



La televisione del futuro le prospettive del mezzo televisivo nella transizione digitale

La compressione del segnale TV
*l'evoluzione dei codec, i processi di codifica
per lo streaming on demand e live*

dott. Mauro Falcone

Senior Researcher - Fondazione Ugo Bordoni

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Roma, 4 dicembre 2024

La televisione del futuro

Le prospettive del mezzo televisivo
nella transizione digitale

La compressione del segnale TV

L'evoluzione dei codec, i processi di
codifica per lo streaming on demand e live

4 dicembre 2024

16.40 - 17.10

Roma – Piazza della Repubblica 59



dott. Mauro Falcone

senior researcher

Speech and Audio Technology Evangelist

- **Parleremo 'brevemente' di**

- un inquadramento 'generale' della codifica *tout court*
- la codifica per la compressione del audio-video, in particolare
 - per le nuove/emergenti tecnologie di codifica
 - dei requisiti e delle soluzioni per i programmi in diretta (ma non solo)
- broadcast vs televisione su IP, e sistemi ibridi
- nuovi/futuri scenari di trasmissione, codifica e fruizione

- **Non parleremo di**

- codifica di canale (e dei suoi annessi e connessi.....)
- altri tipi di codifica audio video (importanti solo per settori specifici)





- **raw**

vengono utilizzati nell'acquisizione e nella registrazione di video e audio. Memorizzano i dati nel formato di maggior qualità possibile a seconda del dispositivo e dello standard di acquisizione prescelto. Ciò ti consente di avere il pieno controllo della modifica durante il processo di post-produzione.



- **mezzanine**

noti anche come codec di editing o intermedi, sono destinati alla post-produzione. Mantengono la qualità della registrazione sorgente ma la ottimizzano per l'archiviazione e la riproduzione.



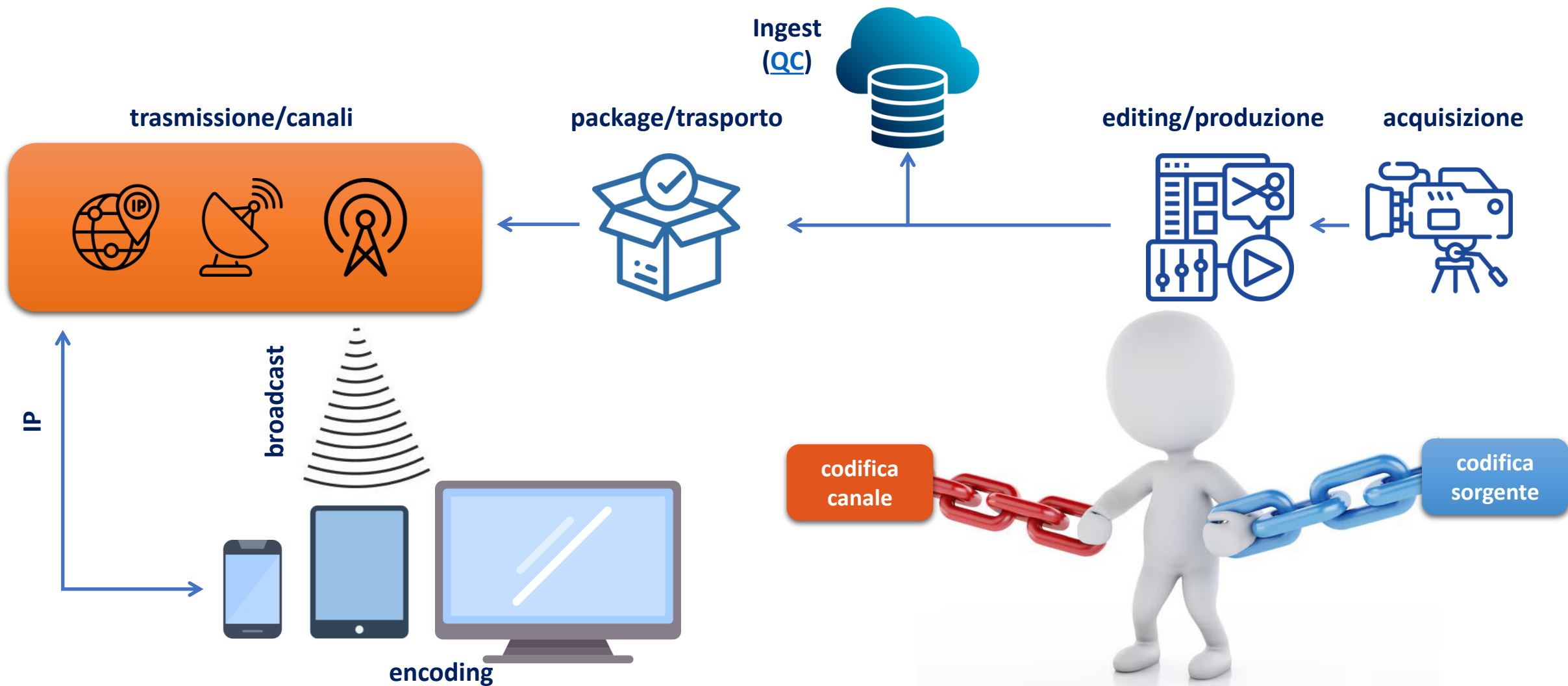
- **compressione**

sono il tipo utilizzato nella trasmissione e nella fruizione dagli utenti, sono progettati per ridurre la dimensione del file mantenendo una qualità accettabile. Vengono spesso utilizzati per comprimere i contenuti multimediali in uno specifico formato di archiviazione o streaming di dati. Il formato in cui vengono compressi deve seguire uno standard documentato in modo che possa essere interpretato da altri dispositivi o software.



dalla realtà... al tv del vostro salotto,

ma anche ai vostri altri dispositivi mobili e non



- **Un connubio molto complesso**

- Qualità e compressione, o meglio bitrate, sono spesso, in letteratura, direttamente correlati (ma questo non è necessariamente corretto, anzi...)
- La Qualità di Servizio (QoS) sembra lasciare il passo alla Qualità di Esperienza (QoE)
- Valutare una 'qualità' in funzione della compressione può essere fuorviante (in quanto molto complesso)

- **Due facce della stessa medaglia?**

- 'qualità' - in particolare la QoE - è un valore che va contestualizzato e correttamente misurato
- anche la 'compressione' va considerata secondo gli scopi di utilizzo, ed è ormai una *variabile*, che dipende da molti fattori (non solo dal bitrate)



• §6.1.3. Signal Decoding

- HD receiver
 - *Audio Decoder*
 - *Video Decoder (SD mode)*
 - *Video Decoder (HD mode)*
- UHD receiver
 - *Audio Decoder*
 - *Video Decoder*

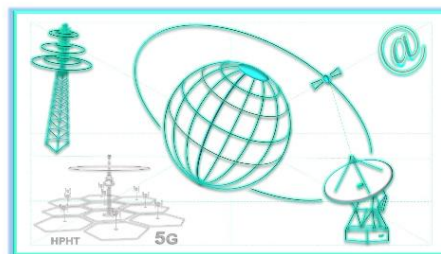
• ma non solo...

- §6.3.1. Mandatory Connectors
- *e ancora:*
DVB-I, HbbTV, 5GB, etc.



UHD Book

Compatible High Definition and Ultra High Definition receivers for the Italian market: baseline requirements



Final 2.1



Sono elencati e descritti tutti i codec, gli standard, i profili, 'shall' vs 'should', riferimenti, e quanto altro. Un esempio:

Feature	Specification	Comment
HD receivers		
Audio Decoder	The following standards SHALL be supported: - MPEG-1 Audio Layer I & II.⁵ - HE-AACv1 up to level 2 for stereo and level 4 for multichannel (5.1) - AC-3 (aka Dolby Digital) - Enhanced AC-3 (aka Dolby Digital Plus) up to 5.1 channels.⁶ The following standards SHOULD be supported: - AC-4 up to Level 3 ([9] – clause 6.7.2) Receivers SHALL support audio description in the following formats as per [10]: - MPEG-1 L2 broadcaster mix - MPEG-1 L2 receiver mix - HE-AACv1 and Enhanced AC3 receiver mix Receivers SHOULD support audio description in the following format as per [10]: - AC-4 receiver mix Receivers MAY support other modes of audio description. Receiver MAY support "clean-audio" in broadcaster-mix format.	Ref.: [9] Full decoding of stereo transmissions is MANDATORY for any of the standards listed aside. PCM Stereo downmix of 5.1 HE-AACv1, AC-3 or Enhanced AC-3 transmissions is MANDATORY. Presentation of the downmixed analog signal on SCART and RCA outputs (if present) is MANDATORY. Transcoding of 5:1 HE-AACv1 transmissions to AC-3 or DTS and of Enhanced AC-3 transmissions to 5:1 AC-3 signal is MANDATORY unless the receiver provides a minimum 5 channel audio reproduction system capable of driving at least 5 speakers. If the receiver is capable of decoding AC-4 transmissions it SHALL also be capable of transcoding those streams to 5.1 Enhanced AC-3 or 5.1 AC-3, unless the receiver provides a minimum 5 channel audio reproduction system capable of driving at least 5 speakers. Presentation of the transcoded or native AC-3 signal on SPDIF output (if present) is MANDATORY.

21 Dicembre 2023

la codifica audio: la storia

• Standard per contenuti audio

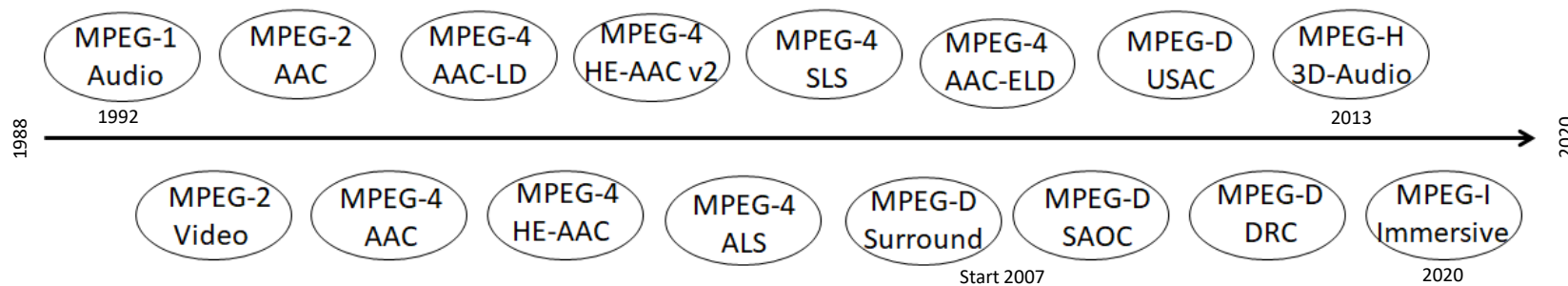
- AES - Audio Engineering Society
- EBU - European Broadcasting Union
- MPEG (ISO) - Motion Picture Experts Group *(vedi link al terzo punto)*
- SMPTE - Society of Motion Picture and Television Engineers
- ITU - International Telecommunication Union
 - [ITU-R BS.1196-8 Audio coding for digital broadcasting](#)



