdum, ante at commodo mattis, lacus ante bibendum leo, eget ornare arcu eros a dolor. Donec et aliquam risus. Aliquam a dolor at dolor congue pharetra. Vivamus posuere, neque in malesuada facilisis, erat urna fermentum felis, eget mollis nisl eros eu dolor. Sed ultrices aliquam feugiat. Donec id fringilla enim. Nulla molestie mauris id pellentesque volutpat. Vestibulum velit tellus, laoreet ac nunc et, sollicitudin cursus ante. Etiam ultrices eget nisi

non porttitor. Nunc tincidunt tellus vel hendrerit dapibus. Etiam lacus ex, semper luctus eros et, pulvinar sagittis lorem.

Nunc laoreet libero massa, aliquam rhoncus quam luctus ut. Ut egestas imperdiet est, quis commodo lorem sollicitudin ut. Cras pellentesque, est nec finibus placerat, massa tortor fermentum nisi, sed accumsan orci tortor id mauris. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed ut dolor vestibulum, iaculis nisi vitae, pellentesque urna. Fusce a turpis ultrices, mattis ligula eget, tempor arcu. Mauris ultricies, mauris id tempus scelerisque, lacus sapien interdum odio, non rutrum ante elit quis lectus. Mauris fringilla sem vehicula lectus pretium, id pulvinar leo tincidunt.

## Chapter 3

# Implementazione

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec pulvinar eget urna sed mollis. Ut pellentesque libero purus, non euismod turpis gravida mollis. Donec consequat justo vel nisi consequat faucibus. Phasellus nunc velit, maximus et nisl laoreet, ultricies ultrices enim. Aenean et velit et nulla ornare laoreet vel vel nulla. Etiam commodo tempus diam, a ornare mauris. Nulla facilisi. Ut sagittis, est ac tempus pharetra, dui lectus bibendum mauris, sit amet rutrum arcu diam at sem. Nullam blandit eget magna eu ullamcorper. Aenean elementum arcu at sem ultricies finibus. Morbi ullamcorper nulla dolor, eget convallis augue bibendum in. In tincidunt interdum odio ac vehicula. Morbi tristique velit a maximus placerat. Sed quis lacus eleifend, hendrerit libero non, feugiat lectus. Etiam id luctus libero. Cras efficitur dolor id purus lobortis, in facilisis mauris ornare.

Integer pretium dapibus tellus, vehicula sagittis ante euismod ut. Vivamus pretium bibendum purus, posuere consequat quam feugiat in. Duis tellus tellus, scelerisque quis neque a, tempus tincidunt mi. Maecenas consectetur at diam ut blandit. Fusce interdum, ante at commodo mattis, lacus ante bibendum leo, eget ornare arcu eros a dolor. Donec et aliquam risus. Aliquam a dolor at dolor congue pharetra. Vivamus posuere, neque in malesuada facilisis, erat urna fermentum felis, eget mollis nisl eros eu dolor. Sed ultrices aliquam feugiat. Donec id fringilla enim. Nulla molestie mauris id pellentesque volutpat. Vestibulum velit tellus, laoreet ac nunc et, sollicitudin cursus ante. Etiam ultrices eget nisi

non porttitor. Nunc tincidunt tellus vel hendrerit dapibus. Etiam lacus ex, semper luctus eros et, pulvinar sagittis lorem.

Nunc laoreet libero massa, aliquam rhoncus quam luctus ut. Ut egestas imperdiet est, quis commodo lorem sollicitudin ut. Cras pellentesque, est nec finibus placerat, massa tortor fermentum nisi, sed accumsan orci tortor id mauris. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed ut dolor vestibulum, iaculis nisi vitae, pellentesque urna. Fusce a turpis ultrices, mattis ligula eget, tempor arcu. Mauris ultricies, mauris id tempus scelerisque, lacus sapien interdum odio, non rutrum ante elit quis lectus. Mauris fringilla sem vehicula lectus pretium, id pulvinar leo tincidunt.

