
Relazione

Multimedia e Laboratorio

**Valutazione delle principali tecnologie di compressione
video disponibili allo stato dell'arte**

Orazio Scavo, matricola O55000414

Docenti: Allegra D. e Stanco F.

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

Sommario

Introduzione	4
Ricerca dei campioni (File video non compressi)	5
2.1 Fonte	5
2.2 Caratteristiche delle tracce	6
2.2.1 Chroma Format e Subsampling Cromatico	6
2.2.2 Classe	6
2.3 Analisi delle clip video scelte	7
2.3.1 Akiyo	7
2.3.2 News	7
2.3.3 CoastGuard	8
2.3.4 Container	8
2.3.5 Hall Objects	9
2.4 Riproduzione delle clip non compresse	10
Scelta degli algoritmi di compressione da analizzare	11
Premessa sulla compressione dei video	11
3.1 MPEG-2	12
3.2 H.264 (MPEG-4 Part 10 - AVC)	13
3.3 VP9	14
Applicazione degli algoritmi di compressione	15
4.1 FFmpeg	15
4.2 Parametri	15
4.3 Tool per l'esecuzione delle compressioni	16
4.4 Configurazioni	17
Analisi dei risultati	18
5.1 Risultati Configurazione "DEFAULT"	18
5.2 Risultati Configurazione "EXTENDED_GOP"	19
5.3 Risultati Configurazione "SMALL_GOP"	21
5.4 Considerazioni generali sui risultati ottenuti	23
Conclusioni	24

1 Introduzione

L'obiettivo del progetto è quello di adoperare alcune delle attuali tecnologie di compressione video al fine di fare delle considerazioni di vario tipo sulle performance misurate durante la loro applicazione.

Lo scopo di questo documento è dunque quello di presentare nel dettaglio le problematiche affrontate e le soluzioni adottate durante l'approfondimento, per poi trarre delle conclusioni finali sui risultati ottenuti e sullo svolgimento dell'analisi nel suo complesso.

Gli step che sarà necessario svolgere e che verranno approfonditi nei paragrafi successivi sono i seguenti:

1. Identificazione (e download) di alcuni brevi video che saranno usati come campioni per effettuare tutte le valutazioni che saranno oggetto di questo approfondimento
2. Identificazione di alcuni algoritmi di compressione tra quelli attualmente disponibili allo stato dell'arte, che saranno oggetto dell'analisi
3. Definizione delle configurazioni da utilizzare, sulla base dei parametri di compressione che è possibile manipolare per ognuno degli algoritmi selezionati
4. Applicazione degli algoritmi di compressione selezionati sui video campione.
5. Valutazione dei risultati ottenuti

2 Ricerca dei campioni (File video non compressi)

Il primo passo da compiere consiste nel reperimento dei file video non compressi che si intende utilizzare come campioni per le tecniche di compressione oggetto di questo approfondimento.

Questi file non sono facilmente reperibili in quanto di fatto non si prestano bene alla gran parte degli utilizzi usuali dei file video. Infatti solitamente i programmi per la riproduzione di file video permettono la riproduzione di file compressi utilizzando determinati codec supportati.

2.1 Fonte

Dopo alcune ricerche ho trovato un archivio offerto dalla Arizona State University di brevi file video codificati come sequenze YIV:

<http://trace.eas.asu.edu/yuv/>

L'archivio contiene 20 video, per assicurare una sufficiente variabilità delle caratteristiche delle tracce sono stati selezionati 5 elementi come campioni per il presente approfondimento. Nello stesso archivio viene fornito anche un interessante schema contenente alcune informazioni sui video presenti (viene riportato il dettaglio dei 5 video che sono stati selezionati):

SEQUENCE NAME	Y_RES	UV_RES	FREQ	#FRAMES	CHROMA FORMAT	CLASS
Akiyo	720X486	360X486	60	300	4:2:2	A
News	720X486	360X486	60	300	4:2:2	B
Coastguard	720X480	360X480	60	300	4:2:2	B
Container	720X480	360X480	60	300	4:2:2	A
Hall Objects	720X480	360X480	60	330	4:2:2	A

<https://media.xiph.org/video/derf/sotka.cs.tut.fi/cost/Ossi/sequences/README.sequences>

2.2 Caratteristiche delle tracce

Nello schema presentato al paragrafo precedente sono riportate alcune informazioni fondamentali per la corretta interpretazione delle sequenze e dunque per la loro codifica.

Per ogni traccia video sono riportate delle informazioni base quali:

- La risoluzione della luminanza (**Y_RES**)
- La risoluzione della cromaticanza (**UV_RES**)
- La frequenza di frame (**FREQ**)
- Il numero totale di frames (**#FRAMES**)

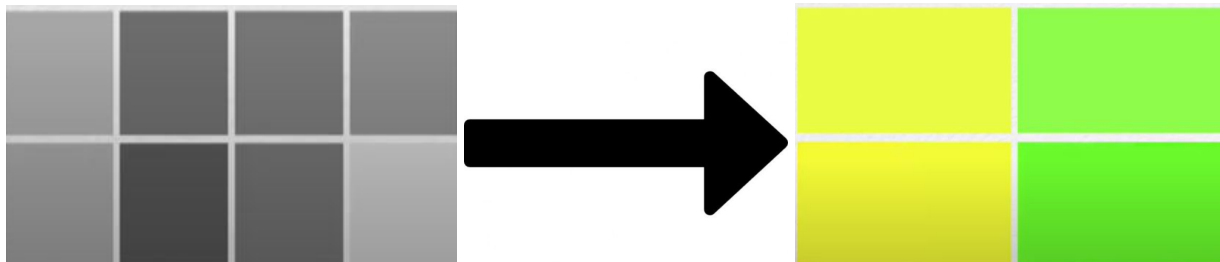
Inoltre sono presenti due valori, "**CHROMA FORMAT**" e "**CLASS**", che verranno approfonditi nei paragrafi successivi.