• Standard/Soluzioni proprietari

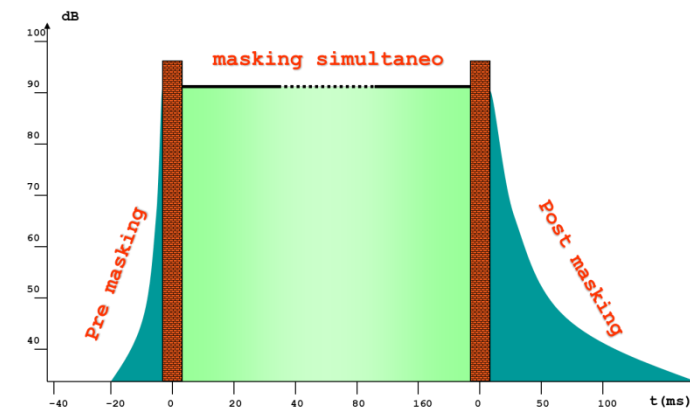
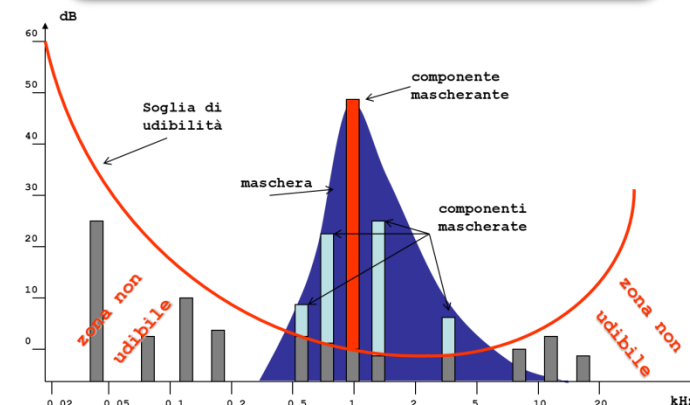
- DOLBY, APPLE, altri...

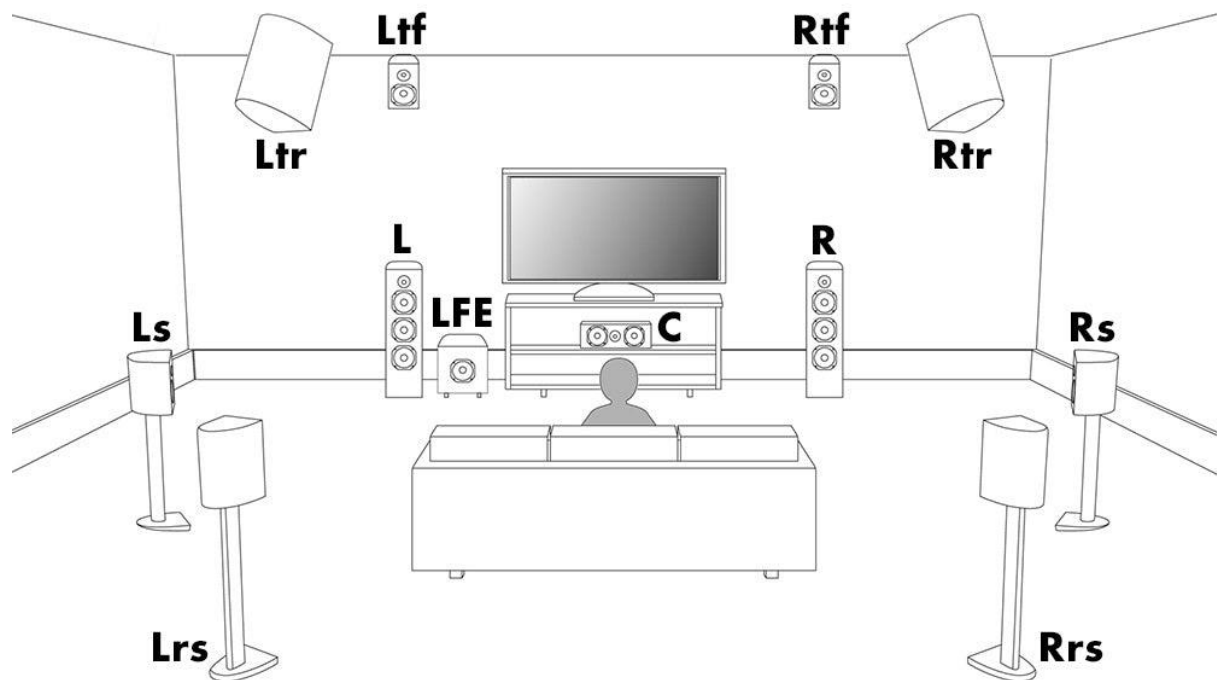
➤ 'Thirty years of audio coding and counting' ([link](#))



Perceptual Audio Coding:

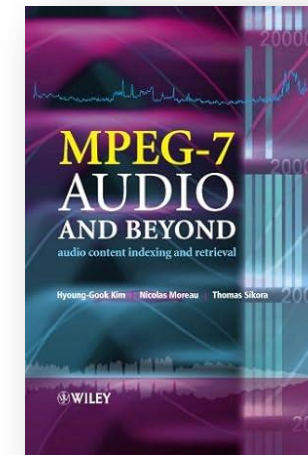
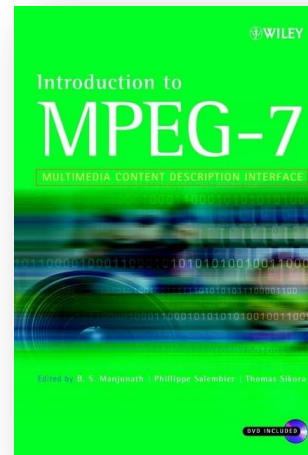
SE NON RIESCI A SENTIRLO, NON LO TRASMETTERE !





MPEG-H

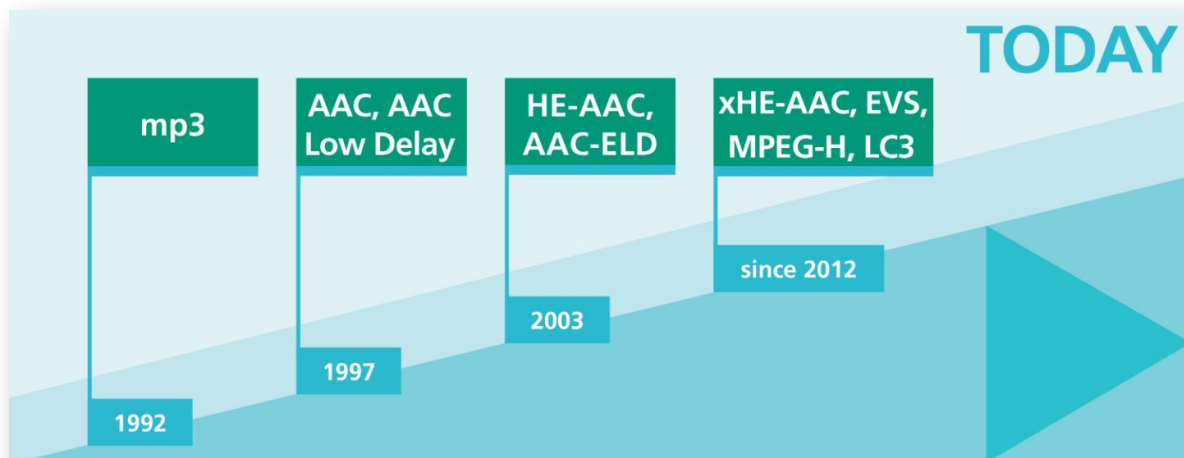
Part 3: 3D Audio – an audio compression standard for 3D audio that can support many loudspeakers



MPEG-7

is intended to complement the previous MPEG (audio and video) standards, by standardizing multimedia metadata -- information about the content, not the content itself. MPEG-7 can be used independently of the other MPEG standards

la codifica audio: oggi



Broadcast (e... UHD Book)

- **MPEG-1** Audio Layer I, II
- **HE-AAC** up2 L2 for stereo, and L4 for 5.1
- **AC-3**, enhanced AC-3 (aka Dolby Digital, Dolby Digital Plus up2 5.1)

	AAC	AC3
Sample Rate	8 to 192 kHz	32, 44.1, 48 kHz
Bitrate	8-529 kbit/s (stereo)	32-640 kbit/s
VBR (Variable Bit Rate)	yes	no



MPEG-H Audio
Providing interactive, immersive sound for TV, VR and OTT applications.

xHE-AAC
The audio codec of choice for digital radio and low bit rate audio and video streaming applications.

Internet TV *(anticipando il domani...)*

- come per il Broadcast e...

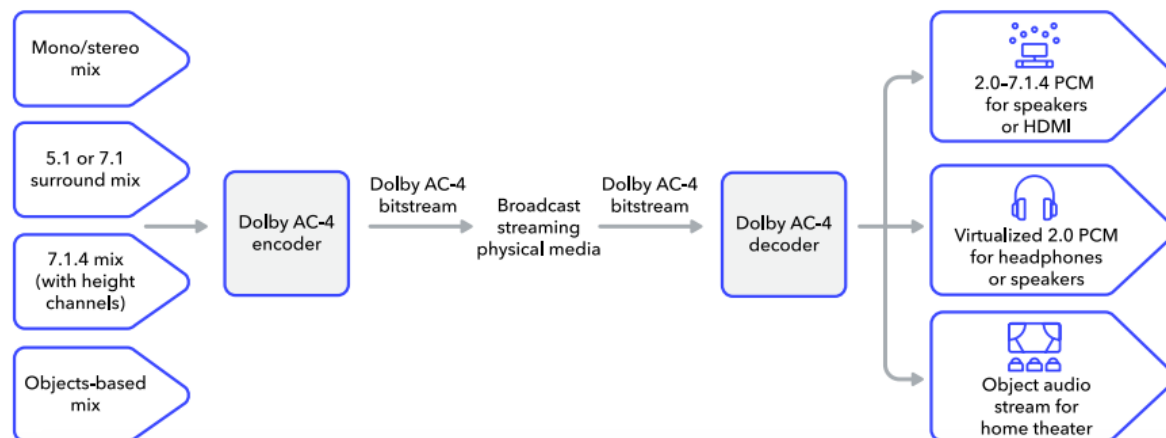


- **Dolby AC-4**
- **Dolby ATMOS**

la codifica audio: domani

Dolby AC-4

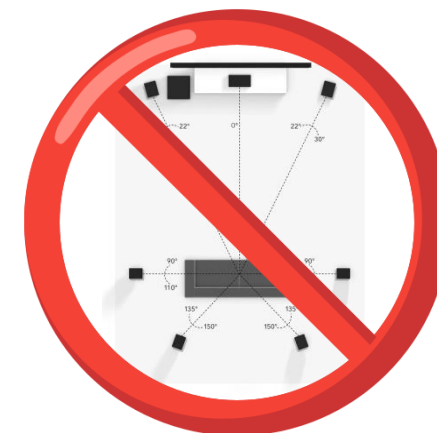
- Audio/Video Alignment
- Advanced Loudness Management
- Improved Dynamic Range Control
- Accessibility
- Efficiency
- ATMOS compatibility



	Good quality	Excellent quality
Mono	32 kbps	48 kbps
Stereo	48 kbps	64 kbps
5.1	96 kbps	144 kbps
Immersive audio 7.1.4 playback	192 kbps	320 kbps

- immersive audio
- object-based audio
- personalised, accessible, ...

