

La TV in streaming*

di Flavio Luciani, Maurizio Goretti, Giovanni
Cristi, Luca Rea e Vincenzo Lobianco

1. Introduzione

Il traffico Internet cresce di anno in anno in ragione dell'aumento degli utenti e dell'incremento del numero e qualità dei servizi fruibili con la rete. A livello mondiale, il tasso di crescita del traffico Internet ha registrato un elevatissimo incremento nei primi mesi del 2020 con l'inizio della pandemia del Covid-19 e i conseguenti provvedimenti messi in campo per contrastare la diffusione del virus ovvero il confinamento nelle case (il c.d. *lockdown*) e l'uso massivo dello smart working e della didattica a distanza.

Secondo i dati resi disponibili dall'Agcom nel numero 3/2022 dell'Osservatorio delle comunicazioni¹, pubblicato trimestralmente, il traffico medio mensile complessivo nel primo semestre 2022 è aumentato del 93,5% rispetto al 2019, raggiungendo picchi di oltre 143 PB² nel mese di gennaio 2022. Anche il traffico medio giornaliero per singola linea *broadband* è aumentato in maniera analoga, passando da 4,15 GB nel primo semestre 2019 a 7,39 GB (+78%), sempre nel primo semestre 2022.

L'incremento del traffico scambiato sulla rete a partire dal 2020 è evidentemente dovuto a differenti tipologie di servizio, da una parte il traffico generato dallo smart working, dalla didattica a distanza e dall'accesso ai social network e dall'altra – in misura sicuramente maggiore – quello rela-

*E' il testo del capitolo IV di ASTRID, La televisione del futuro. Le prospettive del mercato televisivo nella transizione digitale, a cura di F. Bruno, V.Lobianco, A. Perrucci e A. Preta, Bologna il Mulino, giugno 2023

¹ www.agcom.it.

² Il PetaByte (PB) è un'unità di misura della quantità di dati. 1 PB = 1015 Bytes oppure a un milione di GigaBytes (109 Bytes), 1 Zetta-Byte (ZB) equivale a un milione di PB, ossia 1021 Bytes.

tivo ai servizi di intrattenimento, in primo luogo la Tv in streaming, intesa in tutte le sue forme di consumo.

È noto infatti che, storicamente, la maggior parte del traffico Internet è dovuta alla trasmissione di video, da sorgenti di traffico quali le piattaforme di distribuzione di video normalmente autoprodotti (ad es. YouTube) o i servizi di Tv in streaming on demand in abbonamento, quali ad esempio Netflix o Prime Video. Nel corso della pandemia questi servizi hanno registrato nel mondo e anche in Italia, un record di incremento del numero di abbonati, dovuto all'impossibilità di frequentare cinema, teatri, concerti, ecc.

Secondo i dati contenuti nel documento³ di Axon Partners Group preparato per l'Etno nel maggio 2022, nel corso dell'anno 2021 il 53,7% del traffico prodotto dagli OTT è stato generato dai servizi video, il 12,7% dai social network e il 9,9% dal *web browsing*. Il resto è relativo ad altri servizi quali il *messaging*, il *gaming*, il *file sharing* e il *cloud* e le VPN.

Riguardo al peso dei servizi video rispetto al traffico complessivo della rete Internet, le stime sono variegiate ma generalmente si pensa che già nel 2022 esso avrà superato il 60% fino a raggiungere, nel 2025, addirittura l'80% di tutto il traffico.

In prima approssimazione il traffico video scambiato per lo smart working, la didattica a distanza e i social network (escludendo YouTube, assimilabile più ai servizi di intrattenimento) può essere considerato bi-direzionale in quanto gli utenti accedono alla *library* dei video (anche online) e possono anche «caricare» i propri video.

Al contrario, il traffico dati generato dai servizi di intrattenimento, siano essi on demand o live, è da considerarsi quasi completamente monodirezionale con enormi quantità di dati trasmessi dalle Content Delivery Network degli operatori OTT (Over The Top) verso gli utenti in intervalli temporali concentrati (tipicamente la sera o durante gli eventi live) con impatti significativi sulla rete.

³ Axon Partners Group, *Europe's Internet Ecosystem: Socio-economic Benefits of a Fairer Balance Between Tech Giants and Telecom Operators*, maggio 2022.

Tali considerazioni trovano poi riscontro nei dati dell'Osservatorio Agcom n. 3/2022 riferito alle quantità complessive di traffico scambiate in download e upload. Il dato cumulativo del primo semestre 2022 del traffico in download è pari a 20,92 ZettaByte con un incremento del 93,7% rispetto allo stesso dato del 2019 (10,80 ZB). In upload, il traffico cumulativo al primo trimestre 2022 è pari a 2,37 ZB con un incremento del 91,9% rispetto al corrispondente dato del 2019 (1,34 ZB). Il traffico in upload, come si vede, rappresenta circa l'11% del traffico in download.

La rete Internet ha complessivamente sostenuto senza particolari problemi questo straordinario incremento di traffico, come rilevato da tutte le Autorità di regolazione europee, anche in considerazione del fatto che alcuni tra i principali fornitori di servizi OTT (Netflix, Prime Video, YouTube) – rispondendo alle sollecitazioni della Commissione europea – hanno deciso di ridurre il *bitrate* dei contenuti (con una potenziale riduzione della qualità di visione) per evitare di sovraccaricare la rete, in particolare negli orari serali quando l'accesso ai servizi di video on demand raggiungeva il picco.

In Italia, alla pressione sulla rete imposta dall'incremento dei servizi Tv on demand si è aggiunta, a partire dallo scorso mese di settembre 2021, la trasmissione⁴ in live streaming del campionato di calcio di Serie A, assegnato dalla Lega Calcio nazionale a Dazn (in associazione con Tim). Dazn è un OTT operante nel settore sportivo che nel triennio precedente aveva già trasmesso in via esclusiva 3 partite a giornata della Serie A Tim.

L'assegnazione della trasmissione della Serie A Tim a Dazn (avvenuta nel mese di marzo 2021) ha sollevato più di qualche perplessità sulla possibilità per la rete di sostenere eventi in live streaming ricevuti contemporaneamente da milioni di utenti. A tale riguardo, l'Agcom, a tutela dell'utente, ha richiesto a Dazn e a Tim l'adozione di specifici accorgimenti tecnici per assicurare la migliore qualità del

⁴ Per ogni giornata 3 partite sono trasmesse anche da Sky sulla rete satellitare, le rimanenti 7 sono in esclusiva sulla rete Dazn.

servizio. Tali accorgimenti hanno comportato modifiche sulle reti di Dazn e di Tim nonché dei restanti soggetti coinvolti (operatori di accesso e Internet Service Provider, Internet eXchange Point, IXP) per adeguare le proprie reti.

Questa breve premessa dà conto di quanto possa essere significativo per la rete Internet l'impatto del video in streaming on demand e soprattutto live e quindi la necessità di dimensionare opportunamente le reti di tutti i soggetti coinvolti, a partire dall'operatore di accesso, per garantire che la fruizione di questi eventi, in particolare quelli in live streaming, possa avvenire senza problemi per milioni di utenti contemporanei in maniera analoga alla ricezione di questi eventi in *broadcasting* su frequenze via etere terrestre o satellitare.

Scopo di questo capitolo è quindi quello di fornire gli elementi per la piena comprensione del fenomeno della Tv in streaming – sia essa on demand sia live – esaminando tutti gli aspetti tecnici coinvolti nella diffusione di questo servizio, gli attuali limiti tecnici e gli eventuali interventi necessari, di natura non solo tecnica ma anche regolatoria e «politica», che possano permettere alla Tv in streaming di distribuire, in particolare, gli eventi in tempo reale e i canali gratuiti della Tv lineare in maniera analoga a quanto attualmente fatto dal digitale terrestre (e dalla Tv satellitare) e, in una prospettiva a lungo termine, eventualmente porsi come possibili alternative al *broadcasting* via etere, terrestre e/o satellitare.

Pur senza anticipare le conclusioni del capitolo, si può comunque affermare che l'eventuale processo di sostituzione richiederà non solo i necessari adeguamenti tecnici dell'infrastruttura della rete Internet per il pieno supporto della Tv in streaming ma anche la contestuale messa a disposizione di una rete di accesso alla banda larga e ultralarga che sia in grado di garantire una copertura universale a costi abbordabili, come attualmente realizzato dalla Tv via etere terrestre.

Per questo motivo il capitolo presenta in primo luogo la descrizione della rete di accesso a banda larga e ultralarga fornendone l'attuale stato di diffusione e le prospettive future.

Nel paragrafo seguente verrà brevemente descritta l'architettura della rete Internet nella prospettiva del suo utilizzo per la Tv in streaming nonché alcune componenti fondamentali per tale utilizzo come gli Internet Exchange Point (IXP) e le Content Delivery Network (CDN).

Nel terzo paragrafo verrà approfondito il tema delle architetture di rete e delle configurazioni delle apparecchiature per realizzare le piattaforme di distribuzione della Tv in streaming sulla rete Internet pubblica. Verranno inoltre dettagliati i protocolli di rete e le tecnologie di codifica utilizzate per il servizio in parola.

Infine, nel quarto paragrafo verranno affrontati i temi dei colli di bottiglia della rete Internet che possono influire sull'offerta di servizio della Tv in streaming, della sua sostenibilità tecnica e delle metodologie di misura della qualità.

2. *La rete di accesso in banda larga e ultralarga, diffusione di FTTC, FTTH e FWA, prospettive*

Come prima detto, i soggetti coinvolti nella distribuzione via Internet del segnale televisivo sono molteplici. Semplificando, il produttore del contenuto (evento live, film o concerto in libreria, ecc.) di norma l'OTT, l'operatore di rete che può svolgere anche il ruolo di operatore di accesso oppure di transito verso altri operatori di accesso. Anche gli Internet Exchange Point (IXP) sono in genere coinvolti nel transito dei dati tra più operatori. Il contenuto infine raggiunge l'utente attraverso la rete fisica di accesso (nel caso di rete fissa) che lo collega al primo punto di presenza dell'operatore (PoP). Nel caso di reti fisse, l'ultima parte del collegamento di accesso può essere anche fornito via radio dagli operatori FWA. Nel caso delle reti mobili, il collegamento tra terminale e stazione radio base rappresenta la rete di accesso per l'utente.

Prima di descrivere le varie tipologie di rete di accesso a banda larga e ultralarga, appare utile descrivere in maniera semplificata un'architettura di rete per la Tv in streaming.