2.2.1 Chroma Format e Subsampling Cromatico

Le sequenze video presentano una leggera compressione delle caratteristiche cromatiche dei pixel, infatti il campo "**CHROMA FORMAT**" indica lo schema utilizzato per il **Subsampling Cromatico** che è stato applicato alle sequenze. Questa tecnica consiste nel replicare l'informazione cromatica di un pixel anche ad un certo numero di pixel adiacenti in modo da risparmiare spazio. Lo schema che vediamo riportato in corrispondenza del campo "**CHROMA FORMAT**" è formato da una terna di valori che indicano rispettivamente:

- Larghezza dello schema o pattern utilizzato per il sampling
- Numero di valori salvati per la prima riga dello schema
- Numero di valori salvati per la seconda riga dello schema

Per quanto riguarda le sequenze che sono state selezionate lo schema adoperato per il Subsampling è sempre **4:2:2**, questo significa che per ogni blocco da 8 pixel (a cui sono associati 8 valori di intensità - segnale Y) vengono associati 4 valori di cromaticità U/V. Secondo il seguente schema:



La conseguenza di questa compressione è evidente osservando la risoluzione della cromaticanza, che orizzontalmente corrisponde esattamente alla metà di quella della luminanza (verticalmente sono uguali).

2.2.2 Classe

Ad ogni sequenza video è associata una classe che indica in termini generali le caratteristiche dei soggetti ripresi nel video e dei loro movimenti. In particolare:

- Alla **classe "A"** corrispondono delle clip con pochi dettagli spaziali e poco movimento
- Alla **classe "B"** corrispondono delle clip con una quantità discreta quantità di dettagli spaziali o di movimento

2.3 Analisi delle clip video scelte

Di seguito una breve presentazione delle tracce scelte:

2.3.1 Akiyo

Una donna a mezzo busto presenta le notizie al telegiornale, questo video appartiene alla **classe A** in quanto non sono presenti movimenti particolari o dettagli complessi.



2.3.2 News

Una coppia di giornalisti presenta le notizie al telegiornale e sullo sfondo è presente uno schermo che rappresenta una coppia di ballerini impegnata in una esibizione. Questa clip appartiene dunque alla **classe B** a causa della dinamicità dei movimenti dei ballerini.



2.3.3 CoastGuard

Due barche che attraversano un fiume si incrociano in uno sfondo che presenta le increspature dell'acqua, un muro di pietre ed un prato con molti alberi. Questa clip rientra ovviamente nella **classe B** a causa dei molti dettagli e del movimento dei soggetti.



2.3.4 Container

Una nave mercantile esce da un porto, questa clip viene assegnata alla **classe A** in quanto l'unica parte dinamica è la nave in lento movimento. Tuttavia presenta **alcuni dettagli rilevanti**, come ad esempio una coppia di uccelli che attraversa velocemente il quadro.



2.3.5 Hall Objects

Due uomini si incrociano mentre camminano nel corridoio di un ufficio. Gran parte della clip presenta uno sfondo statico con i due uomini che camminano frontalmente alla telecamera, dunque la clip rientra nella **classe A** in quanto non presenta particolare dinamicità dei contenuti.



2.4 Riproduzione delle clip non compresse

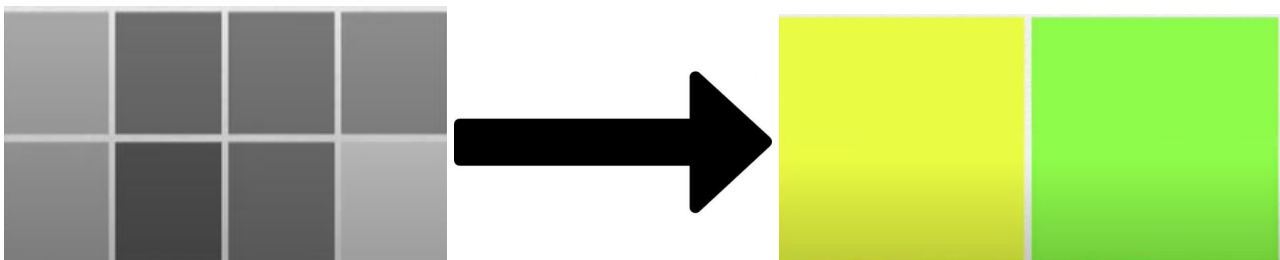
Per avere un'idea più chiara del contenuto delle clip ho utilizzato [pYUV](#), un tool che permette, indicando alcuni parametri necessari per l'interpretazione del flusso (dimensione quadro, frequenza frame, chroma format, ecc..) , la riproduzione di clip video codificate come sequenze YUV. Questo mi ha permesso di avere un'idea del contenuto visuale delle clip prima di procedere con le compressioni, e soprattutto di verificare la veridicità dei parametri riportati nella tabella al paragrafo 2.1. Infatti sono state riscontrate una serie di incongruenze rispetto ai dati riportati nella suddetta tabella.

L'incongruenza più importante riguarda il dato **CHROMA FORMAT**, infatti, indicando come formato cromatico **4:2:2**, il risultato della riproduzione palesava chiari problemi di interpretazione dei colori. Di seguito vengono riportati come esempi le clip "Akiyo" e "CoastGuard":



Si noti che oltre ad una evidente **incongruenza cromatica**, è presente una **perdita di sincronizzazione** rispetto alla frequenza delle frames che da come effetto lo scorrimento verticale dell'immagine, così come si può notare bene nell'esempio "Akiyo".

Modificando lo schema cromatico a **4:2:0** questo problema è stato risolto, dunque possiamo concludere che lo schema utilizzato per il sampling cromatico delle clip non è quello presentato al paragrafo 2.2.1, bensì è **4:2:0**, che consiste nella replicazione dei valori della prima riga della maschera anche nella seconda riga:



Per ogni gruppo da 8 pixel vengono dunque memorizzati 2 soli valori di cromaticità. Questo modifica ulteriormente la risoluzione del colore rispetto a quella indicata precedentemente, infatti la risoluzione del colore effettiva sarà dimezzata anche verticalmente, diventando dunque **360x243**.

Un'altra incongruenza riguarda invece specificatamente la clip "Akiyo", infatti è evidente che con una **frequenza** di 60 frame al secondo, come indicato nella tabella al paragrafo 2.1, la clip risulta accelerata rispetto alla velocità naturale. Un risultato verosimile in termini di velocità di riproduzione è stato ottenuto con una frequenza dimezzata di 30 frame al secondo.

3 Scelta degli algoritmi di compressione da analizzare

Una volta predisposte le clip campione procediamo con la scelta delle tecniche di compressione da utilizzare su di esse. Dopo un'attenta analisi dello stato dell'arte ho deciso di analizzare i seguenti 3 codec:

- MPEG-2
- H.264 (MPEG-4 Part 10 - AVC)
- VP9

Il primo formato è meno recente rispetto agli altri 2, ma è allo stesso molto diffuso in quanto è adoperato per la TV digitale (modalità a qualità standard) e quindi ritengo che valga la pena di includerlo in questo approfondimento.