➤ be realistic ... use soundbar



la codifica audio vs video

(una opinione personale)



La ricerca e le soluzioni di codifica per l'audio ed il video sono sempre evolute parallelamente e in modo indipendente. Solo oggi con gli approcci 'agonistici' basati su NN si trova un fronte comune.



Forse a causa della maggiore complessità il video è progredito più lentamente, e non è riuscito a risolvere problemi importanti come: percettività, immersività, controllo a oggetti, possibilità di personalizzazione dei contenuti, etc. D'altro canto, mentre le codifiche video riducono i bitrate necessario, quelli audio lo incrementano a favore di una qualità 'migliore'.

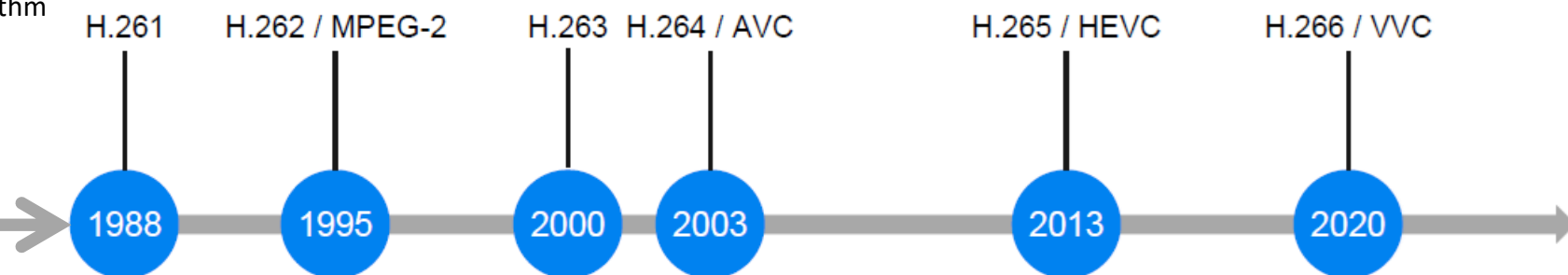
Per l'ovvio legame 'video-bitrate' l'interesse economico, e di rimando quello di ricerca e di sviluppo, si è tuttavia concentrato sul video. Spesso infatti con 'codifica' si intende 'codifica video'.



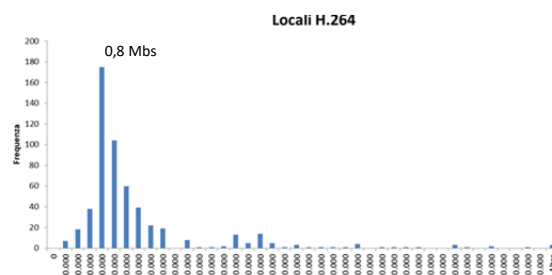
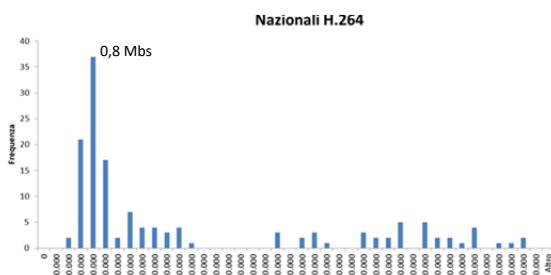
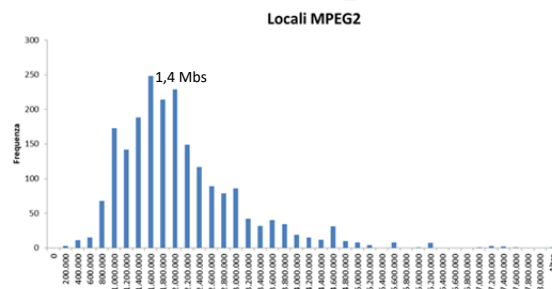
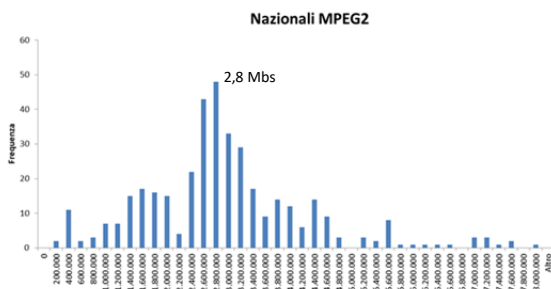
la codifica video: la storia

1970: Early digital video algorithms PCM, DPCM
1972: The first practical compression of digital video DCT
1973: DCT technique becomes an image compression algorithm
1974: The development of hybrid coding
1975: Further development of hybrid coding
1977: A faster DCT algorithm
1979: Motion-compensated DCT video compression
1984: H.120, the first digital video compression standard

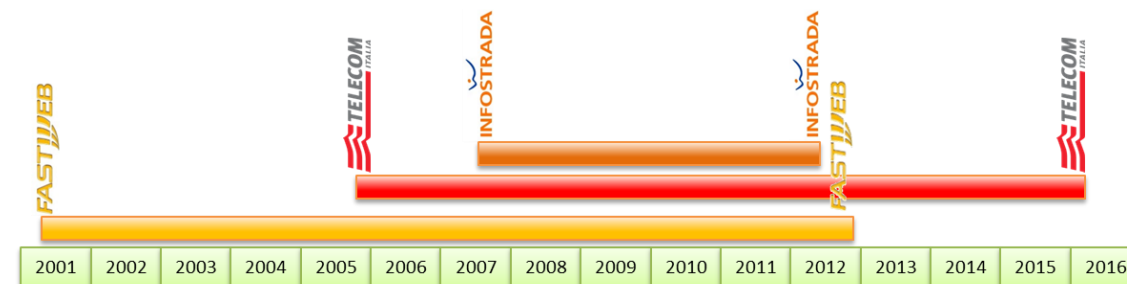
History of video coding standards development



50% compression efficiency improvements delivered every 7-10 years



BROADCAST DVB-T: istogramma dei bitrate video (campagna di misura 2020)



IPTV (quella VERA!): la presenza sul mercato italiano delle principali IPTV

la legge del 31 dicembre 2014, n.192

La legge definiva le condizioni prodromiche per la transizione al digitale terrestre di seconda generazione ed in particolare per lo standard di codifica di segnale DVB-T2, e per la codifica video H.265.

Ma sulla scia di quanto fatto in altri paesi, imponeva anche delle linee guida universali per il futuro degli apparecchi TV.

5. Al fine di favorire l'innovazione tecnologica, a partire dal 1º gennaio 2013 per gli apparecchi atti a ricevere servizi radiotelevisivi venduti dalle aziende produttrici ai distributori di apparecchiature elettroniche al dettaglio sul territorio nazionale non si richiede la presenza di un sintonizzatore analogico. Al fine di assicurare ai consumatori la migliore qualità di visione dell'alta definizione, a partire dal 1º luglio 2016 gli apparecchi atti a ricevere servizi radiotelevisivi venduti dalle aziende produttrici ai distributori di apparecchiature elettroniche al dettaglio sul territorio nazionale integrano un sintonizzatore digitale per la ricezione di programmi in tecnologia DVB-T2 con tutte le codifiche approvate nell'ambito dell'Unione internazionale delle telecomunicazioni (ITU). Per le medesime finalità, a partire dal 1º gennaio 2017 gli apparecchi atti a ricevere servizi radiotelevisivi venduti ai consumatori nel territorio nazionale integrano un sintonizzatore digitale per la ricezione di programmi in tecnologia DVB-T2 con tutte le codifiche approvate nell'ambito dell'ITU.

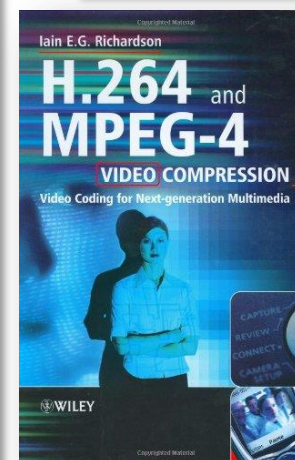
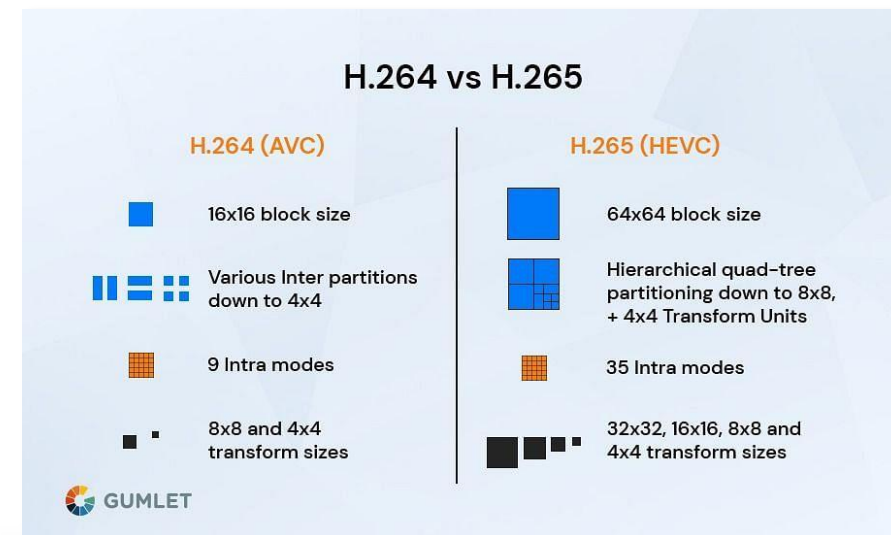
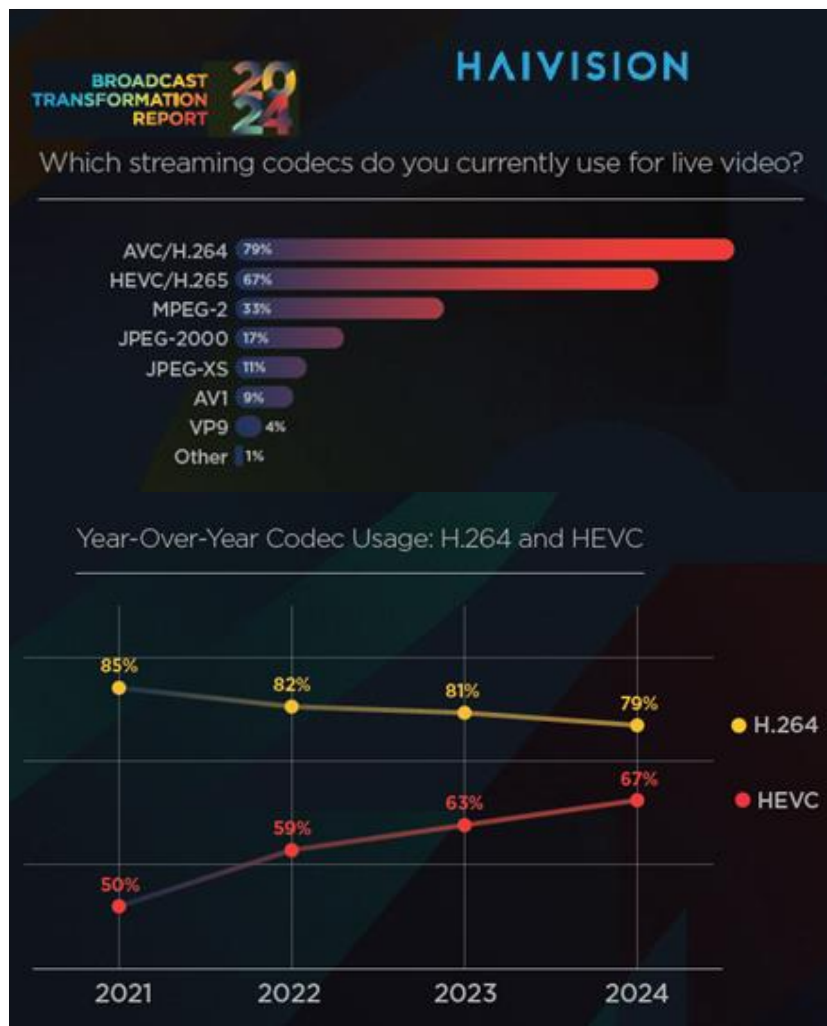
Per le successive evoluzioni delle codifiche, gli obblighi previsti dal presente comma decorrono rispettivamente dal diciottesimo e dal ventiquattresimo mese successivi all'approvazione da parte dell'ITU.