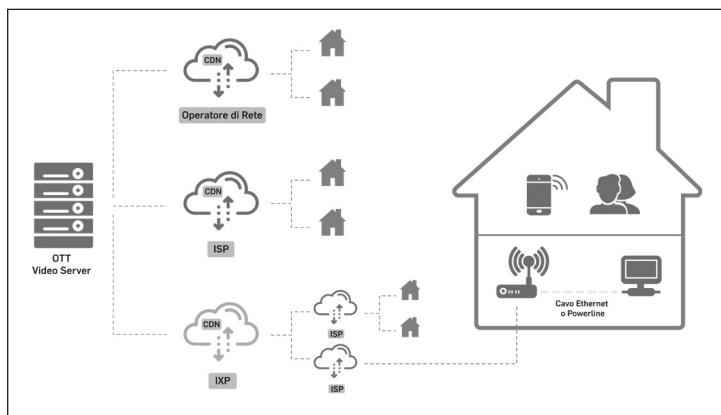


FIG. 4.1. Architettura di rete per la distribuzione della Tv in streaming.

Con riferimento alla figura 4.1, i contenuti sono resi disponibili, attraverso dei video server, dall'operatore di Tv in streaming, denominato anche OTT, che provvede ad acquisirli sul mercato o produrli direttamente. I contenuti possono essere richiesti on demand da un catalogo oppure distribuiti in tempo reale in occasione di eventi sportivi, musicali o di altro tipo. Come vedremo meglio successivamente, le due tipologie di contenuto generano impatti differenti sulla rete Internet che deve essere quindi adeguata per garantire la migliore qualità di servizio indipendentemente dal tipo di contenuto da distribuire.

L'utente che richiede la visione di un determinato tipo di contenuto può accedere, attraverso il proprio operatore di rete o ISP che fornisce l'accesso a Internet, ai server video dell'OTT oppure accedere ai server della rete CDN (Content Distribution Network) che replicano temporaneamente o permanentemente i contenuti dei server video dell'OTT. Come approfondito successivamente, le CDN giocano un ruolo fondamentale nella distribuzione dei contenuti degli OTT, riducendo il carico di rete degli operatori e il ritardo nella ricezione del flusso video (latenza). I server delle reti CDN possono a loro volta essere installati presso gli

operatori o presso gli IXP (Internet Exchange Point) che fungono da nodi di interconnessione tra gli AS (Autonomous System) ossia le reti degli operatori e degli ISP e i grandi carrier Internet nazionale e internazionali. Il provider OTT, una volta autenticato l'utente, ossia accertato che abbia un abbonamento valido, invia – direttamente con i propri server video o attraverso la CDN – i pacchetti dati IP in cui viene suddiviso per la trasmissione il contenuto video, attraverso la rete Internet, i nodi IXP, se presenti, e la rete di accesso del provider Internet all'utente. Attraverso un modem, che si collega con la linea esterna e un router, l'accesso a Internet viene condiviso dentro l'abitazione sia in connessione wired (con un cavo ethernet) sia wireless (di norma attraverso il wi-fi). I pacchetti raggiungono quindi i terminali connessi (smart Tv, tablet, Pc o smartphone) in uso dall'utente dove sono installate le app che consentono la visione del contenuto richiesto.

In merito ai modem e ai router, si osserva che l'apparato integrato è ormai uno standard di riferimento. In alcuni casi, in particolare per gli accessi in fibra FTTH, possono utilizzarsi apparati separati, non per esigenze tecniche ma per motivi di offerta e commerciali. I grandi operatori propongono in genere un'unica soluzione integrata. Se il cliente invece vuole usare un modem router di terze parti è costretto a impiegare due apparati diversi: il modem fornito dall'operatore e il router, che il cliente sceglie liberamente sull'*open market*.

Da questa semplificata descrizione della configurazione di rete per la Tv in streaming emerge che la catena che collega il fornitore di contenuti all'utente è composta da parecchi anelli, di cui quello più debole determina la qualità del servizio offerta. Idealmente tutti i soggetti coinvolti dovrebbero fornire adeguate prestazioni in termini di velocità di trasferimento dei dati e di latenza, ossia del ritardo tra l'invio sulla rete dei pacchetti dati in cui viene suddivisa la trasmissione dell'evento e la ricezione degli stessi da parte dell'utente, elemento – quello della latenza – fondamentale nel caso di eventi live. Nella realtà questo ancora non avviene.

Box 4.1

Differenze tra IPTV e Tv in streaming

La Tv in streaming come proposta negli ultimi anni, in particolare dagli operatori OTT, non è il primo esempio di distribuzione di offerta televisiva sulla rete Internet. Nella prima decade del Duemila sono state avviate differenti iniziative per promuovere la diffusione di contenuti di Tv lineare e on demand attraverso la rete Internet da parte degli operatori di rete. Queste piattaforme erano denominate IPTV e sostanzialmente replicavano la distribuzione del segnale televisivo via cavo partita negli anni Settanta sulla rete digitale in tecnologia IP con qualità garantita.

Le piattaforme IPTV erano confinate nella rete di un singolo operatore che poteva in questo modo gestire in via diretta l'offerta ai propri utenti e la qualità del servizio. Le offerte commerciali venivano denominate «Triple Play» in quanto l'operatore offriva il servizio Tv insieme a quello telefonico e di accesso a Internet. L'offerta era proposta quindi sulla rete proprietaria e veniva definita *managed* in quanto veniva dimensionata e garantita per i servizi video.

Al contrario la Tv in streaming, come viene analizzata nel presente capitolo, utilizza la rete Internet pubblica con il suo paradigma del *best effort* che, con l'incremento della velocità di rete e della sua qualità, garantisce comunque prestazioni analoghe a quelle di una rete proprietaria *managed*. A differenza poi delle IPTV, l'utente può abbonarsi a uno o più servizi di Tv in streaming offerti da operatori che non gestiscono in maniera diretta la rete, i cosiddetti Over The Top (OTT).

Nell'ipotesi che le reti CDN, le reti di trasporto degli operatori e gli Internet Exchange Point siano in grado di adeguare le proprie prestazioni tecniche alle crescenti richieste dovute al live streaming, le reti di accesso potrebbero essere considerate quale l'anello debole della catena, sia allo stato attuale, in quanto la qualità della rete non è omogenea sul territorio, sia in prospettiva per la relazione debole tra domanda e offerta che non incentiva gli operatori all'*upgrade* della rete di accesso alla fibra. Si ricorda infatti che l'infrastrutturazione in fibra di tutto il territorio risulta essere costosa (soprattutto per gli investimenti in

opere civili) e complessa, per la necessità di intervenire sul territorio con scavi, trincee, ecc. e la conseguente necessità di coordinamento tra tutti gli enti locali e funzionali che sovrintendono alla gestione del territorio stesso.

Per questi motivi nel 2015 il Governo, con la definizione della *Strategia Italiana per la Banda Ultralarga*, ha dato avvio all'implementazione del Piano BUL (Banda Ultralarga) mirato a incentivare il completamento della copertura, nelle aree bianche a fallimento di mercato, della rete di accesso con velocità di almeno 100 Mbit/s per l'85% della popolazione e di almeno 30 Mbit/s su tutta la restante parte del territorio nazionale (che avrebbe dovuto essere completata, almeno nella pianificazione iniziale, entro il 2020). Il Piano BUL⁵ per le aree bianche, gestito dal Mise attraverso la società *in-house* Infratel, ripianificato a inizio del 2020 per il completamento entro la fine del 2023, è ancora in corso mentre è stato dato avvio al Piano Voucher per l'incentivazione della domanda da parte dei cittadini e delle imprese⁶.

Più recentemente il Governo ha approvato, nell'ambito degli interventi da finanziare con il Piano nazionale di ripresa e resilienza (Pnrr), i Piani «Italia a 1 Giga» e «Italia 5G»⁷.

Il Piano «Italia a 1 Giga» ha come obiettivo la fornitura di connettività a 1 Gbit/s in download e 200 Mbit/s in upload alle unità immobiliari che, a seguito della mappatura delle infrastrutture presenti o pianificate al 2026, risulteranno non coperte da reti in grado di fornire in maniera affidabile almeno 300 Mbit/s in download. Tale soglia minima di velocità è quella necessaria per raggiungere, entro il 2026, l'obiettivo di connettività di almeno 1 Gbit/s definito nel Digital Compass⁸ dell'Unione europea.

⁵ <https://bandaultralarga.italia.it/>.

⁶ Piano Voucher connettività famiglie e imprese: <https://www.mise.gov.it/index.php/it/comunicazioni/banda-ultralarga>.

⁷ *Strategia Italiana per la Banda Ultralarga. «Verso la Gigabit Society»*, 25 maggio 2021, <https://innovazione.gov.it/dipartimento/focus/piano-italia-a-1-giga/>.

⁸ Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato europeo economico e sociale e al Comitato delle Regioni COM(2021) 118 final del 9 marzo 2021.

Il Piano Italia 5G ha l'obiettivo di incentivare la diffusione di reti mobili 5G nelle aree a fallimento di mercato, in un'ottica complementare e sinergica rispetto al percorso di sviluppo già avviato per le reti 5G nazionali e agli obblighi di copertura in capo agli operatori radiomobili, attraverso iniziative pubbliche finalizzate alla realizzazione di reti per fornire servizi mobili innovativi e ad elevate prestazioni (ad es. velocità di trasmissione di almeno 150 Mbit/s in download e almeno 50 Mbit/s in upload), nel rispetto dei vincoli imposti dalla disciplina in materia di aiuti di Stato.

In definitiva, l'interesse del Governo all'incentivazione della copertura BUL dimostra che la rete di accesso di alta qualità, che risulta di fondamentale importanza nel processo di digitalizzazione del paese, non ha ancora raggiunto un livello di copertura tale da poter sostenere – tra l'altro – la domanda di Tv in live streaming da parte del 100% della popolazione nazionale (circa 24 milioni di famiglie).

Infatti, considerato che un contenuto video HD può richiedere fino a 5/6 Mbit/s (in UHD/4K anche fino a 15/20 Mbit/s) e che in un'abitazione in cui possono essere presenti uno o più schermi, una velocità di almeno 30 Mb/s risulta necessaria per la corretta fruizione di video, in una situazione in cui lo stesso accesso possa essere utilizzato per altri servizi (*web browsing*, posta elettronica, *file transfer*, social). Quindi solo reti di accesso a banda ultralarga (velocità superiore a 30 Mb/s) sono in grado di trasmettere contenuti con la velocità di trasmissione richiesta per una qualità di trasmissione almeno pari all'alta definizione (HD o 2K) garantendo la qualità anche in presenza di due o più schermi.

Vediamo quindi se la rete di accesso italiana in banda larga o ultralarga è adeguata per sostenere la trasmissione di contenuti video a milioni di utenti.