Ovviamente mi aspetto un certo gap di performance rispetto ai più recenti H.264 e VP9, che offrono il massimo attualmente ottenibile in termini di performance ed efficienza per questo tipo di compressioni.

I principali metri di giudizio con cui sarà possibile valutare i formati scelti sono i seguenti:

1. **La qualità video per il bitrate** (o gamma di bitrate). Comunemente la qualità del video è considerata la caratteristica principale di confronti codec. Il confronto di qualità video può essere *soggettivo* o *oggettivo*. Per l'approfondimento in oggetto faremo riferimento alle metriche **PSNR** e **SSIM**. La valutazione di queste metriche **full reference** è possibile in quanto disponiamo delle clip non compresse con cui confrontare i risultati. Verrà poi effettuata una verifica della qualità percettiva mediante l'osservazione diretta degli output.
2. **Caratteristiche prestazionali** quali la velocità di compressione/decompressione e l'effettivo rapporto di compressione.

Premessa sulla compressione dei video

Il concetto fondamentale nella compressione delle clip video consiste nel rimuovere non solo la ridondanza presente all'interno dei singoli frame (compressione equivalente a quella applicata nella immagini), ma anche nello sfruttare la correlazione tra frame temporalmente vicini. Questo principio si traduce nella definizione di 3 tipi di frame che possono essere prodotti dalla compressione:

- **Intra (Independent) frame**: Fotogrammi codificati senza riferimento ad altri frames. In generale sono frames la cui codifica richiede più bit e vengono usati come riferimento per la codifica delle frames vicine.
- **Predicted (Previous-dependent) frame**: La loro codifica/decodifica fa riferimento ad un fotogramma precedente. Vengono codificate le differenze e/o i movimenti rispetto ad esso. Chiaramente la codifica di queste frames richiede meno bit rispetto a quelle di tipo I.
- **Bidirectional (Bidirectional-dependent) frame**: Queste frames sono codificate con riferimento a frames sia precedenti che successive. Di conseguenza queste frames sono quelle che richiedono meno bit per essere codificate.

Per permettere la codifica delle frames di tipo B, che necessitano di info sui fotogrammi successivi, l'ordine di codifica delle frames può non coincidere con il loro ordine originale nella clip non compressa.

3.1 MPEG-2

MPEG-2 è uno standard introdotto nel 1994 da MPEG (*Moving Pictures Experts Group*). MPEG-2 è un sistema di codifica digitale che definisce la codifica di sorgente ovvero la compressione audio, video, e il formato di moltiplicazione e trasporto per servizi multimediali diffusivi a qualità televisiva o superiore. MPEG-2 è uno dei formati più diffusi per i video perché è quello utilizzato nei DVD video.

Una efficiente codifica per il video interlacciato e la scalabilità sono state le caratteristiche che hanno permesso di digitalizzare efficacemente i segnali televisivi. Grazie all'MPEG-2 si ottengono immagini televisive di buona qualità con bitrate compresi tra **4 e 9 Mbit/s**

MPEG-2 è costituito da "profili" e "livelli". I *profili* definiscono la modalità di compressione utilizzata e stabiliscono di fatto il compromesso tra tasso di compressione e costo del decodificatore. I *livelli* definiscono la risoluzione di immagine ed il bitrate massimo da associare ad ogni profilo. Ci sono complessivamente **4 livelli e 5 profili**.

I livelli previsti sono:

- **low** (basso), corrisponde alla risoluzione più bassa come la SIF utilizzata in MPEG-1;
- **main** (principale), corrisponde alla struttura 4:2:0 fino ad una risoluzione di 720 x 576 pixel;
- **high-1440** (alto-1440), dedicato alla tv ad alta definizione HDTV;
- **high** (alto), ottimizzato per il formato di schermo 16/9 in alta definizione.

La descrizione dei profili è invece un po' meno semplice di quella dei livelli in quanto implica la conoscenza delle metodologie di base con cui opera il sistema MPEG; questa è una sintesi riferita agli effetti dell'applicazione dei vari profili:

- Il profilo "**simple**" permette di semplificare notevolmente in quanto non utilizza la predizione di tipo B (bidirectional frame).
- Il profilo "**main**" è quello che offre il miglior compromesso tra qualità e tasso di compressione, impiega le immagini relative alle predizioni I, P, B.
- Il profilo "**scalable**" è destinato ad applicazioni particolari dove sia necessario ad esempio mantenere la compatibilità tra alta definizione e definizione standard oppure, riuscire ad ottenere una qualità accettabile in condizioni di ricezione difficile come potrebbe accadere ad esempio nella televisione digitale terrestre.
- Il profilo "**spatial scalable**" adopera la struttura 4:2:0
- Il profilo più elevato "**high**" è destinato all'alta definizione con la struttura 4:2:2.

La combinazione attualmente utilizzata dalle trasmissioni digitali per ricezione diretta impiega il cosiddetto "**main profile @ main level**" MP@ML.

3.2 H.264 (MPEG-4 Part 10 - AVC)

La prima versione di questo codec è stata rilasciata nel 2003, la versione attuale è stata rilasciata nel 2014.

Tra i formati di compressione video più utilizzati per la realizzazione e la distribuzioni di filmati e video di qualsiasi dimensione e risoluzione, il codec H.264 (chiamato anche MPEG-4 Part 10 AVC) è noto anche per essere uno degli standard di codifica dei **dischi Blu-ray**. Capace di garantire un'ottima qualità video a bassi livelli di bitrate, è ampiamente utilizzato dai servizi di **videostreaming sul web** e da software di riproduzione video.

Il progetto è nato per creare uno standard in grado di fornire una buona qualità video a bit rate notevolmente inferiori rispetto agli standard precedenti (**MPEG-2, H.263** o **MPEG-4 Part 2 - Visual**), senza aumentarne la complessità e il costo di implementazione. Ulteriore obiettivo è quello di fornire una flessibilità sufficiente da consentirne l'uso in una vasta gamma di applicazioni e su un'ampia varietà di reti e sistemi.