Con regolamento dell'Autorità per le garanzie nelle comunicazioni sono indicate le codifiche che devono considerarsi tecnologicamente superate, in ordine alle quali non sussistono gli obblighi previsti dal presente comma.

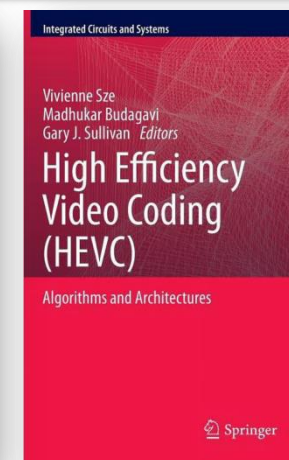


la codifica video: oggi

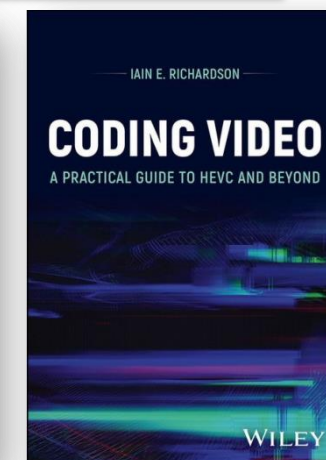
- se il 'broadcast' segue, con ritardo, l'evoluzione degli standard internazionali,
- la 'televisione su IP', ed in particolare la programmazione VOD di tipo premium, si affida a soluzioni professionali di indubbia qualità (aka Dolby)
- La qualità rimane il fattore trainante per nuove tecnologie e soluzioni



2003



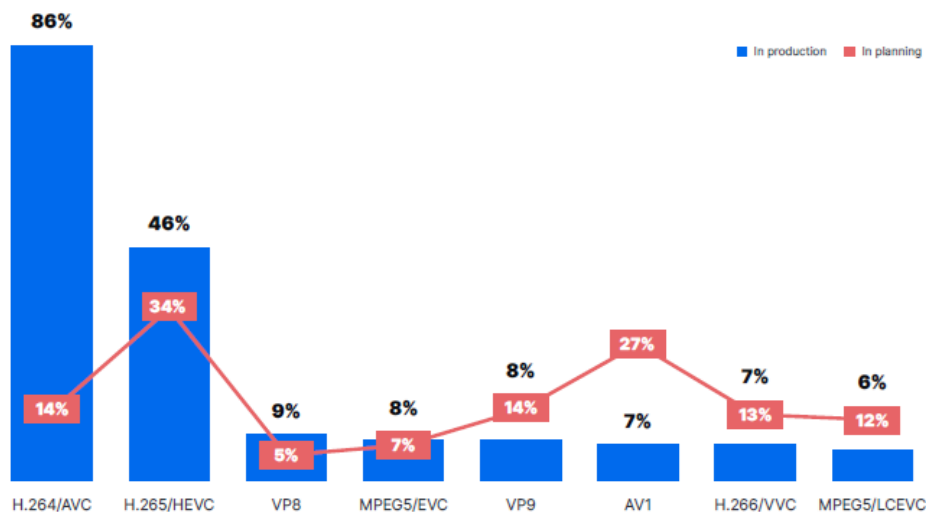
2013



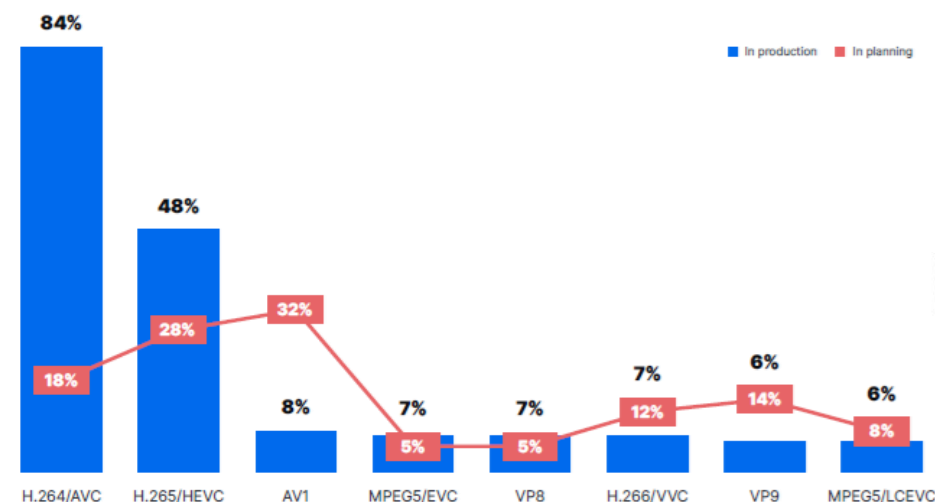
2024

Le codifiche 'in production' e le codifiche 'in planning' per il video live e quello on-demand

LIVE ENCODING



VOD ENCODING



codifica video tv nazionali: 2022 - 2024

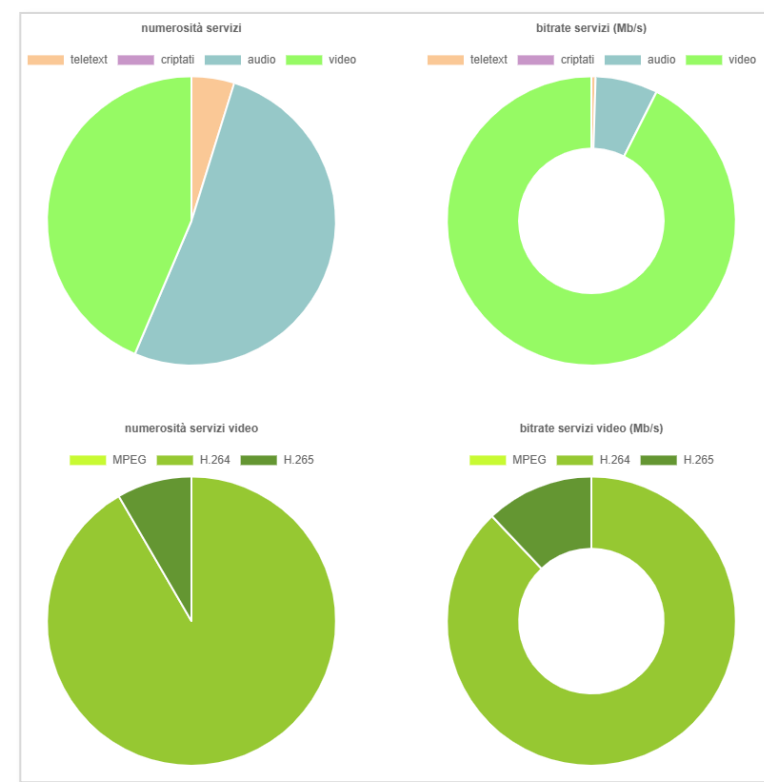
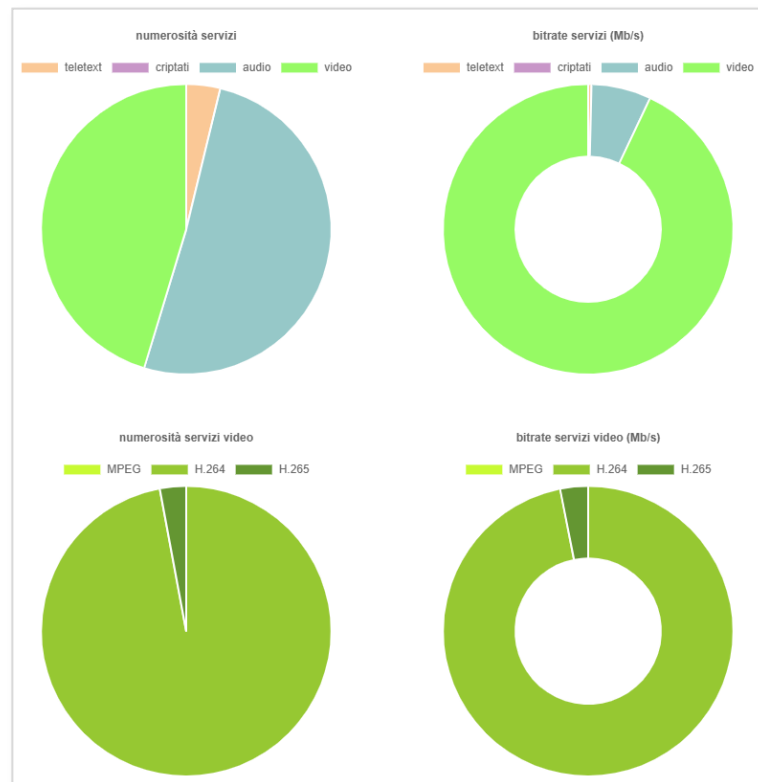
2022