## Chapter 4

# Esperimenti

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec pulvinar eget urna sed mollis. Ut pellentesque libero purus, non euismod turpis gravida mollis. Donec consequat justo vel nisi consequat faucibus. Phasellus nunc velit, maximus et nisl laoreet, ultricies ultrices enim. Aenean et velit et nulla ornare laoreet vel vel nulla. Etiam commodo tempus diam, a ornare mauris. Nulla facilisi. Ut sagittis, est ac tempus pharetra, dui lectus bibendum mauris, sit amet rutrum arcu diam at sem. Nullam blandit eget magna eu ullamcorper. Aenean elementum arcu at sem ultricies finibus. Morbi ullamcorper nulla dolor, eget convallis augue bibendum in. In tincidunt interdum odio ac vehicula. Morbi tristique velit a maximus placerat. Sed quis lacus eleifend, hendrerit libero non, feugiat lectus. Etiam id luctus libero. Cras efficitur dolor id purus lobortis, in facilisis mauris ornare.

Integer pretium dapibus tellus, vehicula sagittis ante euismod ut. Vivamus pretium bibendum purus, posuere consequat quam feugiat in. Duis tellus tellus, scelerisque quis neque a, tempus tincidunt mi. Maecenas consectetur at diam ut blandit. Fusce interdum, ante at commodo mattis, lacus ante bibendum leo, eget ornare arcu eros a dolor. Donec et aliquam risus. Aliquam a dolor at dolor congue pharetra. Vivamus posuere, neque in malesuada facilisis, erat urna fermentum felis, eget mollis nisl eros eu dolor. Sed ultrices aliquam feugiat. Donec id fringilla enim. Nulla molestie mauris id pellentesque volutpat. Vestibulum velit tellus, laoreet ac nunc et, sollicitudin cursus ante. Etiam ultrices eget nisi

non porttitor. Nunc tincidunt tellus vel hendrerit dapibus. Etiam lacus ex, semper luctus eros et, pulvinar sagittis lorem.

Nunc laoreet libero massa, aliquam rhoncus quam luctus ut. Ut egestas imperdiet est, quis commodo lorem sollicitudin ut. Cras pellentesque, est nec finibus placerat, massa tortor fermentum nisi, sed accumsan orci tortor id mauris. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed ut dolor vestibulum, iaculis nisi vitae, pellentesque urna. Fusce a turpis ultrices, mattis ligula eget, tempor arcu. Mauris ultricies, mauris id tempus scelerisque, lacus sapien interdum odio, non rutrum ante elit quis lectus. Mauris fringilla sem vehicula lectus pretium, id pulvinar leo tincidunt.



## Chapter 5

# Conclusione

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec pulvinar eget urna sed mollis. Ut pellentesque libero purus, non euismod turpis gravida mollis. Donec consequat justo vel nisi consequat faucibus. Phasellus nunc velit, maximus et nisl laoreet, ultricies ultrices enim. Aenean et velit et nulla ornare laoreet vel vel nulla. Etiam commodo tempus diam, a ornare mauris. Nulla facilisi. Ut sagittis, est ac tempus pharetra, dui lectus bibendum mauris, sit amet rutrum arcu diam at sem. Nullam blandit eget magna eu ullamcorper. Aenean elementum arcu at sem ultricies finibus. Morbi ullamcorper nulla dolor, eget convallis augue bibendum in. In tincidunt interdum odio ac vehicula. Morbi tristique velit a maximus placerat. Sed quis lacus eleifend, hendrerit libero non, feugiat lectus. Etiam id luctus libero. Cras efficitur dolor id purus lobortis, in facilisis mauris ornare.