Gli obiettivi sopra citati sono stati ottenuti grazie ad una serie di caratteristiche molto innovative, tra cui:

- Introduzione di una codifica basata su codici a lunghezza variabile ed una particolare variante della DCT (Discrete Cosine Transform) pensata per non avere perdita di precisione durante i calcoli.
- Definizione di 52 livelli di quantizzazione, in cui il livello 0 corrisponde ad una codifica **loseless**, mentre il 51 ad una completamente **lossy**.
- Introduzione di **slice** (sottoinsieme di una immagine decodificabile indipendentemente, concettualmente simile ad un frame MPEG-2) di 5 tipi:

I primi 3 corrispondono alle tipologie di frame già presenti in formati precedenti come MPEG-2, ossia **P - B - I**, con la differenza che ogni slice può fare riferimento anche a più di 2 slice già decodificate.

Ci sono inoltre 2 nuovi tipi di slice, **Switching I (SI)** e **Switching P (SP)**, in corrispondenza delle quali è possibile effettuare una commutazione tra flussi a bit rate differenti. Questa è una feature fondamentale che permette di adattare la banda del flusso dati a run time, in base alle condizioni della rete e alle caratteristiche del dispositivo in uso.

3.3 VP9

Google è sempre più impegnata nel campo della multimedialità e sempre più decisa ad investire su tecnologie capaci di ridurre al minimo l'impatto sul consumo di banda da parte degli utenti. Ne è un esempio la suite di codec e formati per la compressione video sviluppati negli ultimi anni.

Ultimo nato è il codec **VP9**, nato all'interno del progetto **WebM Project**, progetto sponsorizzato appunto da Google, il cui obiettivo è quello di sviluppare un formato video open ad alta qualità che sia disponibile liberamente sul web a chiunque ne abbia la necessità.

VP9, sviluppato a partire dalla fine del 2011, supporta lo standard 4k e può ridurre il bitrate fino al 50% rispetto ad altri codec attualmente in uso sul web (come H.264). Supporta lo streaming adattivo ed è usato, tra gli altri, da Youtube e Netflix.

Nel dicembre 2012 il codec venne aggiunto tra quelli supportati dal browser Chromium (progetto open source che funge da "base di lavoro" per Chrome), mentre due mesi più tardi fu il turno di **Chrome**. L'8 maggio 2013 Google annuncia la finalizzazione del nuovo codec nel giro di un mese e da lì in avanti l'integrazione del VP9 in tutti i suoi prodotti. Tra l'ottobre 2013 e gennaio 2014 VP9 viene adottato da diverse *software house* (come FFmpeg, ad esempio) e produttori hardware, **Samsung** e **Ittiam** per prime. Nel marzo 2014, la Mozilla Foundation annuncia l'integrazione del VP9 all'interno dell'ultima versione del browser **Mozilla**.

4 Applicazione degli algoritmi di compressione

Dopo aver identificato i video campione e le codifiche da utilizzare è possibile procedere con l'effettivo encoding delle sequenze video.

4.1 FFmpeg

Per procedere con questa fase è necessario scegliere un tool adatto per questo tipo di elaborazioni. Facendo qualche semplice ricerca ho scoperto che esistono diverse alternative per effettuare un'operazione di questo tipo, dopo aver valutato alcune delle soluzioni a disposizione ho optato per il tool **FFmpeg**.

[FFmpeg](#) è una grande libreria open source capace di codificare e decodificare delle sequenze video. Supporta quasi tutti i formati e i codec video e audio esistenti, oltre che tutti i protocolli di streaming.

Questa scelta si è rivelata la più adatta al fine di questo approfondimento in quanto supporta tutti i **codec** che ho scelto di utilizzare e permette, tramite una semplice interfaccia da riga di comando, di esplicitare una serie di **parametri** in modo chiaro, vantaggio fondamentale ai fini della completezza di questa analisi.

Un'altra caratteristica utile di questo tool è la possibilità di valutare il **PSNR** e la **SSIM** di due sequenze video. Questa feature servirà per valutare la perdita di qualità dovuta all'applicazione della codifica.

4.2 Parametri

La documentazione di FFmpeg offre una lista completa dei [parametri](#) per la codifica. Esistono poi anche dei parametri specifici per i vari codec.

Alcuni parametri saranno fissi per tutte le configurazioni in quanto indicano il formato della sequenza di input, il valore corretto per YUV con subsampling cromatico 4:2:0 è **pix_fmt yuv420p**.

Stesso discorso vale per il parametro **'r'**, che useremo per indicare il **framerate** della sequenza originale, e per il parametro **'s'**, che indica la **risoluzione** originale (trattandosi di clip in formato **'cif'**, questa sarà pari a 352x288).

Aggiungiamo anche il parametro **-vstats_file** per stampare su file le statistiche di conversione frame per frame.

Una configurazione base, senza nessun parametro particolare sarà quindi la seguente (come esempio riporto una compressione "base" in mpeg2 della clip "akiyo"):

```
ffmpeg -r 30 -s cif -i "akiyo_cif.yuv" -c:v mpeg2video -vstats_file "stats.txt" -pix_fmt yuv420p -y  
"akiyo_base_mpeg2.mp4"
```

Oltre ad effettuare la conversione delle clip sarà necessario valutare la perdita di qualità. Come anticipato in precedenza valuteremo le metriche **PSNR** e **SSIM**, per fare ciò utilizziamo una funzione apposita offerta sempre dal tool FFmpeg. Il risultato del calcolo (frame per frame) verrà inserito in un apposito file.

Una volta definita il comando di conversione "base" ed i comandi che verranno usati per la misurazione dell'errore, bisogna definire il set di parametri da utilizzare per formulare le varie configurazioni di compressione che saranno oggetto dell'analisi finale.

Di seguito i 2 parametri che ho selezionato dalla lista completa e che verranno adoperati nelle varie conversioni. Per la scelta dei parametri mi sono basato sui consigli presenti in vari forum e su quello che a mio parere potrebbe essere l'entità dell'impatto sul prodotto finale:

- **g**: setta la dimensione del **GOP** (group of picture): gruppo di frame che può essere decodificato indipendentemente (Contiene almeno una 'I frame') - Default 12.
- **bf**: numero massimo di frame "B" tra frames "non B". Tra -1(auto) e 16 (Default 0->no frame "B").

Verranno dunque utilizzate diverse configurazioni sulla base di questi parametri ed ognuna di esse sarà applicata a tutti e 3 i codec che abbiamo identificato in precedenza. Per indicare il **codec** da utilizzare per la conversione bisogna modificare il valore del parametro '**c:v**', e come valori rispettivamente:

- **mpeg2video** per MPEG-2
- **libvpx-vp9** per VP9
- **libx264** per H.264

4.3 Tool per l'esecuzione delle compressioni

Per velocizzare il processo di definizione delle configurazioni e l'esecuzione degli algoritmi sui video campione ho realizzato un tool scritto in **C++** che permette di eseguire queste operazioni tramite una semplice interfaccia da riga di comando.