2023

2024

servizi

codifiche video



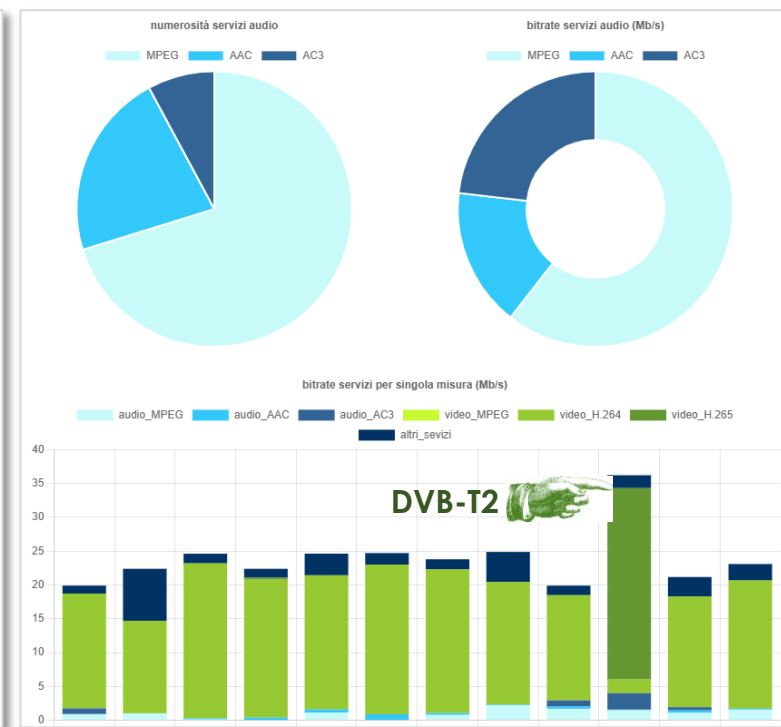
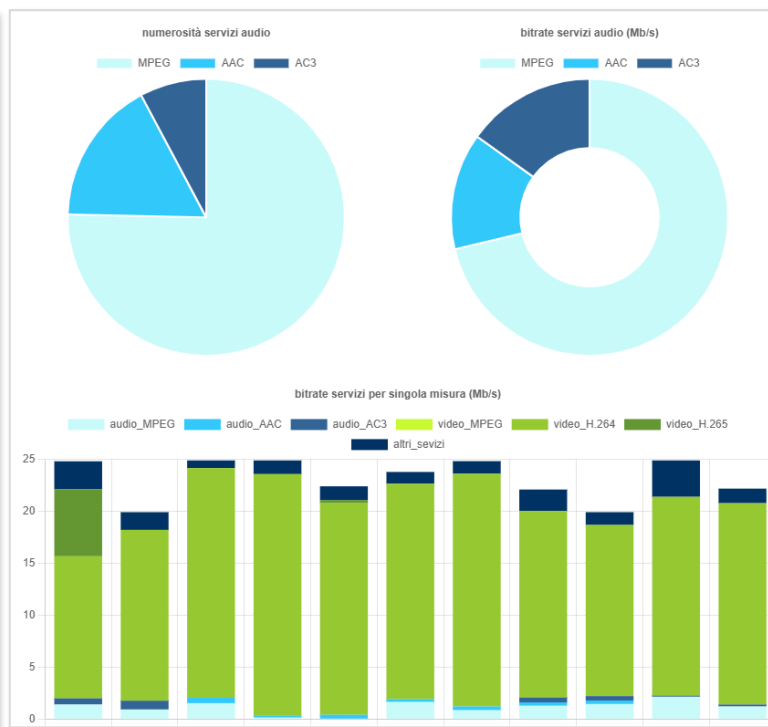
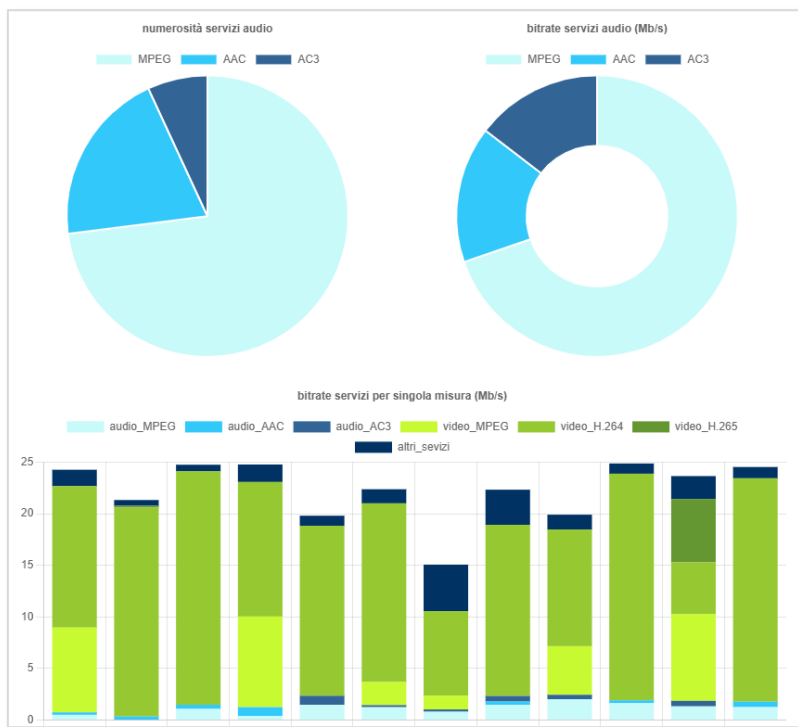
2022

2023

2024

codifiche audio

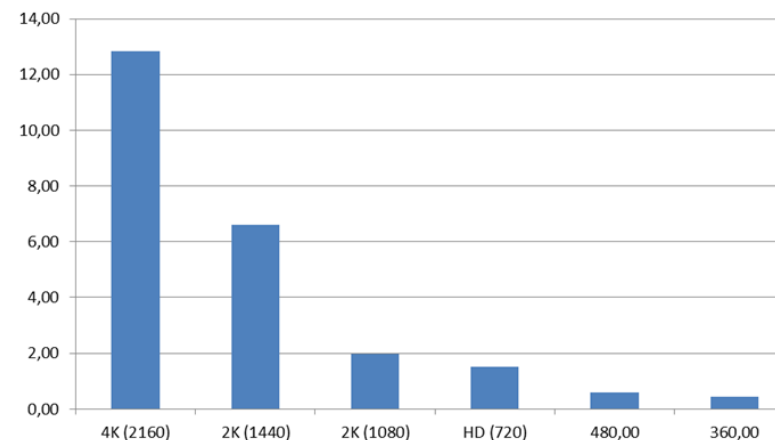
mux bitrate



bitrate per 'video on demand'

programma	qualità	traffico Mb	bitrate	peak/average
YouTube - Animali 8K	4K	304,05	13,51	3,63
YouTube - Animali 8K	2K	162,42	7,22	4,88
YouTube - Animali 8K	2K	56,80	2,52	14,39
YouTube - Animali 8K	HD	39,04	1,74	21,26
YouTube - Animali 8K	480	15,95	0,71	29,12
YouTube - Animali 8K	360	11,05	0,49	35,02
YouTube - Norway 8K	4K	273,62	12,16	3,12
YouTube - Norway 8K	2K	134,34	5,97	6,19
YouTube - Norway 8K	2K	31,79	1,41	25,59
YouTube - Norway 8K	HD	29,44	1,31	24,64
YouTube - Norway 8K	480	10,27	0,46	50,30
YouTube - Norway 8K	360	8,72	0,39	48,72
Disney+ - IronMan	auto	56,93	2,53	6,42
Disney+ - Giappone	auto	55,18	2,45	7,54
Disney+ - BobaFeet	auto	49,67	2,21	8,52
Disney+ - Leoni Sicilia	auto	44,72	1,99	13,32
Disney+ - LeMans	auto	80,31	3,57	4,80
Disney+ - Era Glaciale	auto	37,89	1,68	14,96
Disney+ - Spider Man 2	auto	54,98	2,44	10,67
RAI - Schiavone	alta	53,36	2,37	8,10
RAI - Schiavone	media	41,96	1,86	8,79
RAI - Schiavone	bassa	29,71	1,32	9,75
Amazon Prime - Schiavone	alta	53,69	2,39	5,87
Amazon Prime - Schiavone	media	50,61	2,25	7,61
Amazon Prime - Schiavone	bassa	14,65	0,65	6,88
Amazon Prime - 57secondi	alta	25,59	1,14	6,96
Amazon Prime - 57secondi	media	25,77	1,15	6,78
Amazon Prime - 57secondi	bassa	10,26	0,46	6,49
Amazon Prime - DocJ	alta	41,21	1,83	6,20
Amazon Prime - DocJ	media	40,58	1,80	6,25
Amazon Prime - DocJ	bassa	19,05	0,85	5,86

Misure di bitrate per diversi contenuti on demand



Misure di bitrate (Mbps) per contenuti da YouTube per diversi formati e risoluzione



bitrate per 'direct streaming'

programma	qualità	traffico Mb	bitrate	peak/average
RAI1 HD	alta	69,65	3,10	5,43
RAI1 HD	media	57,75	2,57	6,14
RAI1 HD	bassa	41,88	1,86	7,82
RAISPORT HD	alta	61,44	2,73	3,90
RAISPORT HD	media	47,75	2,12	9,91
RAISPORT HD	bassa	38,75	1,72	8,69
RAIMOVIE	alta	68,27	3,03	4,30
RAIMOVIE	media	53,10	2,36	5,49
RAIMOVIE	bassa	28,20	1,25	9,83
RAITRE HD	alta	67,30	2,99	2,57
RAITRE HD	media	53,53	2,38	3,80
RAITRE HD	bassa	39,06	1,74	2,44
CANALE5 HD	auto	63,39	2,82	5,05
RETE4	auto	59,38	2,64	4,94
ITALIA1	auto	57,99	2,58	5,43
LA7	auto	57,56	2,56	6,00
NOVE	auto	132,30	5,88	2,50
SI HD PLUS	auto	42,76	1,90	6,57
SI HD SOLO CALCIO	auto	43,16	1,92	7,34
CIELO	auto	66,47	2,95	4,71
PLUTO - FILM	auto	46,18	2,05	8,11
PLUTO - TOP GEAR	auto	65,39	2,91	5,42
RAKUTEN - FILM TOP	auto	73,61	3,27	4,89
RAKUTEN - FIFA	auto	62,37	2,77	5,34

Misurazioni di bitrate per diversi canali streaming in diretta

Programma	risoluzione	bitrate Mbs
RAI - Pizzo Falcone	1280x720	2,67
RAI - Pizzo Falcone	1024x567	1,97
RAI - Pizzo Falcone	768x532	1,34
RAI - Blanca	1280x720	2,67
RAI - Blanca	1024x567	1,97
RAI - Blanca	768x532	1,34
RAI - Claps	1280x720	2,66
RAI - Claps	1024x567	1,97
RAI - Claps	768x532	1,34
RAI - Pallavolo	1280x720	2,95
RAI - TG1	1280x720	2,53
Canale 5 - TG	1920x1080	2,77
Canale 5 - Tu Si Que Vales	1920x1080	2,73
Canale 5 - Io so chi sei	1920x1080	2,82

Calcolo di bitrate per diversi contenuti on demand



© Fondazione Ugo Bordonì

MPEG-5 LC=VC

MPEG-5 part 2 LCEVC

(Low Complexity Enhancement Video Coding)

is the latest standard by MPEG and ISO.