Prima di passare a esaminare l'attuale situazione delle reti di accesso descriviamo sinteticamente nel box 4.2 come vengono realizzate le differenti reti di accesso e le prestazioni disponibili in funzione delle tecnologie.

Box 4.2

*Descrizione delle reti di accesso in banda larga e ultralarga**FTTC: Fiber To The Cab*

La rete di accesso in tecnologia *Fiber To The Cab* (FTTC o FTTCab) è l'architettura più semplice che permette di offrire servizi dati a banda ultralarga (*ultrabroadband*) con velocità di download almeno pari a 30 Mbit/s.

La rete di accesso in rame è suddivisa in due segmenti gerarchici: la rete primaria, che dalle centrali telefoniche corre verso gli armadi ripartilinea e la tratta secondaria (o tratta d'utente), che dagli armadi ripartilinea raggiunge le singole utenze telefoniche. La soluzione FTTC prevede che la rete primaria in rame tra la centrale e l'armadio ripartilinea sia completamente sostituita dalla rete in fibra ottica e che sulla rete secondaria, ancora in rame ma per tratte dell'ordine dei 100-300 metri (*sub-loop*), i dati viaggino su tecnologia VDSL2. Per l'FTTC sono disponibili due versioni del VDSL: la VDSL 17a e la VDSL 35b che si differenziano per la larghezza di banda disponibile per il download dei dati (da 17,6 a 35 MHz). Nel primo caso è possibile raggiungere teoricamente i 100 Mbit/s mentre nel secondo caso si può arrivare a 300 Mbit/s. Le velocità sono quelle massime dipendendo la velocità effettiva dalla lunghezza del *sub-loop* dall'armadio all'attacco di utente e dalla qualità del doppino stesso. Occorre dire che la rete secondaria in Italia ha una lunghezza media intorno ai 250 metri, il che influisce positivamente sulle prestazioni della soluzione architettureale e sulla sua diffusione.

FTTH: Fiber To The Home

Nell'architettura FTTH, la fibra ottica dalla centrale locale arriva fino all'abitazione dell'utente secondo due diverse configurazioni: singola (P2P, *Point To Point*) e condivisa (GPON, *Gigabit Passive Optical Network*).

Nella configurazione P2P una singola fibra ottica collega la centrale dell'operatore (PoP) all'abitazione dell'utente. È la configurazione più costosa e di norma viene utilizzata per il rilegamento di aziende, enti pubblici e in generale di utenze business che richiedono prestazioni di livello professionale. La larghezza di banda di una fibra è a disposizione infatti di un singolo utente ed è limitata solo dalle apparecchiature terminali in centrale e dalla banda a disposizione verso la rete Internet.

Nella configurazione GPON, utilizzata solitamente per gli accessi residenziali, la singola fibra uscente dalla centrale viene condivisa tra più utenti (di norma fino a 64 o 128 utenti) attraverso uno o più splitter ottici passivi, l'ultimo dei quali installato in prossimità dell'abitazione dell'utente. Nonostante la condivisione, consente comunque velocità di accesso di almeno 1 Gbit/s in download con possibilità di aumentare questa velocità. Infatti i profili sono venduti normalmente con velocità di 1 Gbit/s in download mentre in alcuni casi sono disponibili profili fino a 2,5 Gbit/s.

Rete FWA: Fixed Wireless Access

La rete *Fixed Wireless Access* è costituita in genere da una dorsale in fibra ottica che rilega le stazioni radio base BTS (*Base Transceiver Station*), le quali offrono accesso agli utenti finali in banda larga (20 Mbit/s) e ultralarga (da 30 a 200 Mbit/s) in download con l'utilizzo di frequenze radio non licenziate a uso libero condiviso o licenziate in uso esclusivo (in banda C e onde millimetriche). In quest'ultimo caso sono possibili anche collegamenti esclusivi di tipo *Point to Point* con velocità fino a 1 Gbit/s.

Presso la sede dell'utente sono installati dei CPE (*Consumer Premises Equipment*) che ricevono il segnale radio e lo distribuiscono nella sede in maniera analogica (wi-fi o Ethernet) ai modem/router della rete di wired (FTTC o FTTH).

Rete mobile cellulare

L'architettura di una rete mobile cellulare è molto simile a quella di una rete FWA, con le stazioni radio base (BTS) che costituiscono il punto di accesso dei terminali e che sono rilegate in fibra ottica alla rete core dell'operatore attraverso i nodi intermedi denominati BSC (*Base Station Controller*) e MSC (*Mobile Switching Center*).

Le velocità di accesso consentite dalla rete mobile variano in funzione della tecnologia. Le reti attualmente in esercizio, 4G e 5G, offrono accesso a velocità rispettivamente fino a 170 Mbit/s (*LTE Advanced*) e 2 Gbit/s (solo in presenza di particolari configurazioni di banda). La rete 3G è in via di dismissione mentre la rete 2G consente velocità molto ridotte, sino a 48kbit/s.

A differenza delle reti FWA, che possono contare in talune situazioni su collegamenti dedicati punto-punto tra stazione radio base e utente, la velocità in accesso alla rete da parte di un terminale dipende dall'occupazione della cella, ossia dal numero di utenti contemporaneamente serviti dalla stessa stazione radio base, e dal *throughput* massimo della stazione radio base medesima.

2.1. *Dati attuali di diffusione dell'accesso a banda larga e ultralarga da rete fissa*

Riguardo la diffusione della domanda di accessi *broadband* e *ultrabroadband*, l'Osservatorio Agcom n. 3/2022 riporta i seguenti dati aggiornati al mese di giugno 2022. Con riferimento alla rete fissa, il numero di accessi diretti in fibra FTTH risulta pari a 3,06 milioni con un incremento del 34,3% rispetto al corrispondente dato del 2021. Gli accessi diretti in tecnologia mista fibra-rame (FTTC) sono pari a 10,36 milioni di linee in aumento del 5,4% rispetto al 2021. Gli accessi a banda larga (con velocità fino a 30 Mbit/s) in rame, in tecnologia DSL, sono pari a 3,49 milioni, con una significativa riduzione (-26,6%) rispetto al 2021. Infine, l'accesso FWA mostra anch'esso un incremento del 5,8% arrivando a 1,73 milioni di linee rispetto al mese di giugno 2021.

A tale ultimo riguardo, è utile evidenziare il dato di copertura in accesso della tecnologia FWA che fornisce un contributo significativo (11,0%)⁹ alla copertura a banda larga e ultralarga in particolare – ma non esclusivamente – nelle zone bianche, rurali o montuose e a bassa densità di popolazione e anche come la diffusione di tale tecnologia si sia incrementata di un valore pari a quello della FTTC. È interessante, inoltre, evidenziare il significativo incremento (+34,3%) delle linee di accesso FTTH (anche se c'è da considerare il ridotto valore di partenza). In ogni caso, l'FTTH fornisce una copertura di circa il 20%¹⁰ del totale degli accessi diretti, tutti evidentemente con capacità superiore ai 100 Mb/s.

2.2. *Dati attuali di diffusione dell'accesso a banda larga e ultralarga da rete mobile*

Partendo dall'osservatorio Agcom n. 3/2022, nelle reti mobili si nota un rilevante aumento di traffico negli ultimi 3

⁹ Stima sui dati dell'Osservatorio Agcom n. 3/2022.

¹⁰ Stima sui dati dell'Osservatorio Agcom n. 3/2022.

anni a fronte di un numero complessivo di Sim per comunicazioni personali (circa 78 milioni) che è in via di diminuzione. Dai dati si rileva un decremento delle Sim personali di circa 3,5 milioni dal 2019 ad oggi ma, al contrario, aumentano le Sim di tipo M2M di circa 6 milioni nello stesso periodo di riferimento. Per quanto riguarda il traffico dati, si passa da circa 12,1 PB di dati giornalieri scambiati nel mese di marzo 2019 a 32,3 PB giornalieri di dati scambiati rilevati a marzo del 2022. Il dato, oltre a tenere conto dell'incremento di uso del traffico mobile introdotto dallo smart working, denota che i principali servizi vengono fruiti tanto dalla rete mobile quanto dalla rete fissa. In questa direzione, oltre alle iniziative di carattere pubblico, gli operatori mobili (MNO), hanno dichiarato piani di investimento (consultazione pubblica di Infratel propedeutica al Piano Italia 5G)¹¹ soprattutto per le reti di quinta generazione che vanno nella direzione del Digital Compass¹² e degli obiettivi del Pnrr. Da questi dati emerge lo sforzo da parte degli operatori nella direzione della copertura del territorio in banda larga. Gli operatori andranno a coprire il territorio nazionale incrementando la velocità di connessione, che è uno degli aspetti che contraddistinguono il 5G, il cosiddetto «enhanced Mobile BroadBand» (eMBB), migrando progressivamente da architetture di tipo NSA (Non Stand Alone) che ancora poggiano su parte della rete LTE (Long Term Evolution), verso architetture SA (Stand Alone) completamente nuove. In questa fase, quella verso la migrazione ad architetture SA, gli impatti saranno su tutta la rete perché la maggior parte degli apparati andrà a gestire anche il traffico proveniente dalle reti fisse.

¹¹ <https://www.infratelitalia.it/archivio-documenti/documenti/esiti-mappatura-reti-mobili>.

¹² Comunicazione della Commissione europea al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato europeo economico e sociale e al Comitato delle Regioni, *2030 Digital Compass: The European Way for the Digital Decade*, COM(2021) 118 final.

2.3. *Le prospettive future*

In merito alle prospettive future di diffusione della banda larga e ultralarga, si è già accennato agli obiettivi del Governo relativi in particolare alla connettività. Al riguardo si segnala che l'attività è proseguita e nel mese di giugno del 2022 sono state completate le procedure delle gare relative ai bandi per i Piani «Italia a 1 Giga» e «Italia 5G» con l'assegnazione dei relativi lotti alle società vincitrici dei bandi¹³.

Per quanto riguarda «Italia a 1 Giga» sono stati assegnati 15 lotti di gara destinati alla copertura, entro il 2026, di circa 1,6 milioni di civici, con un impegno di spesa di circa 3,4 miliardi di euro, a valere sui fondi del Piano nazionale di ripresa e resilienza, che coprono circa il 70% degli investimenti previsti dalle società vincitrici dei bandi (8 lotti a Open Fiber e 7 al raggruppamento Tim-FiberCop).

Relativamente al Piano Italia 5G sono stati assegnati 2 bandi che prevedono rispettivamente il primo (Tim) una serie di investimenti in 6 lotti per la realizzazione di rilegamenti in fibra ottica di siti radiomobili esistenti e il secondo (aggruppamento temporaneo di imprese composto da Inwit, Vodafone e Tim) dedicato alla densificazione delle reti 5G, finanziando la realizzazione, in 76 lotti, di nuove stazioni radio base con velocità di trasmissione di almeno 150 Mbit/s in downlink e 30 Mbit/s in uplink. Gli importi destinati ai due bandi sono pari rispettivamente a 725 e 346 milioni di euro e coprono fino al 90% del costo complessivo dell'attività.