Il codice del progetto è disponibile su **gitHub**: https://github.com/orazioscavo13/Progetto_Multimedia

Di seguito una panoramica delle funzionalità offerte:

```
orazio@DESKTOP-1MDCCEF: /mnt/c/Users/orazi/Desktop/Progetto_Multimedia
orazio@DESKTOP-1MDCCEF: /mnt/c/Users/orazi/Desktop/Progetto_Multimedia$ ./encoder

+-----+
|                                     |
|                               BENVENUTO                               |
|                                     |
+-----+
| Seleziona una azione:                                     |
| 0) Mostra le configurazioni esistenti                     |
| 1) Definisci una nuova configurazione                   |
| 2) Elimina una configurazione                           |
| 3) Effettua la compressione di una delle sequenze non compresse |
| 4) Esegui la compressione su tutti i video e con tutte le configurazioni (con tutti i codec) |
| 5) Mostra Statistiche (Una combinazione)                |
| 6) Mostra Statistiche (Tutte le combinazioni)           |
| 7) Mostra Statistiche (Media su tutte le clip)          |
| 8) Mostra Statistiche relative ad una configurazione    |
| 9) Clear (Elimina tutti gli output presenti)            |
| Q) Esci                                                  |
+-----+
```

Grazie a questo strumento ho avuto la possibilità di testare numerose combinazioni e raccogliere i risultati agevolmente.

4.4 Configurazioni

Una volta completato lo sviluppo del tool ho definito le seguenti configurazioni:

LISTA CONFIGURAZIONI
(1) DEFAULT Dimensione Group of Pictures: 12 Numero Massimo di B-frames consecutive: 0
(2) EXTENDED_GOP Dimensione Group of Pictures: 30 Numero Massimo di B-frames consecutive: 15
(3) SMALL_GOP Dimensione Group of Pictures: 4 Numero Massimo di B-frames consecutive: 2

Nonostante la grande facilità di definizione di nuove configurazioni ho preferito non usarne più di 3 in quanto, visto il numero non indifferente di combinazioni che si sarebbero venute a creare, l'analisi dei risultati non sarebbe stata agevole.

5 Analisi dei risultati

Servendomi nuovamente del tool sviluppato ho eseguito dunque le compressioni per tutte le combinazioni possibili (5 clip x 3 codec x 3 configurazioni → **45 Compressioni**).

Tramite l'apposita funzionalità di **estrazione dei dati** dai file di statistiche prodotti e di relativa **visualizzazione in tabella**, è stato possibile effettuare una valutazione dei risultati ottenuti. Di seguito i dati raccolti:

5.1 Risultati Configurazione "DEFAULT"

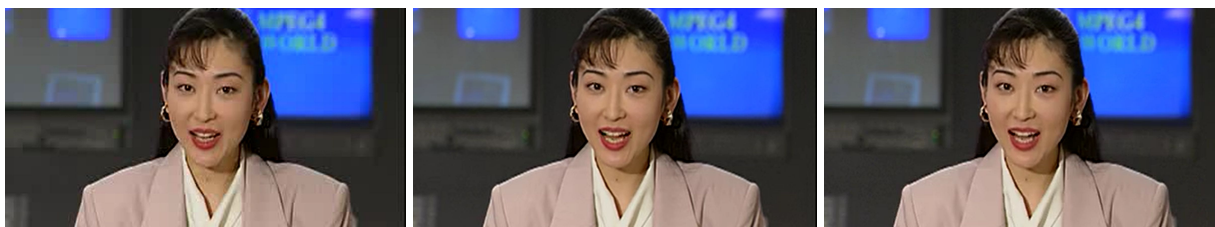
Clip	MPEG2	VP9	H.264
Akiyo (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 111.44 Tempo di compressione : 1.71 secondi Dimensione Compressa :489.35 KB PSNR medio su 300 frames: 30.37 SSIM medio su 300 frames: 0.92 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 93.16 Tempo di compressione : 16.43 secondi Dimensione Compressa :489.69 KB PSNR medio su 300 frames: 30.51 SSIM medio su 300 frames: 0.93 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 121.95 Tempo di compressione : 2.89 secondi Dimensione Compressa :374.04 KB PSNR medio su 300 frames: 30.43 SSIM medio su 300 frames: 0.93 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)
Coastguard (B-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 98.00 Tempo di compressione : 1.68 secondi Dimensione Compressa :465.51 KB PSNR medio su 300 frames: 20.35 SSIM medio su 300 frames: 0.54 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 74.62 Tempo di compressione : 34.06 secondi Dimensione Compressa :611.28 KB PSNR medio su 300 frames: 20.10 SSIM medio su 300 frames: 0.53 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 30.16 Tempo di compressione : 3.36 secondi Dimensione Compressa :1512.81 KB PSNR medio su 300 frames: 19.99 SSIM medio su 300 frames: 0.52 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)
Container (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 108.76 Tempo di compressione : 1.32 secondi Dimensione Compressa :419.44 KB PSNR medio su 300 frames: 25.52 SSIM medio su 300 frames: 0.83 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 64.43 Tempo di compressione : 20.43 secondi Dimensione Compressa :708.03 KB PSNR medio su 300 frames: 25.57 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 63.11 Tempo di compressione : 2.70 secondi Dimensione Compressa :722.88 KB PSNR medio su 300 frames: 25.50 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)
Hall (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 108.58 Tempo di compressione : 1.50 secondi Dimensione Compressa :420.10 KB PSNR medio su 300 frames: 26.42 SSIM medio su 300 frames: 0.88 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 77.47 Tempo di compressione : 26.32 secondi Dimensione Compressa :588.89 KB PSNR medio su 300 frames: 26.67 SSIM medio su 300 frames: 0.91 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 68.87 Tempo di compressione : 3.44 secondi Dimensione Compressa :662.34 KB PSNR medio su 300 frames: 26.59 SSIM medio su 300 frames: 0.91 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)
News (B-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 108.55 Tempo di compressione : 1.49 secondi Dimensione Compressa :420.23 KB PSNR medio su 300 frames: 23.18 SSIM medio su 300 frames: 0.82 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 83.77 Tempo di compressione : 15.85 secondi Dimensione Compressa :544.48 KB PSNR medio su 300 frames: 23.25 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 77.62 Tempo di compressione : 2.34 secondi Dimensione Compressa :587.65 KB PSNR medio su 300 frames: 23.19 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:25 (8.33%) Frames P:275 (91.66%) Frames B:0 (0.00%)

Come è possibile dedurre dal nome, i valori di questa configurazione sono quelli di default per un encoding con FFMpeg.