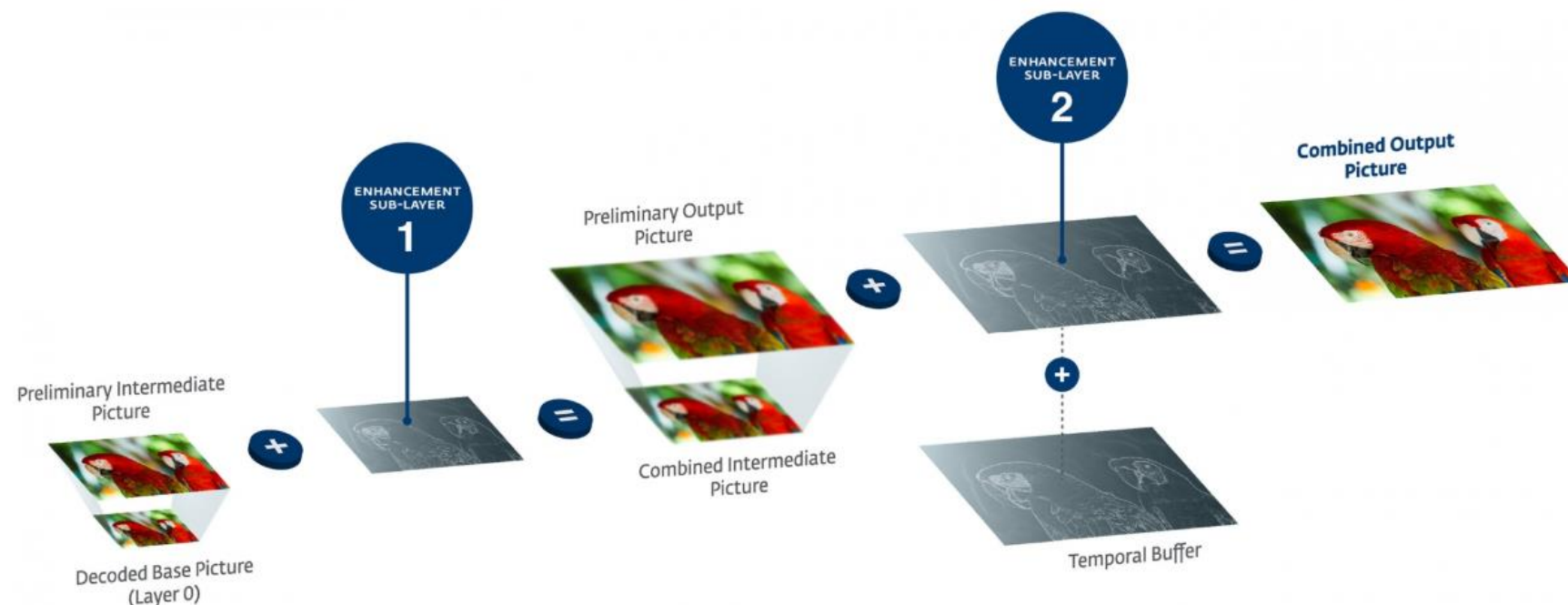
It specifies an **enhancement layer** which, when combined with a base video encoded with a separate codec, produces an enhanced video stream. The enhancement stream provides new features such as:

- Extending the compression capability of the base codec
- Lowering encoding and decoding complexity
- Providing a platform for additional future enhancements.

ISO/IEC 23094-2 (2021)

<https://www.lcevc.org/>

An enhancement layer to improve compression efficiency and reduce complexity



8. CAN YOU READ THIS?

Source

8. CAN YOU READ THIS?

Half-resolution decoded base

8. CAN YOU READ THIS?

Base upsampled to full resolution

8. CAN YOU READ THIS?

Full resolution LCEVC-enhanced output

Future video coding - technology

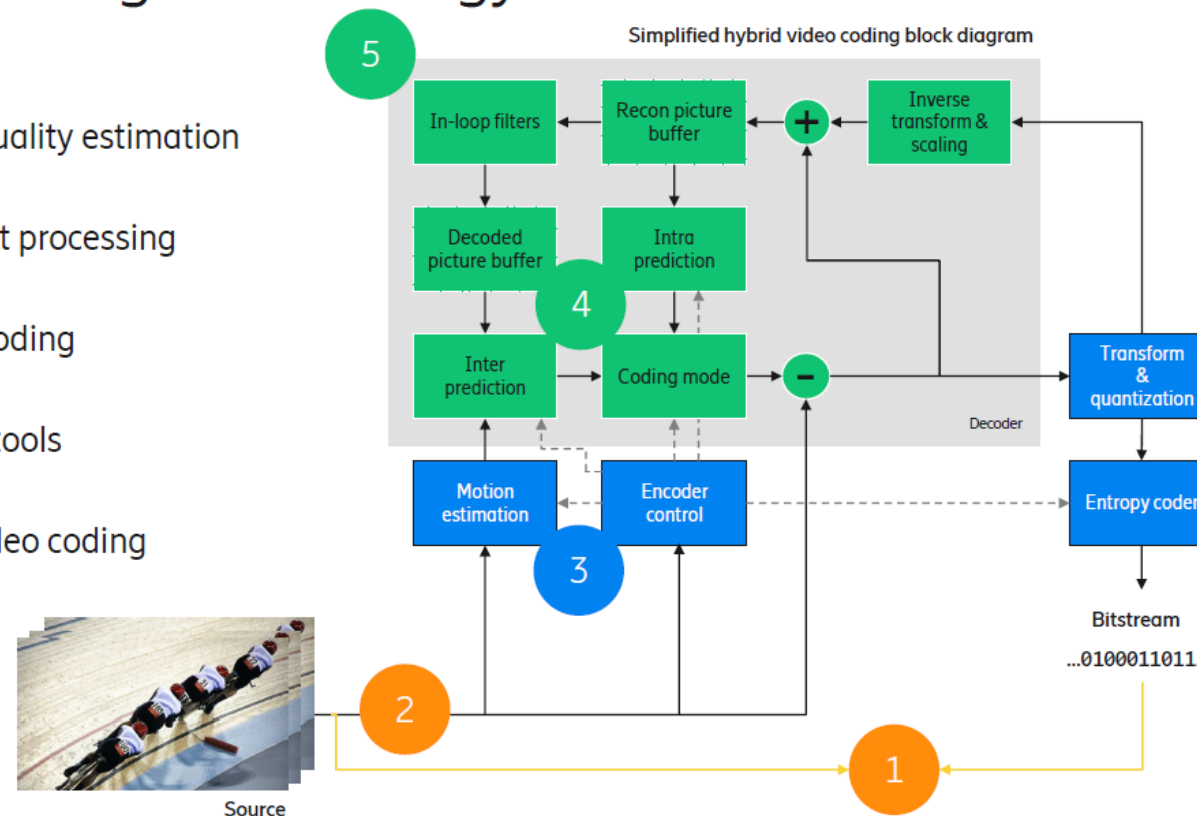
Decoder

- Defined by a standard
- Constrained/fixed complexity increase (2x between two generations)

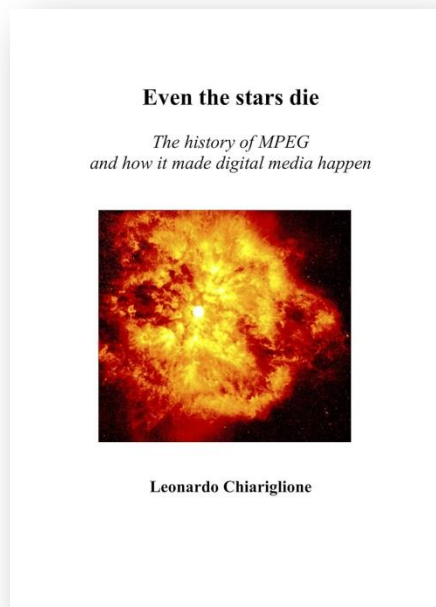
Encoder

- NOT defined by a standard
- Implementation-specific complexity control -> translates into realizable compression gains

- 1 NN-based video quality estimation
- 2 NN-based pre/post processing
- 3 NN-enhanced encoding
- 4 NN-based coding tools
- 5 End-to-end NN video coding



REVENGE OF THE
Quality Estimation



MPEG (ISO)

born on 29th of January 1988,
the **Moving Picture Experts Group**
passed away on the 2nd of June 2020.



MPAI: ricerca e standard su base AI

Moving Picture, Audio and Data Coding by Artificial Intelligence (MPAI) is a Geneva-based international, unaffiliated, not-for-profit organisation with the mission to promote the efficient use of Data by

1. Developing Technical Specifications of

- **Coding** any type of **Data**, e.g. by compression and description, especially using new technologies such as **Artificial Intelligence**, and
- Technologies that facilitate **integration of Data Compression components** in ICT systems, and

2. Bridging the gap between Technical Specifications and their practical use through the development of IPR Guidelines, such as **Framework Licences** and other instruments.

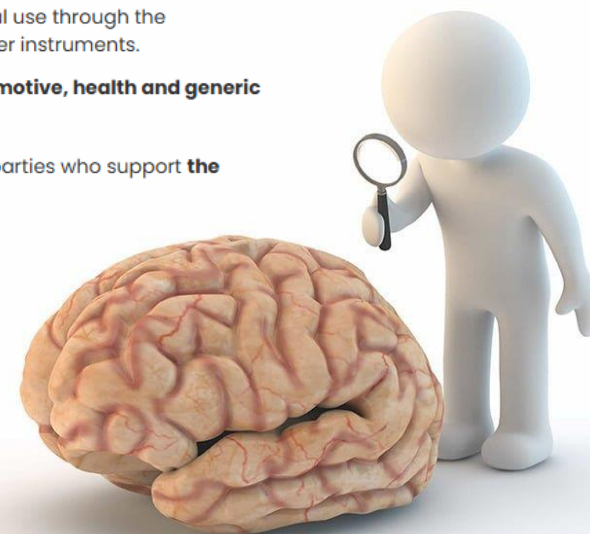
By Data MPAI intends, by way of example, **media, manufacturing, automotive, health and generic data**.

MPAI operates based on open international collaboration of interested parties who support **the MPAI mission and the means to accomplish it**.

**MOVING PICTURE, AUDIO AND DATA CODING
BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE**



The international, unaffiliated, no-profit organisation developing standards for AI-based data coding with clear Intellectual Property Rights licensing frameworks.



l'importanza dei tempi: latenze e ritardi

Start up time,

che misura la velocità di avvio della visione a partire dalla digitazione del tasto play del media player.