Integer pretium dapibus tellus, vehicula sagittis ante euismod ut. Vivamus pretium bibendum purus, posuere consequat quam feugiat in. Duis tellus tellus, scelerisque quis neque a, tempus tincidunt mi. Maecenas consectetur at diam ut blandit. Fusce interdum, ante at commodo mattis, lacus ante bibendum leo, eget ornare arcu eros a dolor. Donec et aliquam risus. Aliquam a dolor at dolor congue pharetra. Vivamus posuere, neque in malesuada facilisis, erat urna fermentum felis, eget mollis nisl eros eu dolor. Sed ultrices aliquam feugiat. Donec id fringilla enim. Nulla molestie mauris id pellentesque volutpat. Vestibulum velit tellus, laoreet ac nunc et, sollicitudin cursus ante. Etiam ultrices eget nisi

non porttitor. Nunc tincidunt tellus vel hendrerit dapibus. Etiam lacus ex, semper luctus eros et, pulvinar sagittis lorem.

Nunc laoreet libero massa, aliquam rhoncus quam luctus ut. Ut egestas imperdiet est, quis commodo lorem sollicitudin ut. Cras pellentesque, est nec finibus placerat, massa tortor fermentum nisi, sed accumsan orci tortor id mauris. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed ut dolor vestibulum, iaculis nisi vitae, pellentesque urna. Fusce a turpis ultrices, mattis ligula eget, tempor arcu. Mauris ultricies, mauris id tempus scelerisque, lacus sapien interdum odio, non rutrum ante elit quis lectus. Mauris fringilla sem vehicula lectus pretium, id pulvinar leo tincidunt.

# Appendix A

## Lorem

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec pulvinar eget urna sed mollis. Ut pellentesque libero purus, non euismod turpis gravida mollis. Donec consequat justo vel nisi consequat faucibus. Phasellus nunc velit, maximus et nisl laoreet, ultricies ultrices enim. Aenean et velit et nulla ornare laoreet vel vel nulla. Etiam commodo tempus diam, a ornare mauris. Nulla facilisi. Ut sagittis, est ac tempus pharetra, dui lectus bibendum mauris, sit amet rutrum arcu diam at sem. Nullam blandit eget magna eu ullamcorper. Aenean elementum arcu at sem ultricies finibus. Morbi ullamcorper nulla dolor, eget convallis augue bibendum in. In tincidunt interdum odio ac vehicula. Morbi tristique velit a maximus placerat. Sed quis lacus eleifend, hendrerit libero non, feugiat lectus. Etiam id luctus libero. Cras efficitur dolor id purus lobortis, in facilisis mauris ornare.

Integer pretium dapibus tellus, vehicula sagittis ante euismod ut. Vivamus pretium bibendum purus, posuere consequat quam feugiat in. Duis tellus tellus, scelerisque quis neque a, tempus tincidunt mi. Maecenas consectetur at diam ut blandit. Fusce interdum, ante at commodo mattis, lacus ante bibendum leo, eget ornare arcu eros a dolor. Donec et aliquam risus. Aliquam a dolor at dolor congue pharetra. Vivamus posuere, neque in malesuada facilisis, erat urna fermentum felis, eget mollis nisl eros eu dolor. Sed ultrices aliquam feugiat. Donec id fringilla enim. Nulla molestie mauris id pellentesque volutpat. Vestibulum velit tellus, laoreet ac nunc et, sollicitudin cursus ante. Etiam ultrices eget nisi

non porttitor. Nunc tincidunt tellus vel hendrerit dapibus. Etiam lacus ex, semper luctus eros et, pulvinar sagittis lorem.

Nunc laoreet libero massa, aliquam rhoncus quam luctus ut. Ut egestas imperdiet est, quis commodo lorem sollicitudin ut. Cras pellentesque, est nec finibus placerat, massa tortor fermentum nisi, sed accumsan orci tortor id mauris. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Sed ut dolor vestibulum, iaculis nisi vitae, pellentesque urna. Fusce a turpis ultrices, mattis ligula eget, tempor arcu. Mauris ultricies, mauris id tempus scelerisque, lacus sapien interdum odio, non rutrum ante elit quis lectus. Mauris fringilla sem vehicula lectus pretium, id pulvinar leo tincidunt.

# Bibliography