I primi contratti relativi agli interventi sopra riportati sono stati firmati nel mese di luglio 2022.

¹³ Sito Mitd, <https://innovazione.gov.it/notizie/articoli/firmati-i-primi-contratti-per-Internet-veloce-e-5g/>, consultato il 23 agosto 2022.

3. *Architettura delle reti Internet, gli Internet Exchange Point e le CDN*

In questo paragrafo si fornisce la descrizione delle componenti architettureali più importanti per lo sviluppo e la gestione della Tv in streaming.

3.1. *Definizione della rete Internet e dei suoi componenti*

La rete Internet, la c.d. rete delle reti, collega tutti i punti terminali di rete connessi a ciascun Internet Service Provider ISP, a loro volta connessi tra di loro in maniera non necessariamente gerarchica, dal punto di vista geografico o di nazionalità, a differenza di quanto avveniva nelle reti telefoniche tradizionali.

Uno schema della rete Internet è mostrato nella figura 4.2, dove ciascun nodo viene denominato come «Autonomous System» (AS), ovverossia un insieme di router amministrati da un singolo ente, di norma una rete di un ISP o una rete privata che serve una singola impresa (*enterprise*) o una o più Pubbliche Amministrazioni. A ogni AS sono assegnati un gruppo di indirizzi IP, ciascuno dei quali viene utilizzato per identificare uno specifico punto terminale di rete per consentire di raggiungerlo dal resto della rete Internet.

I punti terminali di rete (modem/router) si collegano ai router attraverso le reti di accesso (fisse o mobili) descritte nel paragrafo precedente e rilegano i terminali degli *end user* (Pc, tablet, smart Tv) attraverso connessioni wired (LAN) o wireless (wi-fi o rete mobile). Nel caso di connessioni di rete mobile, smartphone e tablet includono di norma il modem per la connessione alle Stazioni Radio Base e possono fornire a loro volta accesso a terminali *end user* tramite la funzione di *hotspot/tethering*. Sono anche disponibili modem/router che includono una Sim e offrono connessioni wi-fi in maniera del tutto analoga ai modem/router connessi attraverso la rete fissa.

I router appartenenti a un singolo AS sono collegati tra di loro attraverso protocolli di rete denominati IGP (Interior

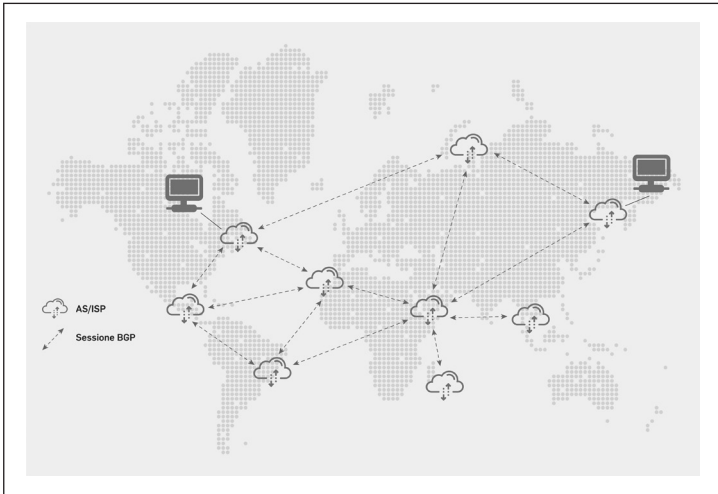


FIG. 4.2. Schema della rete Internet.

Gateway Protocol) che possono essere di tipo standardizzato o proprietario. Gli AS si connettono tra di loro attraverso protocolli di rete del tipo EGP (Exterior Gateway Protocol) dei quali il BGP (Border Gateway Protocol) risulta essere quello utilizzato nella quasi totalità dei casi. La figura 4.3 mostra l'uso delle due tipologie di protocollo.

Il protocollo BGP risulta essere fondamentale nella odierna rete Internet mondiale in quanto è quello che permette di scambiare le informazioni relative agli indirizzi IP, gestiti da ciascun AS, per istradare correttamente i pacchetti dati diretti a ciascun punto terminale di rete. Il singolo AS non può essere collegato a tutti i restanti AS della rete mondiale (in maniera magliata) ma solo a un sottoinsieme di essi attraverso i quali gli indirizzi IP da esso gestiti vengono raggiunti.

Ritornando alla figura 4.3, i collegamenti tra i nodi sono quindi costituiti da sessioni BGP, collegamenti logici tra i router attraverso i quali vengono scambiate informazioni sull'associazione tra indirizzo IP e AS e sull'instradamento (routing) dei pacchetti attraverso i vari AS della rete Internet

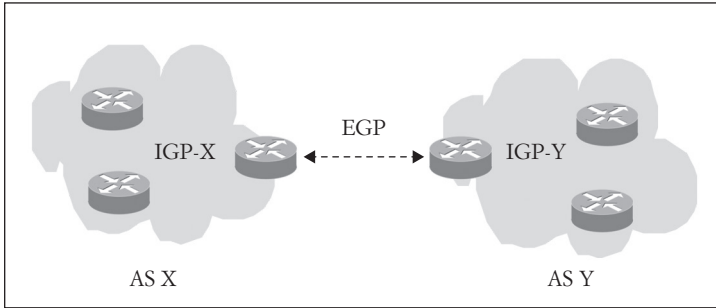


FIG. 4.3. Protocolli di rete intra e tra AS.

Fonte: F. Luciani, A. Prado e T. Tofoni, *BGP dalla teoria alla pratica*, 2ª ed., Roma, NAMEX/Reiss Romoli, 2022, p. 13.

mondiale. Queste informazioni vengono propagate tra tutti gli AS al fine di consentire a un singolo utente di raggiungere tutti gli utenti connessi alla rete Internet.

3.2. Gli Internet Exchange Point (IXP)

Come prima detto, il singolo AS, nella fattispecie il singolo ISP, non può essere connesso a tutti i restanti ISP mondiali ma solo a un sottoinsieme di essi per motivi di costo e di efficienza della rete. Al fine di migliorare la capacità di scambio di traffico tra gli ISP sono nati e stanno avendo un grande sviluppo i c.d. Internet Exchange Point (IXP) o punti di interscambio.

Un IXP, conosciuto anche come Network Access Point (NAP) è un'infrastruttura fisica che consente a diversi ISP di scambiare traffico Internet tra loro. Consentendo l'interconnessione tra AS attraverso accordi di *peering* generalmente gratuiti (almeno finché la quantità di traffico scambiata tra i due AS rimane sostanzialmente in equilibrio), un IXP permette agli ISP di risparmiare una parte della banda che comprano dai loro Upstream Provider e di guadagnare in efficienza e in affidabilità. Gli Upstream Provider sono i grandi ISP di transito che forniscono l'accesso a Internet

agli ISP locali. Un ISP locale potrebbe infatti essere collegato a un solo Upstream Provider ed essere raggiunto per il suo tramite dal resto del mondo, per via delle informazioni scambiate con il BGP. L'attestazione di un ISP locale a un IXP consente di collegarsi direttamente (*peering*) con altri AS/ISP con costi ridotti.

Si noti che tipicamente gli IXP europei – commerciali e non – sono gestiti in modo neutrale rispetto agli ISP attestati. Se un ISP o un *carrier* partecipante avesse la proprietà e la gestione dell'IXP potrebbero, infatti, sorgere potenziali conflitti di interesse. La neutralità rappresenta in parte il successo di molti grandi IXP del Nord Europa.

In definitiva, lo scopo principale di un IXP è di consentire alle reti degli ISP di interconnettersi tra di loro direttamente, attraverso il punto di interscambio, piuttosto che far passare il traffico attraverso uno o più Upstream Provider esterni. I vantaggi sono i seguenti:

- *velocità*: la connessione diretta tra due AS, senza passaggi intermedi, minimizza il tempo di latenza dei pacchetti nell'attraversarli migliorando le performance di rete specialmente verso tutte le applicazioni interattive o di fruizione di contenuti in tempo reale;

- *efficienza*: la diversificazione delle connessioni che un operatore Internet ha verso il resto degli ISP consente di avere un maggior controllo sul routing (rafforzando la connettività Internet locale e la sicurezza), di aumentare la ridondanza dell'infrastruttura di rete e quindi il numero di possibili percorsi differenti verso una data destinazione;

- *costo*: i costi vivi correlati all'afferenza a un IXP (inclusi i costi di interconnessione verso il data center dell'IXP e verso il Fabric) sono generalmente minori (per unità di banda scambiata) rispetto al costo del transito Internet. Gli accordi di *peering* tra i partecipanti a un punto di interscambio sono nella maggior parte dei casi effettuati a titolo gratuito, cosa che rende l'accesso a Internet più economico e dunque fruibile da un numero più ampio di utenti finali in un determinato paese o regione (si pensi alle economie in via di sviluppo).

Il Fabric (o IXP Fabric) è l'infrastruttura fisica di un IXP e consiste in uno o più *switch* ai quali i diversi AS

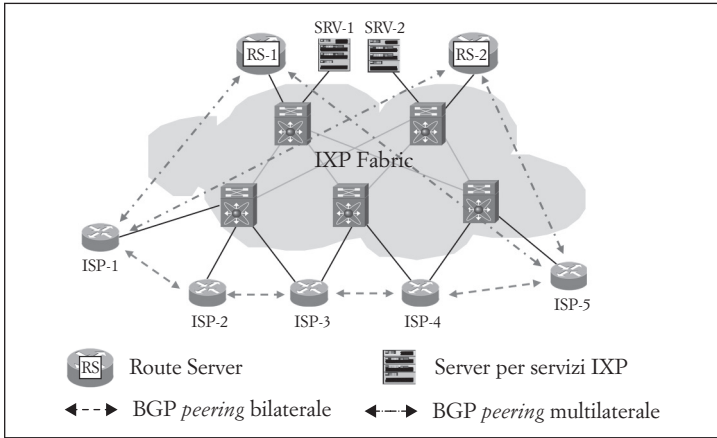


FIG. 4.4. Infrastruttura di un ISP.

Fonte: F. Luciani, A. Prado e T. Tofoni, *BGP dalla teoria alla pratica*, cit., p. 20.

attestati collegano i propri router¹⁴. Possono essere inoltre presenti dei server attraverso i quali il gestore dell'IXP offre ai propri afferenti servizi aggiuntivi (ad es. statistiche di traffico aggregato e per AS destinazione) come anche servizi che consentono il corretto funzionamento di Internet (fig. 4.4).