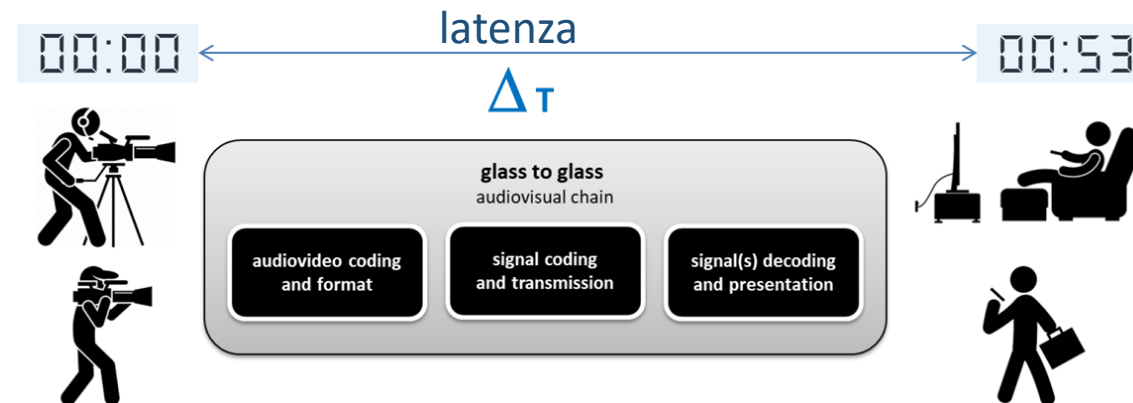
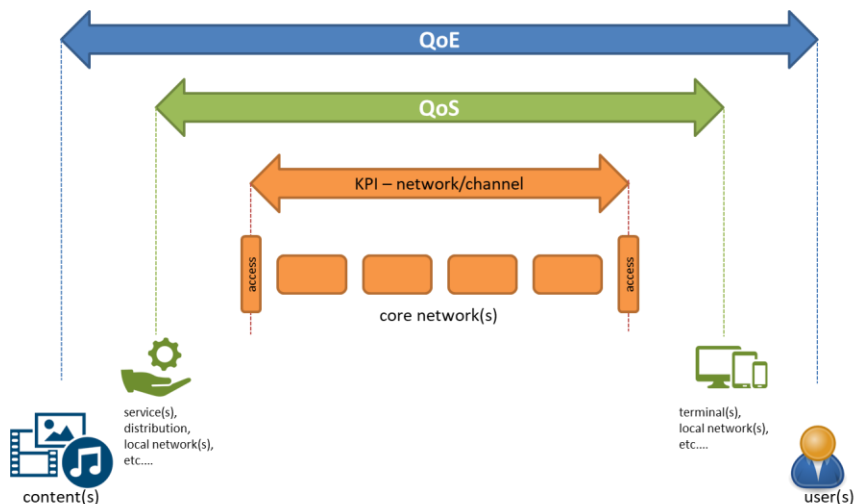
Ritardo video (o latenza N.d.A.),

un tipico indicatore* del live streaming che misura il tempo intercorrente tra l'istante in cui la camera acquisisce un frame video e l'istante in cui il cliente lo visualizza sul proprio terminale

[AGCOM Allegato A alla delibera n.17/22/CONS](#)

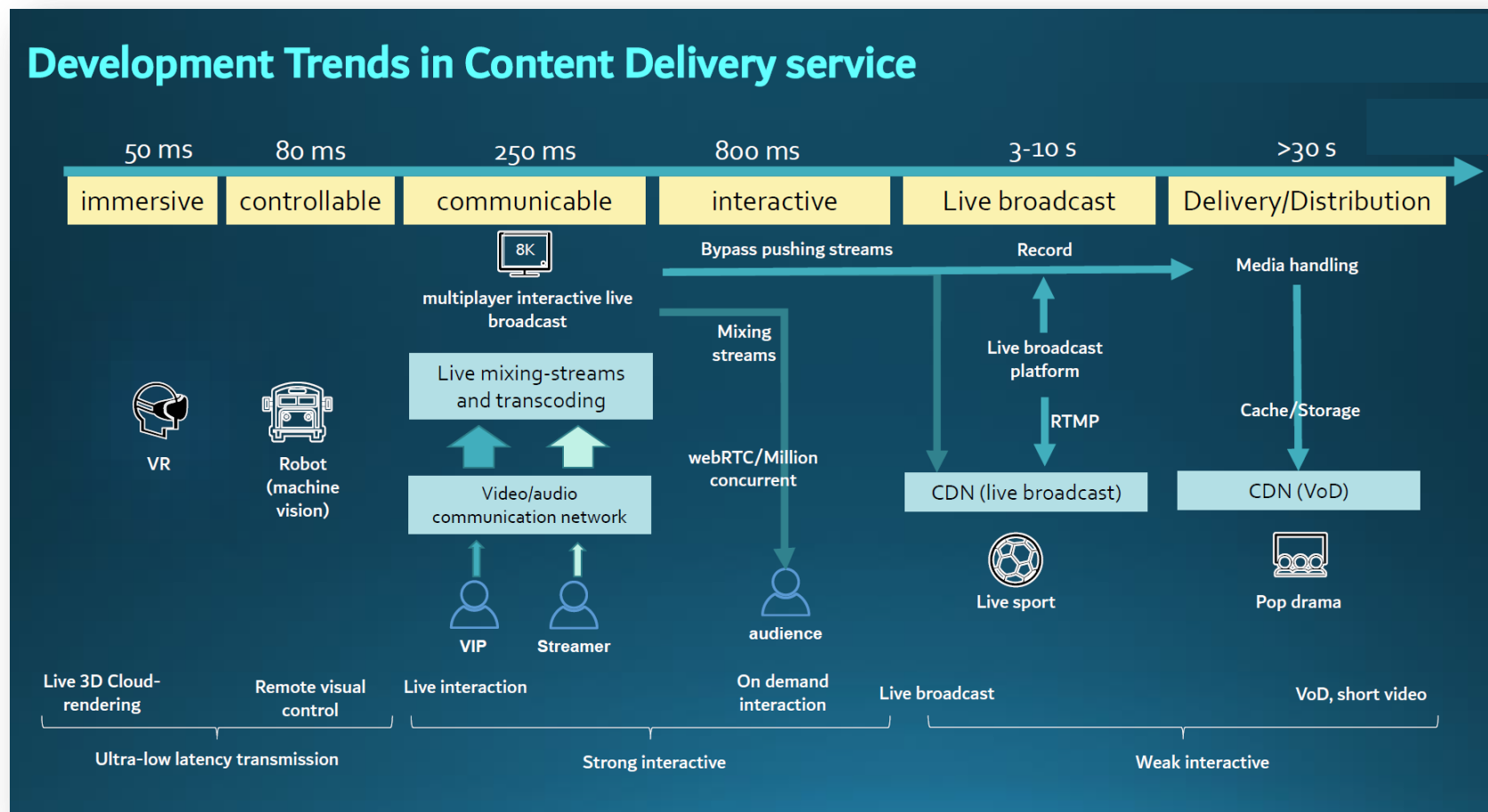
DEFINIZIONE DEGLI INDICATORI DI QUALITÀ DELL'ESPERIENZA DEGLI UTENTI DELLE PIATTAFORME DI LIVE VIDEO STREAMING E DEI RELATIVI INDENNIZZI

** Il problema nasce non solo dal ritardo, ma anche e soprattutto dal fatto che ci sono latenze molto diverse a seconda di come si fruisce il contenuto: principalmente tra broadcast e IP, ma anche nelle diverse soluzioni su IP.*



latenza: aspettata/desiderata

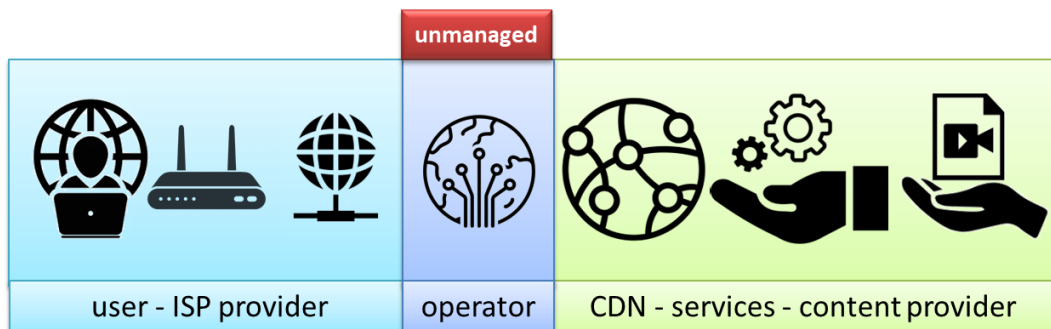
Development Trends in Content Delivery service



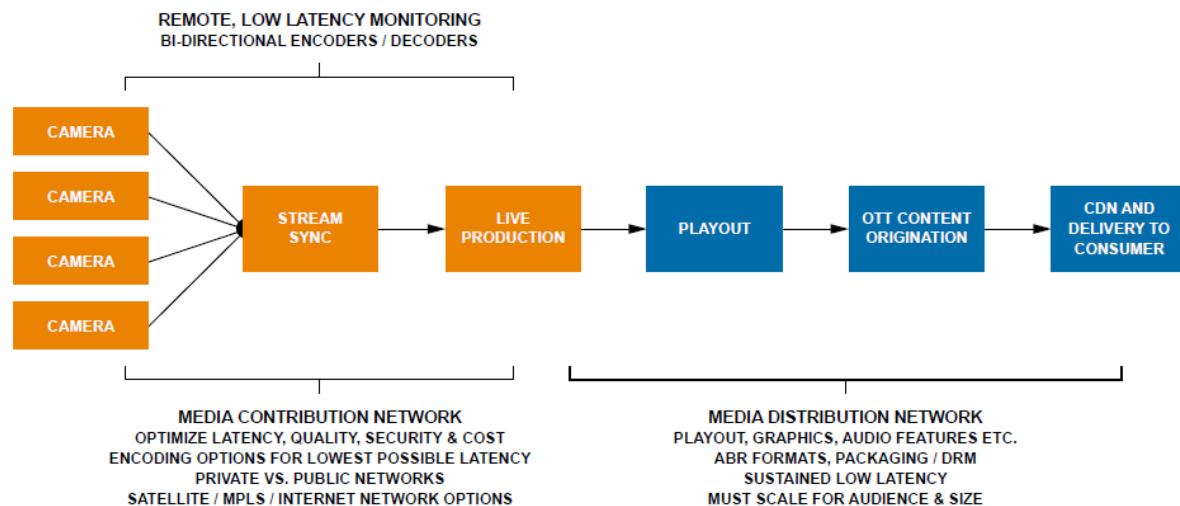
© China Mobile ZTE OKI 2024



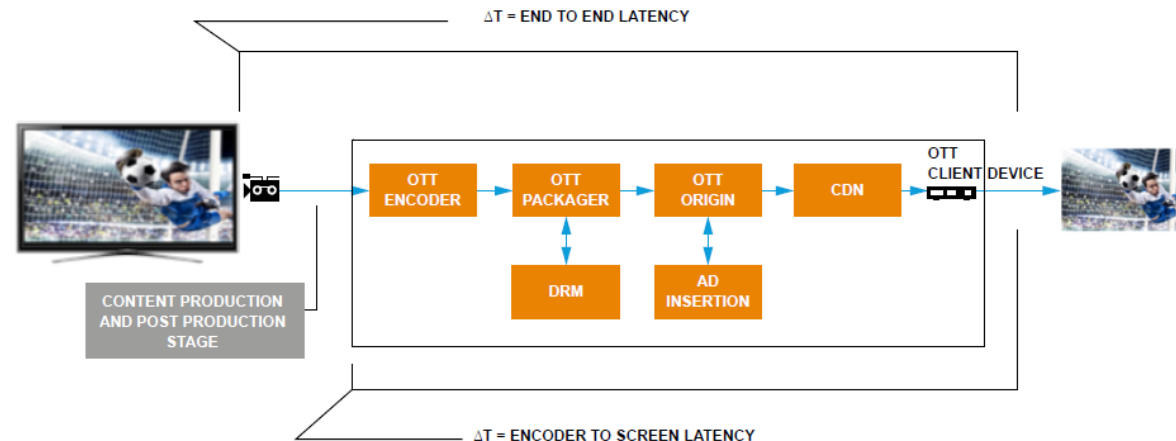
la latenza su IP



una tipica catena dei domini di una OTT secondo i tre domini (hyperscaler; rete pubblica, ISP provider)



controllo della latenza nella catena di distribuzione in streaming di un evento live - © TheBroadcastBridge 2023