In generale i risultati di questa configurazione mi hanno sorpreso in quanto i risultati migliori (**per rapporto di compressione**) sono stati ottenuti proprio con il codec più obsoleto (MPEG2).

In particolare è possibile notare come rispetto ad esso, con questa configurazione, i codec H.264 e VP9 siano molto più suscettibili alla **variabilità** delle caratteristiche del video. infatti i risultati ottenuti con MPEG2 in termini di rapporto di compressione variano in un range ridotto, mentre per gli altri due codec questo risultato ha una variabilità molto maggiore.

A fronte dei migliori risultati in termini di rapporto di compressione, la **qualità percettiva** risulta molto migliore con H.264 e VP9. Di seguito delle frames estratte dalle clip "Akiyo" compresse:



[In Ordine: MPEG2 - VP9 - H.264]

Come anticipato i risultati di MPEG2 in termini di qualità percettiva non sono entusiasmanti come quelli relativi al rapporto di compressione, si notino gli **artefatti** attorno alla sagoma della giornalista (in particolare sulle spalle), che non sono presenti (o comunque non sono assolutamente così evidenti) nelle clip compresse con gli altri due codec.

Per quanto riguarda solamente questa clip i risultati del codec H.264 sono davvero ottimi in quanto come appena detto la qualità percettiva è buona rispetto ad MPEG2 ma anche il rapporto di compressione è leggermente maggiore.

Il trend generale dei risultati di questa configurazione è amplificato al massimo nei risultati relativi alla clip "Coastguard". La grande quantità di dettagli e il loro movimento nella scena rende questa clip molto difficile da comprimere. Come ho anticipato, la tendenza per questa configurazione è un risultato molto migliore in termini di rapporto di compressione per MPEG 2, ma a fronte di una qualità percettiva molto scadente rispetto ai risultati di VP9 e H.264:



[In Ordine: MPEG2 - VP9 - H.264]

5.2 Risultati Configurazione "EXTENDED_GOP"

orazio@DESKTOP-1MDCCEI: /mnt/c/Users/orazi/Desktop/Progetto_Multimedia

Clip	MPEG2	VP9	H.264
Akiyo (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 131.08 Tempo di compressione : 1.75 secondi Dimensione Compressa : 348.01 KB PSNR medio su 300 frames: 30.29 SSIM medio su 300 frames: 0.91 Frames I:18 (6.00%) Frames P:2 (0.67%) Frames B:280 (93.33%)	Rapporto di compressione : 140.86 Tempo di compressione : 15.80 secondi Dimensione Compressa : 323.83 KB PSNR medio su 300 frames: 30.52 SSIM medio su 300 frames: 0.93 Frames I:10 (3.33%) Frames P:290 (96.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 196.30 Tempo di compressione : 2.42 secondi Dimensione Compressa : 232.38 KB PSNR medio su 300 frames: 30.48 SSIM medio su 300 frames: 0.93 Frames I:18 (3.33%) Frames P:46 (15.33%) Frames B:244 (81.33%)
Coastguard (B-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 30.69 Tempo di compressione : 1.82 secondi Dimensione Compressa : 1486.43 KB PSNR medio su 300 frames: 20.24 SSIM medio su 300 frames: 0.53 Frames I:18 (6.00%) Frames P:2 (0.67%) Frames B:280 (93.33%)	Rapporto di compressione : 138.61 Tempo di compressione : 34.38 secondi Dimensione Compressa : 329.10 KB PSNR medio su 300 frames: 20.12 SSIM medio su 300 frames: 0.53 Frames I:10 (3.33%) Frames P:290 (96.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 41.66 Tempo di compressione : 3.99 secondi Dimensione Compressa : 1095.13 KB PSNR medio su 300 frames: 20.02 SSIM medio su 300 frames: 0.52 Frames I:10 (3.33%) Frames P:92 (30.67%) Frames B:198 (66.00%)
Container (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 83.93 Tempo di compressione : 1.56 secondi Dimensione Compressa : 543.53 KB PSNR medio su 300 frames: 25.60 SSIM medio su 300 frames: 0.83 Frames I:18 (6.00%) Frames P:2 (0.67%) Frames B:280 (93.33%)	Rapporto di compressione : 126.45 Tempo di compressione : 29.13 secondi Dimensione Compressa : 360.75 KB PSNR medio su 300 frames: 25.54 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:10 (3.33%) Frames P:290 (96.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 107.41 Tempo di compressione : 3.03 secondi Dimensione Compressa : 424.73 KB PSNR medio su 300 frames: 25.54 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:10 (3.33%) Frames P:35 (11.67%) Frames B:255 (85.00%)
Hall (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 76.70 Tempo di compressione : 1.68 secondi Dimensione Compressa : 594.71 KB PSNR medio su 300 frames: 26.37 SSIM medio su 300 frames: 0.88 Frames I:18 (6.00%) Frames P:2 (0.67%) Frames B:280 (93.33%)	Rapporto di compressione : 146.50 Tempo di compressione : 28.79 secondi Dimensione Compressa : 311.35 KB PSNR medio su 300 frames: 26.67 SSIM medio su 300 frames: 0.91 Frames I:10 (3.33%) Frames P:290 (96.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 115.25 Tempo di compressione : 3.56 secondi Dimensione Compressa : 395.83 KB PSNR medio su 300 frames: 26.63 SSIM medio su 300 frames: 0.91 Frames I:18 (3.33%) Frames P:26 (8.67%) Frames B:264 (88.00%)
News (B-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 86.22 Tempo di compressione : 1.69 secondi Dimensione Compressa : 529.13 KB PSNR medio su 300 frames: 23.21 SSIM medio su 300 frames: 0.82 Frames I:18 (6.00%) Frames P:2 (0.67%) Frames B:280 (93.33%)	Rapporto di compressione : 130.63 Tempo di compressione : 16.67 secondi Dimensione Compressa : 349.22 KB PSNR medio su 300 frames: 23.25 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:10 (3.33%) Frames P:290 (96.66%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 117.61 Tempo di compressione : 2.66 secondi Dimensione Compressa : 387.86 KB PSNR medio su 300 frames: 23.21 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:10 (3.33%) Frames P:60 (20.00%) Frames B:230 (76.66%)

Questa configurazione è quella che lascia maggiore spazio alla compressione basata sull'uso dei tipi di **frame secondari B e P**. In particolare, come mostrato in precedenza, è previsto che ci sia (almeno) una sola frame indipendente ogni 30 frame della clip originale.