Come detto, lo scopo principale di un IXP è fornire un'infrastruttura fisica attraverso la quale gli operatori di rete possono interconnettersi e scambiare traffico per un beneficio comune. Negli anni il ruolo degli IXP è cambiato: con un'adesione sempre più ampia e diversificata hanno esteso i loro servizi dal semplice *peering* all'agevolazione di un mercato dove gli afferenti possono acquistare differenti servizi, di cui hanno bisogno, dagli altri partecipanti (ad es. servizi di mitigazione degli attacchi cyber del tipo

¹⁴ La tecnologia di *switching* più usata nei punti di interscambio è passata da ATM (molto in voga negli anni Novanta) a Ethernet. Alcuni IXP sono migrati a soluzioni più scalabili come IP Fabric con trasporto VXLAN e piano di controllo EVPN.

Distributed Denial of Service (DDoS)¹⁵ come anche servizi di accesso). Questa nuova natura da un lato rappresenta un punto di forza per gli IXP, capaci in questo modo di attrarre sempre più operatori (che possono considerare l'afferenza come nuova opportunità di business), e dall'altro lato i partecipanti possono beneficiare di una più ampia gamma di servizi.

4. *Le Content Delivery Network (CDN)*

Le Content Delivery Networks (CDN) rappresentano un'ulteriore categoria di infrastrutture del sistema di Internet che, come dice il loro nome, ha lo scopo primario di facilitare la distribuzione di contenuti nella rete Internet. Le CDN rivestono un ruolo molto importante nel funzionamento dello streaming televisivo, sia esso live o on demand, come pure in generale nell'accesso ai siti. Vediamo nel seguito come.

Con riferimento allo schema virtuale della rete Internet mostrato precedentemente, ipotizziamo che il fornitore video (denominato in questo esempio OTT) sia collegato all'AS 1 (ISP) e abbia presso quest'ultimo installato il proprio video server per distribuire i contenuti (fig. 4.5). I clienti dell'OTT sono collegati in accesso attraverso gli ISP negli AS 2, 3, 4 e 5. I pacchetti dati contenenti il video richiesto (che può essere indifferentemente un contenuto on demand della *library* dell'OTT, un evento live o un canale di Tv lineare) devono attraversare almeno un nodo intermedio per raggiungere i terminali attestati agli ISP 2 e 4, mentre per i clienti dell'ISP 3 i pacchetti dovranno attraversare almeno due nodi. I pacchetti diretti ai clienti dell'ISP 5 non devono invece attraversare nessun nodo intermedio.

¹⁵ Un attacco DDoS (Distributed Denial of Service) consiste nell'inondare un sito web di richieste malevoli di accesso provenienti da più sorgenti, coordinate tra loro dal gestore dell'attacco. Le richieste eccedono la capacità di smaltimento del sito e ne provocano il suo blocco oltre a renderlo irraggiungibile.

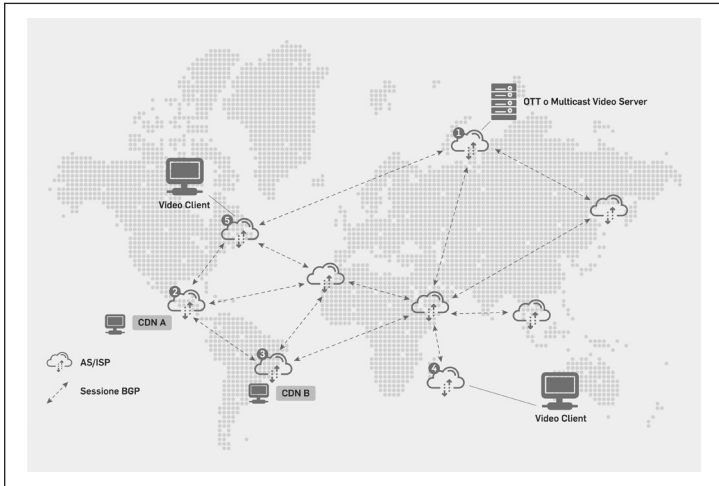


FIG. 4.5. Uso della CDN per lo streaming.

Ricordiamo che lo schema è solo esemplificativo e da questo emergono due considerazioni: i nodi potrebbero risiedere in località molto distanti tra loro (anche in paesi o continenti differenti, ad es. nodi 1 e 5) e i collegamenti tra i nodi potrebbero risultare estremamente lunghi. Inoltre il numero di nodi da attraversare potrebbe essere ben superiore a 2 o 3. Questo comporta che i pacchetti dati possono raggiungere i terminali con tempi di ritardo significativi (latenza) e di norma non costanti (*jitter*), funzionando la rete, seppure ad alta velocità, di norma in modalità *best effort*. Si consideri anche che laddove i clienti fossero molto numerosi (centinaia di migliaia o milioni) tutto il traffico dati relativo ai pacchetti generati per servire questi clienti transiterebbe nel nodo 1, generando fenomeni di congestione qualora il nodo non fosse dimensionato adeguatamente per il traffico di picco o per le «bombe» di traffico, fenomeni associati a richieste simultanee di un numero elevatissimo di utenti. La congestione, peraltro, si riverbererebbe sui nodi adiacenti e in ultima analisi sulla rete nella sua globalità creando

problemi per l'accesso ai differenti servizi di Internet nei momenti in cui la richiesta del contenuto video, in particolare in live streaming, dovesse esplodere in presenza di eventi molto richiesti, vista la contestualità degli accessi da parte dei clienti.

I problemi sopra evidenziati potrebbero essere, se non risolti almeno mitigati, se fosse possibile mettere a disposizione in una posizione più vicina ai clienti, con server a distanza fisica ridotta, i contenuti memorizzati nel server video dell'OTT. In particolare, installando dei video server direttamente negli AS 2, 3 e 4 e replicando in questi il contenuto del server video dell'OTT, i clienti potrebbero ricevere i contenuti forniti dall'OTT da una posizione geografica più vicina con maggiore velocità e con una latenza ridotta.

Le CDN svolgono esattamente questa funzione. Esse sono costituite da reti di server collegati tra di loro con collegamenti di norma dedicati ad alta velocità e installati presso i maggiori ISP o presso gli IXP. I contenuti che si intende distribuire attraverso le CDN vengono continuamente aggiornati dal sistema di gestione della CDN a partire dalla sorgente di traffico localizzata presso il server originario.

Le CDN ora descritte possono essere di natura pubblica commerciale, ossia realizzate per fornire servizi a una pluralità di OTT fornitori di contenuti oppure di natura privata, ovvero realizzata da un singolo fornitore¹⁶ per migliorare la qualità del servizio offerto ai propri clienti.

Si noti che i servizi offerti dalle CDN non riguardano esclusivamente i contenuti video ma possono essere utilizzati anche per migliorare l'accesso a tutti i siti web contenenti immagini, testi o altro oppure per i siti che offrono download di file di tutti i tipi: multimediali, software, documenti, cataloghi *e-commerce*, ecc. In questo modo si velocizza l'accesso

¹⁶ Ad esempio, Netflix si è dotato, già nel 2016, di una CDN proprietaria, denominata *Open Connect*, con la quale distribuisce il 100% dei suoi contenuti, cessando quindi l'utilizzo della rete CDN commerciale Amazon CloudFront.

a questi siti e si migliora l'esperienza dell'utente nel leggere o scaricare qualsiasi tipo di contenuto.

Le CDN, oltre a migliorare la *user experience*, contribuiscono anche a ridurre i rischi di congestione della rete riducendo l'impegno della rete stessa per la distribuzione dei contenuti agli utenti riportandolo, nel migliore dei casi, alla sola porzione di rete di accesso. Il collegamento dedicato tra i server della CDN, quando previsto, non influisce infatti sul traffico scambiato sulla porzione pubblica della rete Internet.

Qualora i server della CDN (pubblica o privata) vengano installati presso i Point of Presence (PoP) degli ISP, che segnano il confine tra la rete core e la rete di accesso, essi vengono denominati i *server edge*, locati cioè nel punto più prossimo all'utente. Le CDN, inoltre, possono contribuire a ridurre, per i siti web, i rischi derivanti dagli accessi fraudolenti o dagli attacchi del tipo DDoS (Distributed Denial of Service).

In definitiva le CDN contribuiscono al funzionamento ottimale della rete Internet aiutando a risolvere le sfide più impegnative generate dalla distribuzione dei contenuti sulla rete Internet che, sviluppata in origine in maniera «anarchica», non era stata pensata per gestire enormi quantità di richieste contestuali allo stesso contenuto. Si è stimato che oltre il 70%¹⁷ del traffico complessivo di Internet a livello globale entro il 2022 transiterà sulle reti CDN. Per questi motivi le CDN sono diventate sempre più strategiche nella fornitura di servizi Internet in generale e di servizi di video streaming nella fattispecie garantendo, attraverso la capillarità dei server e la ridotta distanza dal cliente, una esperienza di visione ottimizzata per i servizi in streaming, in particolare quelli live.

¹⁷ Cisco Annual Internet Report 2017-2022, 2019.

5. *La Tv in streaming: architettura di rete, protocolli Unicast e Multicast, «Codec»*
- 5.1. *Descrizione delle architetture di rete per lo streaming: soggetti coinvolti, interconnessione, flusso del traffico in rete*

Passiamo ora a descrivere l'infrastruttura tipica di un fornitore di servizi in streaming. Come noto, i servizi video hanno cominciato a diffondersi massivamente nel decennio 2010-2020 offrendo in particolare contenuti di *library* accessibili on demand. Ci riferiamo in particolare agli OTT che rendono disponibili film e serie Tv: Netflix è stato tra i precursori ed è il più famoso a livello mondiale, ma nel corso degli anni successivi numerosi sono stati i concorrenti affacciatisi sul mercato mondiale e in Italia: Prime Video, Disney+, AppleTV, Chili, Mubi, ecc.

Come noto, l'accesso ai servizi di Tv in streaming ha avuto un'impennata durante la pandemia da Covid-19 e il confinamento in casa dei cittadini. Nel 2021, a livello mondiale il numero degli utenti di servizi OTT ha superato i 3 miliardi mentre gli abbonati ai servizi OTT a pagamento hanno raggiunto nello stesso anno 1,2 miliardi¹⁸. Il traffico Internet corrispondente si stima sia cresciuto di oltre il 47% nel periodo 2017-2022¹⁹.