ENCODER / TRANSCODER	PACKAGER	ORIGIN	CDN	PLAYER	TOTAL
3s	6s	500ms	500ms	18s	28s

Latenza "end-to-end" e "encoder-to-screen" e loro stime in normale sistema di distribuzione di contenuti live su internet - © TheBroadcastBridge 2023

ENCODER / TRANSCODER	PACKAGER	ORIGIN	CDN	PLAYER	TOTAL
2s	2s	500ms	500ms	4s	8s

ENCODER / TRANSCODER	PACKAGER	ORIGIN	CDN	PLAYER	TOTAL
2s	200ms	500ms	500ms	2s	5.2s

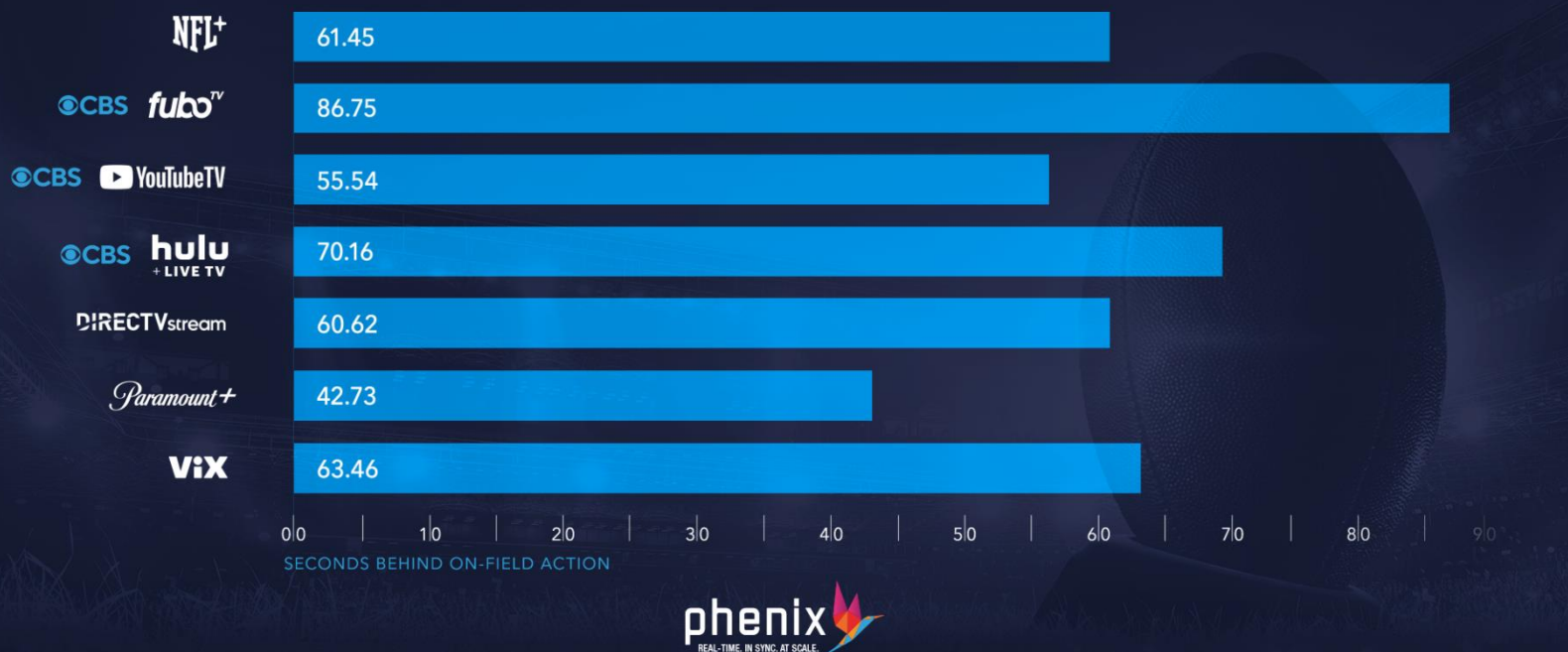
Sopra: tempi di latenza allo stato dell'arte.

Sotto: tempi di latenza desiderata per il prossimo futuro - © TheBroadcastBridge 2023

latenza su IP: uno studio negli anni (USA)

Super Bowl 2024: Average Lag Behind Real-Time

Comparing various streaming sources with the on-field game



2024 Super Bowl Latency: 'Unfortunately, Nothing Has Changed,' says Phenix in Annual Study ([link](#))

Studi per gli ultimi quattro anni, 2020 – 2024, mostrano una situazione praticamente invariata. ([link](#))

latenza su IP: uno studio comparativo (UK)

Live Streaming at Scale

A DTG analysis of latency and accessibility
functionality across a summer of sport
NOVEMBER 2024



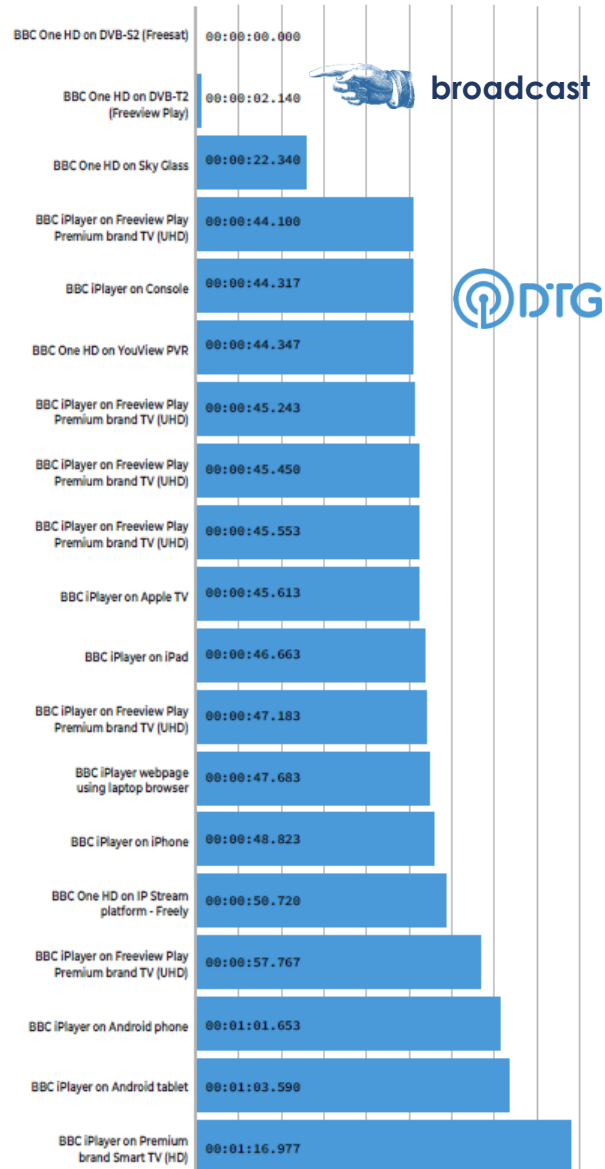
([link](#))

DTG Report Highlights Significant Improvements in Latency for Live Sports Streaming in 2024

- Year-on-Year Improvements Indicate Progress, but Challenges Remain
- Broadcast Consistently Outperformed IP Streaming
- Accessibility Testing Revealed Inconsistencies
- Enhancements in User Experience
- Power Consumption Insights

iPlayer testing results – Centre Court feed
(UHD if available)

Average iPlayer time behind broadcast when UHD: **46.5 seconds**



obiettivi e problemi



**Aggiornamento a
codifiche/standard di
ultima generazione**

**Utilizzo dei broadcast
solo laddove necessario**

**Urgenza di definire una
nuova TV connessa, e
dei servizi associati**



**Aggiornamento
ricevitori, non tutti
possono accedere**

**Gestione dinamica delle
frequenze e degli slot**

**Accesso a banda larga
per tutti a costi
accessibili**

la TV del futuro: 3 key point

(una opinione personale)

Device

- Wide band access
- Hybrid compatibility
- Soundbar
- Upgradable signal decoder
- 5G Broadcast receiver



senza volere l'impossibile...

IP / Services

- DVB-I
- AI / NL interface
profile/personalisation



Broadcast

- DVB-T2
- DVB-S2
- 5G Broadcast





[SG09 - Broadband cable & TV](#)
[SG12 - Performance, QoS & QoE](#)
[SG16 - Multimedia & digital technologies](#)

* Potrebbero cambiare nel prossimo periodo 2025-2028



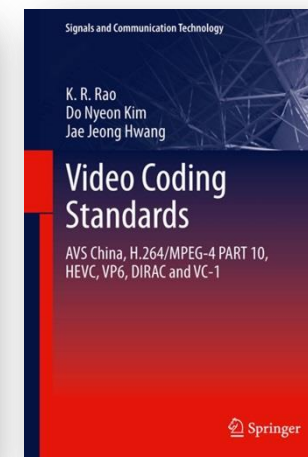
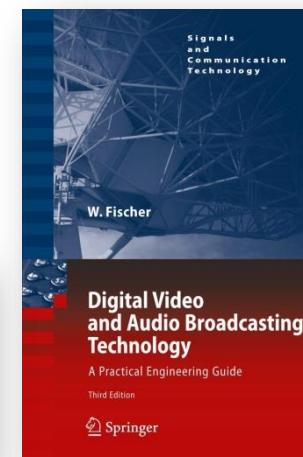
DVBAVC®



EBU



**BROADCAST
THE _____ BRIDGE**
Connecting **IT** to Broadcast



**GRAZIE
PER L'ATTENZIONE**

@ mfalcone@fub.it