L'analisi dei risultati ha subito fatto emergere una caratteristica del codec VP9 di cui non ero a conoscenza, ossia che **questo codec non prevede l'uso di frame di tipo B**. Vedremo però come nonostante questa limitazione i risultati ottenuti in termini di risparmio di memoria siano comunque notevoli.

Contrariamente a quanto visto per la configurazione "DEFAULT", le capacità di compressione del codec MPEG2 non reggono il confronto con quelle dei due codec più recenti, infatti **il risultato del codec MPEG2 è il peggiore** relativamente a tutte le clip.

Il codec che invece esalta maggiormente le sue potenzialità con questa configurazione è senza dubbio **VP9**. I risultati sono ottimi in termini di rapporto di compressione anche nel caso della "complicata" clip "Coastguard". Per questa clip infatti neanche con il codec H.264 in questa configurazione è stato possibile ottenere buoni risultati in termini di spazio, mentre con VP9 i risultati sono paragonabili a quelli ottenuti per le altre clip, che tra l'altro sono risultati mediamente superiori rispetto ai risultati di H.264.



[In Ordine: MPEG2 - VP9 - H.264]

Come è possibile notare dagli esempi, nonostante l'entità della compressione sia minore i risultati del codec MPEG2 sono comunque inferiori a quelli degli altri due codec in termini di qualità percettiva. Per quanto riguarda il confronto fra gli altri due codec invece, si rileva una maggiore perdita di qualità nella clip compressa con VP9, infatti è possibile notare la comparsa di qualche artefatto che non è presente nella clip compressa con H.264. Tuttavia l'entità di queste imperfezioni è accettabile se si considera che la dimensione del video VP9 è circa un terzo di quello H.264.

Quello della clip Coastguard rappresenta un caso leggermente anomalo, in quanto per il resto delle clip si conferma il trend di questa configurazione che vede risultati più o meno paragonabili tra i codec H.264 e VP9, con risultati nettamente inferiori per il codec MPEG2.

Come esempio riporto delle frames dalla clip "Hall":



[In Ordine: MPEG2 - VP9 - H.264]

5.3 Risultati Configurazione "SMALL_GOP"

orazio@DESKTOP-1MDCCEF: /mnt/c/Users/orazi/Desktop/Progetto_Multimedia

Clip	MPEG2	VP9	H.264
Akiyo (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 93.09 Tempo di compressione : 1.68 secondi Dimensione Compressa :490.01 KB PSNR medio su 300 frames: 29.79 SSIM medio su 300 frames: 0.88 Frames I:100 (33.33%) Frames P:1 (0.33%) Frames B:199 (66.33%)	Rapporto di compressione : 54.95 Tempo di compressione : 19.63 secondi Dimensione Compressa :830.03 KB PSNR medio su 300 frames: 30.51 SSIM medio su 300 frames: 0.93 Frames I:75 (25.00%) Frames P:225 (75.00%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 66.94 Tempo di compressione : 2.19 secondi Dimensione Compressa :681.46 KB PSNR medio su 300 frames: 30.37 SSIM medio su 300 frames: 0.93 Frames I:75 (25.00%) Frames P:76 (25.33%) Frames B:149 (49.66%)
Coastguard (B-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 56.77 Tempo di compressione : 1.68 secondi Dimensione Compressa :803.52 KB PSNR medio su 300 frames: 20.40 SSIM medio su 300 frames: 0.54 Frames I:100 (33.33%) Frames P:1 (0.33%) Frames B:199 (66.33%)	Rapporto di compressione : 22.21 Tempo di compressione : 32.72 secondi Dimensione Compressa :2053.12 KB PSNR medio su 300 frames: 20.08 SSIM medio su 300 frames: 0.52 Frames I:75 (25.00%) Frames P:225 (75.00%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 25.20 Tempo di compressione : 3.02 secondi Dimensione Compressa :1810.58 KB PSNR medio su 300 frames: 20.00 SSIM medio su 300 frames: 0.52 Frames I:75 (25.00%) Frames P:104 (34.66%) Frames B:121 (40.33%)
Container (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 69.77 Tempo di compressione : 1.36 secondi Dimensione Compressa :653.73 KB PSNR medio su 300 frames: 25.29 SSIM medio su 300 frames: 0.81 Frames I:100 (33.33%) Frames P:1 (0.33%) Frames B:199 (66.33%)	Rapporto di compressione : 27.28 Tempo di compressione : 23.26 secondi Dimensione Compressa :1672.18 KB PSNR medio su 300 frames: 25.60 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:75 (25.00%) Frames P:225 (75.00%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 37.09 Tempo di compressione : 2.67 secondi Dimensione Compressa :1229.53 KB PSNR medio su 300 frames: 25.45 SSIM medio su 300 frames: 0.83 Frames I:75 (25.00%) Frames P:75 (25.00%) Frames B:150 (50.00%)
Hall (A-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 67.30 Tempo di compressione : 1.71 secondi Dimensione Compressa :676.89 KB PSNR medio su 300 frames: 26.11 SSIM medio su 300 frames: 0.86 Frames I:100 (33.33%) Frames P:1 (0.33%) Frames B:199 (66.33%)	Rapporto di compressione : 34.43 Tempo di compressione : 26.59 secondi Dimensione Compressa :1325.00 KB PSNR medio su 300 frames: 26.69 SSIM medio su 300 frames: 0.90 Frames I:75 (25.00%) Frames P:225 (75.00%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 48.61 Tempo di compressione : 2.66 secondi Dimensione Compressa :938.28 KB PSNR medio su 300 frames: 26.57 SSIM medio su 300 frames: 0.90 Frames I:75 (25.00%) Frames P:75 (25.00%) Frames B:150 (50.00%)
News (B-45619.19 KB)	Rapporto di compressione : 70.04 Tempo di compressione : 1.73 secondi Dimensione Compressa :651.28 KB PSNR medio su 300 frames: 23.01 SSIM medio su 300 frames: 0.80 Frames I:100 (33.33%) Frames P:1 (0.33%) Frames B:199 (66.33%)	Rapporto di compressione : 36.25 Tempo di compressione : 21.12 secondi Dimensione Compressa :1258.10 KB PSNR medio su 300 frames: 23.28 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:75 (25.00%) Frames P:225 (75.00%) Frames B:0 (0.00%)	Rapporto di compressione : 44.93 Tempo di compressione : 2.51 secondi Dimensione Compressa :1015.08 KB PSNR medio su 300 frames: 23.16 SSIM medio su 300 frames: 0.84 Frames I:75 (25.00%) Frames P:75 (25.00%) Frames B:150 (50.00%)