Nel corso degli ultimi anni è emerso l'utilizzo dello streaming anche per la fornitura di contenuti live in tempo reale quali ad esempio eventi sportivi o musicali. In Italia il precursore è stato Dazn che già nella stagione calcistica 2018-2019 aveva acquisito i diritti di trasmissione su Internet in live di tre partite di Serie A Tim per ogni giornata per i successivi tre anni. Nel marzo 2021, a seguito dell'assegnazione della Lega Calcio di Serie A Tim, Dazn ha acquisito i diritti per la trasmissione di 10 partite a giornata dell'intero campionato, con l'esclusiva di 7 incontri.

¹⁸ www.statista.com/topics/7527/video-streaming-worldwide/#dossierKeyfigures, consultato il 1° settembre 2022.

¹⁹ *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022, 2019.*

In questa breve introduzione dei servizi OTT di video streaming è utile anche citare le iniziative su Internet dei *broadcaster* televisivi. In Italia il servizio più noto è RaiPlay che, oltre a mettere a disposizione on demand buona parte della sterminata *library* dell'operatore di servizio pubblico, offre la visione in diretta via streaming dei canali in Tv lineare di Rai, con la possibilità di rivedere dal principio un programma già iniziato e quelli trasmessi durante la settimana precedente (*catch-up Tv*). Servizi analoghi sono disponibili in Italia dal principale concorrente di Rai attraverso la piattaforma Mediaset Infinity mentre a livello internazionale si cita il servizio Bbc iPlayer, fra i più noti servizi di Tv lineare in streaming a livello europeo.

Prima di passare a esaminare in dettaglio l'infrastruttura degli OTT fornitori di servizi di video streaming, appare utile descrivere il differente impatto che può avere sulla rete l'accesso di una notevole quantità di utenti alle tre differenti tipologie sopra descritte: streaming on demand, live streaming e streaming della Tv lineare.

Nel caso dello streaming di video on demand, i contenuti video sono preparati prima della messa a disposizione dei clienti e pre-distribuiti sulle reti CDN al servizio dell'OTT, commerciali o proprietarie. I clienti accedono alle *library* on demand in maniera indipendente e non contemporaneamente ai diversi contenuti video, diminuendo la probabilità di congestione per la ridotta probabilità di accesso contestuale al medesimo contenuto che si potrebbe verificare solo in casi limitati, ad esempio per l'uscita sulla piattaforma di un nuovo prodotto video molto pubblicizzato e atteso. Inoltre, attraverso le applicazioni e la memoria locale dei dispositivi, eventuali problemi di latenza possono essere mitigati non richiedendo, in generale, una visione in tempo reale.

Nel caso di eventi live streaming la situazione è completamente diversa: l'operatore deve «preparare» il contenuto in tempo reale durante lo svolgimento dell'evento e distribuirlo a centinaia di migliaia se non milioni di utenti che cercano di accedere contemporaneamente, aumentando il rischio di congestione della rete Internet e dei server di distribuzione dell'evento. La latenza deve essere inoltre tenuta strettamente

sotto controllo per evitare fenomeni di ritardo che possano influire anche significativamente sull'esperienza di visione dell'evento: paradigmatico è il caso del goal che in streaming viene visto con alcuni secondi o decine di secondi di ritardo rispetto alla distribuzione *broadcast*.

La Tv lineare in streaming si pone in una situazione mediana, dal punto di vista dell'impatto sulla rete, rispetto alle altre due tipologie nel caso di canali a basse audience. In quest'ultimo caso, l'accesso ai canali di Tv lineare avviene – come per l'on demand – in maniera indipendente anche se è continuativo nel tempo per la diffusione di contenuti 7/24. Diverso è il caso di canali ad alta audience e in particolari momenti o eventi (news, Festival di Sanremo) dove si verificano situazioni simili a quelle del live streaming.

Appare, da queste brevi considerazioni, che lo streaming on demand, può sollecitare la rete in misura ridotta rispetto al live streaming ed effettivamente il fenomeno delle c.d. «bombe di traffico» si verifica particolarmente – come vedremo nel seguito – nel caso di eventi live quali le partite di calcio.

Occorre tuttavia considerare un ulteriore aspetto, ossia il protocollo di trasmissione e diffusione dei pacchetti dati contenenti il contenuto video che, opportunamente scelto, potrebbe diminuire il carico sulla rete per gli eventi live. Ci si riferisce in particolare alle modalità di comunicazione «Multicast», contrapposta a quella comunemente usata sulla rete e denominata «Unicast». Come vedremo meglio in seguito, nella comunicazione Unicast i pacchetti sono scambiati tra una sorgente e un'unica destinazione, un dispositivo video nel caso in questione. Qualora più dispositivi richiedano contestualmente l'accesso al medesimo contenuto, la sorgente deve moltiplicare l'insieme di pacchetti per ciascun dispositivo, aumentando proporzionalmente al numero degli utenti/dispositivi il carico sulla rete. Nella comunicazione Multicast la sorgente di traffico è in grado di inviare una sola serie di pacchetti relativi allo stesso evento contemporaneamente a un gruppo di terminali riceventi, riducendo quindi la moltiplicazione della stessa informazione trasmessa sulla rete.

Lo streaming on demand e la Tv lineare in streaming rivolta a un numero contenuto di utenti debbono necessariamente utilizzare la modalità Unicast, in quanto si deve creare una differente sessione di comunicazione tra il server sul quale risiede l'evento da trasmettere e ogni singolo terminale ricevente: ogni utente infatti vede un contenuto in maniera indipendente dagli altri e quindi il flusso dei pacchetti che trasporta il contenuto prescelto è differente per ciascun utente ed è diretto solo a un utente.

Nel caso di eventi live e di canali lineari ad alta audience i pacchetti diffusi sulla rete sono gli stessi per una pluralità di utenti per i quali non sarebbe, in via teorica, necessario replicare i pacchetti per ogni utente. La sorgente di traffico, cioè il server (o i server) da cui viene originato l'evento live crea un'unica sessione di comunicazione per tutti gli utenti connessi, indipendentemente dal loro numero. I pacchetti vengono duplicati solo nel momento in cui l'albero di rete (o albero Multicast) disgiunge i terminali stessi, come ad esempio nell'ultimo miglio nel punto (PoP - Point of Presence) di attestazione dei clienti. Si tornerà più avanti con una descrizione più dettagliata delle modalità Unicast e Multicast.

5.2. Descrizione di un'infrastruttura OTT per il live streaming

In precedenza, quando sono state illustrate le reti CDN, si è descritto come la distribuzione di un contenuto video live generato da un OTT da parte di un solo server risulti non ottimale sia per problemi legati alla latenza per gli utenti che non sono fisicamente collocati in prossimità del server, sia per problemi di congestione, qualora un grande numero di utenti decida di accedere all'evento contemporaneamente. Si è anche mostrato come l'utilizzo di una infrastruttura CDN con server localizzati il più possibile vicino agli utenti e, in un'ottica di bilanciamento dei costi, anche presso gli IXP, possa contribuire ad affrontare e risolvere i problemi derivanti dalla diffusione in streaming di eventi live con alta audience, come i singoli match del campionato di calcio.

Tuttavia la rete CDN deve essere opportunamente dimensionata e i suoi server attestati in maniera congrua rispetto alle richieste degli utenti. Nel 2018, quando Dazn acquisì l'esclusiva per la diffusione di tre gare della giornata calcistica del campionato di Serie A Tim, probabilmente la sua infrastruttura non era adeguata. Non ci sono notizie certe al riguardo, ma le proteste degli utenti sulla QoE (Quality of Experience) nella visione dei match sono pubbliche. I ritardi nella trasmissione raggiungevano anche le decine di secondi, con senso di straniamento di chi assisteva al match via Dazn e sentiva in largo anticipo le esultanze dei tifosi provenienti dallo stesso evento trasmesso in *broadcast*. Inoltre, in situazioni particolari, nello specifico quando ad esempio veniva assegnato un rigore o dopo un gol, l'aumento istantaneo del numero di accessi provocava spesso fenomeni di congestione che bloccavano la visione del match con *buffering* (la famosa rotella) che poteva risolversi anche dopo parecchio tempo.

Per questi motivi, quando nel mese di marzo 2021 la Lega Calcio italiana ha assegnato l'esclusiva della trasmissione di tutto il campionato della massima divisione a Dazn in live streaming, in associazione con Tim per tre stagioni, a partire da quella 2021-2022, la quasi totalità degli operatori di comunicazioni elettroniche, gli ISP e le associazioni dei consumatori si sono rivolte agli enti preposti, in particolare all'Agcom, per richiedere che l'OTT ponesse in essere quanto necessario sotto il profilo tecnico per evitare il ripetersi dei disservizi emersi nelle prime stagioni, dal 2018 al 2021. In questo caso, infatti, la complessità aumentava di livello in quanto si passava dalle tre partite in esclusiva in ogni giornata calcistica a sette, con numerosi utenti di Sky che, considerata la nuova situazione, avrebbero abbandonato la piattaforma satellitare (come poi verificatosi) per pagare un solo abbonamento (peraltro a un costo promozionale per il primo anno) per vedere l'intero campionato in live streaming.

L'istruttoria del Garante è stata piuttosto rapida e già il 24 giugno 2021 è stato pubblicato un atto di indirizzo²⁰

²⁰ Delibera n. 206/21/CONS: «Atto di indirizzo per il corretto dimensionamento e la dislocazione geografica della rete di distribuzione

che richiedeva a Dazn di adeguare la propria infrastruttura in vista dell'avvio ad agosto del campionato del 2021-2022.

Sul piano formale il provvedimento non rappresentava una decisione vincolante non essendo Dazn, in qualità di soggetto non autorizzato in Italia, regolato dall'Agcom. L'atto di indirizzo ha rappresentato una sorta di *moral suasion* finalizzata a orientare i comportamenti di un soggetto non regolato la cui offerta può impattare, e non poco, sulle infrastrutture di rete degli operatori e in ultima analisi sulla qualità del servizio finale offerto agli utenti i cui diritti, in qualità di sottoscrittori paganti il servizio, dovevano comunque trovare tutela.

Nel dettaglio, il provvedimento ha sollecitato Dazn a adeguare la propria infrastruttura entro la data di partenza del campionato (22 agosto 2021) richiedendo all'OTT e agli operatori diversi da Tim di «concordare una modalità tecnico/operativa di distribuzione del traffico all'interno della loro rete che sia definita e ragionevolmente stabile nel tempo, inclusa una modalità di gestione di eventuali fault e malfunzionamenti».

Il provvedimento inoltre invitava Dazn a:

realizzare, nella rete di ogni operatore con copertura nazionale di media dimensione (dell'ordine del 15% della quota di mercato broadband), una modalità di distribuzione del traffico facendo ricorso ad apparati di caching (la c.d. «Dazn Edge») installati in un numero adeguato di punti distinti geograficamente che gestiscono una congrua quota del traffico complessivo del servizio.

Infine, il Garante ha richiesto a Dazn di:

collaborare con gli operatori alla realizzazione di soluzioni tecniche con un orizzonte temporale di medio/lungo periodo anche a livello di protocolli di trasporto che consentano la trasmissione dei contenuti richiesti verso i destinatari del servizio evitando duplicazioni dell'informazione (es. Multicast).

(CDN) delle partite di calcio di Serie A TIM per le stagioni 2021-2024 *in live streaming*».

Si evidenzia come il provvedimento abbia riguardato primariamente l'infrastruttura di Dazn e le relazioni tecniche di quest'ultimo con gli operatori differenti da Tim. Infatti, in virtù dell'accordo sottoscritto tra Dazn e Tim, che ha anche contribuito finanziariamente all'aggiudicazione della gara, gli utenti attestati direttamente alla rete Tim erano serviti con livelli di qualità *managed* – cioè garantita – e, nel caso di attestazione su rete FTTx, anche in modalità Multicast, permettendo in tal modo di ridurre il carico sulla rete Tim. Il provvedimento, quindi, non prevedeva adeguamenti della rete Tim ritenendo che i clienti della stessa non fossero impattati da problematiche di qualità nella visione delle partite.

Per quanto riguarda la richiesta di installazione di nodi «Dazn Edge» presso i principali operatori di rete, si fa notare che tale previsione si affiancava a quanto già dichiarato da Dazn, ossia di aver previsto l'uso di servizi di CDN di primari operatori commerciali in modalità ridondata e in grado di bilanciare il traffico verso ciascun ISP in presenza di guasti e malfunzionamenti. Relativamente ai nodi Dazn Edge²¹, essi sono stati installati, configurati e gestiti da Dazn che ha utilizzato collegamenti dedicati per la connessione e l'aggiornamento dei server alla propria rete, in maniera da non generare congestioni sulla rete *backbone* dell'operatore. Quest'ultimo doveva provvedere a mettere a disposizione la locazione di installazione dei server e a connettere gli stessi alla propria rete.

Infine, giova segnalare, relativamente agli indirizzi forniti da Agcom nel proprio provvedimento, che il Garante ha sollecitato Dazn e gli operatori a collaborare per concordare, nel medio/lungo termine, soluzioni tecniche che consentissero la riduzione del carico sulla rete evitando, quando

²¹ I nodi della Dazn Edge sono più propriamente dei Caching server, piuttosto che nodi di una rete CDN. A differenza di questi ultimi, infatti, i nodi di *caching* sono in grado di memorizzare temporaneamente un sottoinsieme del contenuto streaming, nella fattispecie l'evento – il match calcistico – che si svolge al momento. La memorizzazione e l'accesso avvengono ad alta velocità, normalmente con dispositivi a stato solido, per ridurre la latenza.

possibile, duplicazioni della trasmissione di pacchetti, con riferimento in particolare all'introduzione del Multicast. Su questo tema, sul quale si tornerà nel dettaglio nel seguito, si erano soffermati gli operatori alternativi che rilevavano che il Multicast doveva necessariamente essere abilitato dal *content provider* (Dazn) e che il servizio Multicast veniva offerto da Tim solo per gli accessi NGA del tipo *bitstream* mentre per il VULA (di gran lunga il prodotto di accesso *wholesale* più utilizzato dagli operatori per la realizzazione delle proprie offerte retail su FTTC o FTTH) non era stato reso disponibile. Si fa presente che, nel corso del procedimento che ha portato all'approvazione dell'atto di indirizzo, Tim ha affermato che buona parte dei propri clienti (principalmente quelli di rete fissa in tecnologia FTTx) usufruivano della modalità Multicast mentre i restanti clienti di rete fissa e mobile venivano serviti in modalità Unicast confermando, inoltre, che il Multicast poteva essere disponibile per i soli clienti degli operatori alternativi serviti con il *bitstream* NGA.

Tutti i soggetti interessati concordavano sul fatto che l'implementazione del protocollo Multicast richiedesse la stretta collaborazione tra Dazn, Tim e operatori concorrenti per lo sviluppo della soluzione tecnologica più avanzata.

A tale riguardo si segnala l'avvio, in data 24 maggio 2022, di un tavolo tecnico condotto da Agcom per l'implementazione del Multicast in ambito VULA, in seguito all'approvazione dell'offerta di riferimento 2021 del servizio VULA di Tim disposta con la delibera n. 80/22/CIR.

Passiamo ora ad approfondire alcuni aspetti dell'infrastruttura di Dazn per la distribuzione via Internet in live streaming del campionato di Serie A Tim.

Si è già detto che, con l'assegnazione a Dazn dei diritti di tutta la Serie A per i campionati 2021-2024, la situazione si è ribaltata rispetto al triennio 2018-2021. In pratica da tre partite in esclusiva si è passati a sette partite distribuite esclusivamente via live streaming. Per tali motivi e sulla scorta delle richieste provenienti dagli operatori di accesso e dai fornitori di servizi Internet, il Garante ha richiesto a Dazn il consolidamento della propria rete in particolare con

l'installazione, presso un certo numero di operatori individuati sulla base delle quote di mercato, di server di *caching*, denominati Dazn Edge, direttamente collegati ai server di origine di Dazn che servivano i clienti dell'operatore, non contribuendo a eventuali congestioni della rete *backbone* e allo stesso tempo riducendo la distanza fisica – e quindi la latenza – tra l'invio del contenuto e il cliente.

All'inizio del campionato 2021-2022, Dazn ha quindi provveduto a installare i server di *caching* presso gli operatori di rete individuati secondo le Linee guida dell'Agcom.

Inoltre Dazn ha provveduto a consolidare la rete di Global CDN incaricate di distribuire i contenuti live insieme alle Dazn Edge, realizzando una soluzione basata su sei differenti provider di Global CDN in grado di incrementare significativamente – sino a tre volte – la capacità di banda²².

La rete di distribuzione di Dazn può quindi definirsi di tipo «ibrido» in quanto utilizza la propria CDN (Dazn Edge) insieme alle sei Global CDN. La Dazn Edge prevede server di *caching* installati in un certo numero di PoP dei principali operatori di accesso secondo i criteri stabiliti dall'Agcom nel proprio atto di indirizzo. I restanti operatori ricevono il traffico consegnato dalla Global CDN di origine di Dazn esclusivamente attraverso le Global CDN commerciali attestate nei punti di interscambio (IXP) nazionali NAMEX e MIX. Si stima che la quantità di traffico scambiata attraverso gli IXP corrisponda a una frazione ridotta del traffico che viene distribuito con la Dazn Edge. In sostanza, si tratta del traffico verso gli operatori più piccoli che non possono sostenere, per ragioni di efficienza economica, l'interconnessione diretta alla Dazn Edge o alle CDN delle principali piattaforme.

Considerato che i principali operatori sono anche connessi agli IXP, in taluni casi, anche una parte del traffico che potrebbe transitare attraverso la Dazn Edge viene consegnata a questi operatori attraverso gli IXP. La ripartizione del traffico tra la Dazn Edge e gli IXP viene stabilita da Dazn evento per evento sulla base di proprie previsioni di traffico. Le Global CDN, insieme agli IXP, rappresentano

²² Dichiarazione di Dazn, delibera n. 206/21/CONS.

inoltre per gli operatori più grandi un significativo elemento di affidabilità e resilienza. Qualora si dovessero verificare dei problemi sulle Dazn Edge oppure fosse raggiunta la massima capacità supportata, le Global CDN presenti negli IXP possono agire da ulteriore punto di backup e ridondanza geografica nella distribuzione del contenuto.

Gli operatori interconnessi direttamente a Telecom (VULA, ecc.) ricevono invece il traffico direttamente dall'operatore anche se interconnessi direttamente all'IXP. Ciò deriva da una scelta di politica commerciale legata all'accordo tra Tim e alcune CDN.

Gli adeguamenti realizzati da Dazn per il campionato di calcio 2021-2022 hanno fatto sì che il sistema funzionasse, anche se con alcuni disservizi verificatisi nelle prime giornate²³, a fronte delle vere e proprie «bombe di traffico», ossia incrementi di traffico non lineari, che si sono generati in occasione degli eventi del campionato più importanti. La situazione è comunque stata mitigata dal fatto che le partite non sono state trasmesse in contemporanea, e nei rari casi in cui è successo, non erano previsti incontri di significativa rilevanza.

In merito alla latenza, ossia al ritardo con il quale il contenuto video di Dazn arriva sullo schermo del cliente, si evidenzia che la ripresa dell'evento viene consegnata a Dazn dal produttore (EI Tower) come flusso HD non codificato. Dazn deve fare le operazioni di post-produzione e quindi comprimere per preparare il segnale da distribuire attraverso la Global CDN dell'OTT sulle Dazn Edge e sulle Global CDN. L'intera filiera è pertanto complessa, agendo Dazn come orchestratore, e questo contribuisce ad allungare i tempi di latenza.

Per quanto riguarda gli incrementi di traffico dovuti alla trasmissione del campionato di calcio, una recente ricerca²⁴

²³ Audizione alla Commissione IX della Camera dei deputati del presidente di Agcom Giacomo Lasorella sulle questioni regolatorie relative alla trasmissione del campionato di calcio sulla piattaforma Dazn, 15 settembre 2021.

²⁴ F. Luciani, «*The elephant effect*» *considerazioni sul fenomeno del calcio in streaming in Italia e il punto di vista degli operatori*, pubblicato sul sito namex.it il 28 luglio 2021: www.namex.it/the-elephant-effect

di NAMEX, uno dei due più importanti IXP d'Italia basato a Roma, svolta intervistando oltre 70 operatori nazionali di tutte le dimensioni (di cui il 10% con dimensioni superiori a 50 mila utenti) ha mostrato che mediamente l'incremento in tali circostanze è significativo per gli ISP piccoli e medio-piccoli, il cui 40% ha dichiarato che il traffico raddoppia o più che raddoppia. Si sono registrati alcuni fenomeni di congestione in quanto al normale traffico dovuto allo smart working, ad esempio, si è aggiunto quello delle partite (essenzialmente gli incontri delle 18:00 infrasettimanali) e al normale traffico di intrattenimento serale si è aggiunto quello delle partite delle 20:45. Gli operatori più grandi hanno rilevato invece un incremento di traffico durante le partite di circa il 30%. I principali problemi si sono riscontrati quando una partita di cartello veniva giocata durante il weekend e il traffico live streaming si aggiungeva a quello già presente per i servizi di intrattenimento on demand.