Definendo questa configurazione il mio intento era quello di ottenere il risultato opposto rispetto alla configurazione EXTENDED_GOP, aumentando la frequenza delle frame indipendenti sarebbe stato possibile ottenere risultati **qualitativamente** superiori, rinunciando a parte del risparmio in termini di memoria.

Effettivamente i risultati ottenuti confermano quanto atteso. Il rapporto di compressione ottenuto è nettamente inferiore in tutte le combinazioni rispetto alla configurazione precedente.

Dal punto di vista della qualità percettiva c'è un minimo miglioramento, tuttavia questo non è assolutamente paragonabile all'aumento del costo in termini di memoria.

Di seguito alcune frames della clip "Hall", di **qualità pressoché uguale** a quelle viste al paragrafo precedente.



[In Ordine: MPEG2 - VP9 - H.264]

Per questa configurazione, come per quella di default, le compressioni effettuate con il codec MPEG2 risultano più efficienti in termini di risparmio di memoria rispetto agli altri codec.

Anche qui però registriamo una anomalia con la clip “Coastguard”, in controtendenza rispetto alle altre clip in quanto con questa configurazione il codec MPEG2 ha ottenuto un maggiore rapporto di compressione rispetto alla configurazione precedente. Tuttavia la qualità percettiva è leggermente peggiorata:



[In Ordine: MPEG2/EXTENDED_GOP - MPEG2/SMALL_GOP]

Questo conferma la poca adeguatezza del codec MPEG2 a configurazioni orientate a GOP estesi come la precedente.

I risultati degli altri due codec sono più o meno paragonabili, anche se il codec **H.264** ha ottenuto risultati leggermente migliori su tutte le clip.

Di seguito un estratto della clip “News” compressa con i tre codec usando la configurazione SMALL_GOP:



[In Ordine: MPEG2 - VP9 - H.264]

Come anticipato la qualità percettiva con questa configurazione è molto buona, con risultati inferiori da parte di MPEG2, e leggermente superiori per H.264 rispetto a VP9.

5.4 Considerazioni generali sui risultati ottenuti

Primo aspetto generale da considerare è la **perdita di qualità** valutata in termini di **PSNR** E **SSIM**, le 2 metriche che ho scelto per valutare i risultati delle compressioni. Abbiamo visto come al variare delle configurazioni e dei codec, i risultati riguardo questi termini siano stati sempre più o meno costanti. Lo stesso però non si può dire della **qualità percettiva**, caratteristica per cui è emersa la superiorità dei codec più recenti e su cui è stato possibile effettuare un reale confronto tra i risultati.

Altra constatazione da fare riguarda i **tempi di esecuzione** del codec VP9, che sono di gran lunga maggiori rispetto a quelli degli altri due codec, in tutte le combinazioni testate. Abbiamo visto come i risultati ottenuti da questo codec siano ottimi, ma questo potrebbe essere un aspetto determinante in applicazioni con requisiti temporali più stringenti e per cui si manipolano clip più estese.

Riguardo le caratteristiche delle clip, una prima caratteristica che è subito emersa è che quasi sempre la clip più problematica da comprimere, per tutti e 3 i codec è stata **“Coastguard”**, mentre i risultati migliori sono stati ottenuti con la clip **“Akiyo”**.

Questo ovviamente è dovuto al fatto che la clip **“Akiyo”** rappresenta un soggetto sostanzialmente statico, con pochissime variazioni tra le varie frame, mentre la clip **“Coastguard”** presenta parecchi elementi di complessità, come le increspature nell’acqua, il muro a pietra e i dettagli nello sfondo, uniti al fatto che tutti i soggetti sono in movimento orizzontalmente nel quadro.

Dopo aver analizzato tutti i risultati mi è stato possibile formulare una personale considerazione su quello che è stato il progresso tecnologico in termini di compressione video.

I risultati visti dimostrano come un codec più datato come MPEG2 abbia delle ottime potenzialità (paragonabili a quelle dei codec moderni) in termini di riduzione dello spazio necessario per il video, tuttavia quella effettuata da questo codec è una compressione **“meno smart”** delle clip. Abbiamo visto come le dimensioni di clip particolarmente complesse vengano ridotte di meno dai codec più recenti, mentre la compressione MPEG2 continua ad avere rapporti di compressione alti a costo di una **eccessiva perdita di qualità**. Questa capacità di trovare il **miglior trade-off** tra compressione e risultati piuttosto che comprimere senza tener conto delle ripercussioni negative che si avrebbero sull’output rappresenta secondo me un aspetto rilevante dell’innovazione che si tenta di introdurre in queste tecnologie, in cui il fine ultimo è quello di rendere l’esperienza dell’utente migliore possibile (evitando dunque un degrado eccessivo anche se questo vuol dire risparmiare meno memoria).

6 Conclusioni

Considerando i risultati ottenuti è possibile affermare che gli obiettivi del progetto sono stati raggiunti. Questo approfondimento mi ha permesso di acquisire una maggiore consapevolezza di quelle che sono le caratteristiche dei vari codec e delle problematiche legate alle tecniche di compressione dei video.

Altro risultato importante per questa analisi è il tool che ho avuto il piacere di sviluppare per organizzare al meglio le configurazioni che avrei testato e che mi è tornato utile anche in fase di raccolta dei risultati per avere una visione più chiara delle performance misurate.

Ulteriori sviluppi per questo tool potrebbero essere la possibilità di definire più liberamente delle configurazioni da applicare al tool FFMpeg, magari non limitandosi ad un set ridotto di parametri ma permettendo la definizione di tutti i parametri previsti dal tool, o ancora la raccolta di nuove statistiche per valutare in maniera ancora più completa i risultati ottenuti.