La ricerca di NAMEX prima richiamata affronta inoltre il tema della sostenibilità degli investimenti da effettuare per gli adeguamenti tecnici finalizzati a supportare gli incrementi di traffico legati al live streaming. Gli operatori piccoli e medio piccoli, pur ritenendo che:

il fenomeno rappresenta una opportunità dal punto di vista tecnologico in quanto gli adeguamenti infrastrutturali realizzati in pochissimo tempo hanno accelerato il processo di aggiornamento della rete, aggiornamento comunque avviato già all'inizio del 2020 per via della pandemia.

Inoltre gli operatori, in buona parte, sostengono che:

a seguito dell'aumento del carico sulla rete, si adeguano le infrastrutture ma di contro non aumenta il numero di clienti o quantomeno non proporzionalmente al carico stesso, con uno sbilanciamento che potrà appianarsi via via nel tempo solo con la migrazione di ulteriori servizi live sulla rete Internet. E forse a questo punto gli operatori avranno una rete più che pronta

[considerazioni-sul-fenomeno-del-calcio-in-streaming-in-italia-e-il-punto-di-vista-degli-operatori/](#).

rientrando così degli investimenti fatti, che ad oggi sembrerebbero essere non molto sostenibili.

Anche gli operatori più grandi hanno ritenuto «che gli investimenti siano poco sostenibili e hanno riguardato in primis gli adeguamenti delle capacità sul *backbone* e sull'accesso, ma anche aumenti delle risorse hardware della rete».

Sotto il profilo strettamente economico, i maggiori ISP hanno sottolineato che:

la necessità di un co-investimento da parte degli OTT oppure un modello di revenue sharing, dato che le revenue per cliente sono in diminuzione costante da anni, sia su rete fissa che su rete mobile, mentre il traffico è costantemente in aumento.

Infine, la ricerca ha analizzato anche il ruolo giocato dagli IXP nell'assicurare il buon funzionamento del sistema con l'irrompere di Dazn e l'introduzione del live streaming per la distribuzione delle partite di Serie A Tim.

Per quanto riguarda gli ISP piccoli e medio piccoli, è stato rilevato che la maggior parte del carico aggiuntivo dovuto allo streaming delle partite di calcio è transitato attraverso gli Internet Exchange Point, dove per lo più sono presenti le Content Delivery Networks che, si ricorda, si occupano della distribuzione del contenuto Dazn soprattutto verso i piccoli e medi Internet Service Providers (ISP). Quindi c'è da immaginare che gli IXP rappresentino un vantaggio per la rete dell'operatore.

Per gli operatori più grandi, come già detto, gli IXP rappresentano una soluzione di backup in grado di scambiare traffico legato agli eventi calcistici in caso di guasti o congestioni di traffico dei server utilizzati dalla Dazn Edge.

5.3. I protocolli *Unicast* e *Multicast*

Nei paragrafi precedenti è stato anticipato che il protocollo *Multicast* potrebbe rappresentare uno dei fattori abilitanti per consentire la sempre maggiore diffusione del

live streaming degli eventi in generale e del calcio in particolare. Il protocollo infatti consente di ridurre il carico sulla rete, in particolare quella di *backbone*, limitando la moltiplicazione del traffico sulla rete nei casi in cui eventi come il calcio di Serie A Tim venga contemporaneamente visto da un grande numero di clienti.

Tuttavia, l'implementazione del Multicast nella rete si configura come un processo complesso e ne è la riprova il fatto che tutti i soggetti coinvolti nell'introduzione del live streaming nel campionato di calcio, l'Agcom, l'Agcm, gli operatori e gli ISP abbiano condiviso che la completa introduzione del protocollo e la sua implementazione a tutti i livelli potrà richiedere un significativo periodo di tempo.

La filiera del calcio live su Internet è infatti complessa e include diversi soggetti, l'OTT Dazn, le CDN, i grandi operatori di rete, gli IXP, le reti di accesso e quelle dei fornitori Internet e le reti locali nelle case degli utenti, ossia la rete cablata, ove presente, o le reti wi-fi. Infine, ma non meno importanti – anzi – le applicazioni utilizzate nei vari dispositivi (Pc, smartphone, tablet, smart Tv, STB) per la visualizzazione dei contenuti. Pertanto, l'efficace implementazione del Multicast nella rete richiede che tutti i componenti della filiera del live streaming siano in grado di gestire correttamente il protocollo.

Passiamo quindi a descrivere nel dettaglio il Multicast, i suoi principali aspetti tecnici, i problemi e le limitazioni derivanti dalla sua utilizzazione in rete per il live streaming.

Indipendentemente dal tipo di servizio (accesso web, Tv in streaming, posta elettronica) la trasmissione di pacchetti di dati relativi a uno specifico servizio tra due nodi (intermedi o terminali) della rete Internet è gestita da differenti protocolli di trasporto (livello 3 dello schema OSI)²⁵. In

²⁵ Il modello OSI (Open Systems Interconnection) è uno standard dell'International Organization for Standardization (ISO), il principale ente di standardizzazione internazionale, per la definizione di un modello di riferimento a formato aperto per l'interconnessione di sistemi di computer. Tale modello stabilisce per l'architettura logica di rete, ovvero per le funzioni di comunicazione delle telecomunicazioni o di sistemi informatici, una struttura a strati composta da una pila di protocolli di

via generale, su una rete IP, quindi anche su rete Internet, sono possibili tre specifiche modalità di distribuzione dei pacchetti tra quelle indicate nel seguito:

- nella comunicazione *Unicast*, i pacchetti sono scambiati tra *una* sorgente e *una* destinazione;
- nella comunicazione *Multicast* la comunicazione avviene tra *una* sorgente e *un gruppo* di ricevitori;
- nella comunicazione *Broadcast* la sorgente di traffico invia i pacchetti a *tutti* i terminali riceventi.

Nella comunicazione *Unicast* quindi si crea una sessione di comunicazione tra la sorgente di traffico (ad es. il server sul quale risiede l'evento da trasmettere) e un singolo terminale ricevente. La trasmissione dei singoli pacchetti relativi a un evento in live streaming viene quindi replicata dalla sorgente per un numero di volte pari al numero di terminali contemporaneamente collegati all'evento stesso. Con riferimento alla figura 4.6, nel caso di un evento in live streaming, il server video trasmette a velocità – ad esempio – di 6 Mbit/s²⁶. Se tutti i terminali riceventi (H1-H4) fossero collegati in modalità *Unicast*, il flusso di dati tra il server video e il primo nodo di rete risulterebbe pari a 24 Mbit/s mentre il flusso di dati nella sottorete di destra sarebbe pari a 12 Mbit/s. Considerato che, nel caso di live streaming, milioni di utenti potrebbero richiedere il collegamento contemporaneamente, si potrebbe verificare la congestione della rete in quanto il flusso di dati su ciascun ramo della rete potrebbe superare le decine di Gbit/s ed eccedere le capacità di trasporto e gestione della rete stessa.

Tale problema può essere superato utilizzando il protocollo di comunicazione *Multicast*. Come si vede dalla figura 4.7, in questo caso il video server sorgente attiva una sola

comunicazione di rete suddivisa in 7 livelli, i quali insieme eseguono tutte le funzionalità della rete, seguendo un modello logico-gerarchico. A livello implementativo lo standard *de facto* affermatosi per architetture di rete a livelli è il TCP/IP.

²⁶ La velocità di trasmissione richiesta da un singolo evento dipende da molti fattori, tra cui l'effettivo contenuto video, lo standard di compressione utilizzato, la dimensione dello schermo di visione, ecc.

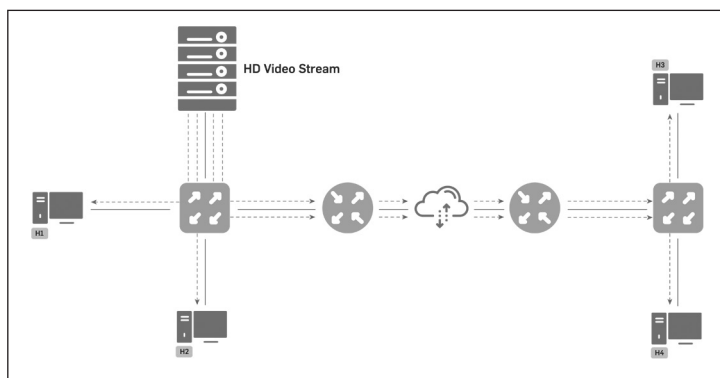


FIG. 4.6. Trasmissione con la modalità Unicast.

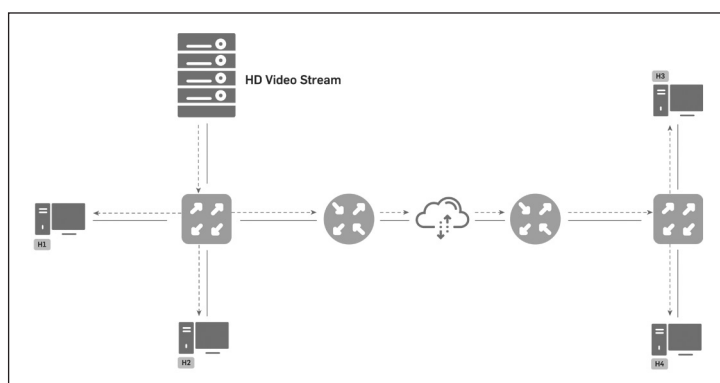


FIG. 4.7. Trasmissione con la modalità Multicast.

connessione dati (e quindi una sola trasmissione di pacchetti), indipendentemente dal numero di terminali riceventi (anche in questo caso 4). Si vede facilmente come la trasmissione in modalità Multicast risulti molto più efficiente della modalità Unicast. Infatti, il server video invia i pacchetti relativi all'evento solamente una volta, indipendentemente dal numero di utenti connessi. Anche i nodi di rete (*switch* e *router*) attraversati inoltrano una sola copia dei pacchetti agli utenti

interessati. Il carico di lavoro del server e il traffico sulla rete sono di conseguenza ridotti.

Il Multicast impiegato nella trasmissione video di contenuti lineari o live viene implementato congiuntamente a protocolli di livello applicativo come ad esempio l'RTP/RTCP, che devono essere supportati dal dispositivo finale e dalla sorgente video, e che consentono di conoscere il numero esatto di dispositivi connessi all'evento, superando un limite fondamentale della pubblicità televisiva, ovvero, quello dell'incertezza sul numero di visualizzazioni. Questo è uno degli aspetti che ha spinto molte aziende a investire nella pubblicità online, in quanto consente un conteggio preciso del numero di visualizzazioni, a differenza di quanto avviene oggi nelle rilevazioni delle audience tradizionali in cui viene adottato un approccio statistico. Ove questa funzionalità fosse disponibile anche per la pubblicità di tutti i canali lineari tradizionali, certamente il comparto ne beneficerebbe perché si avrebbe maggior qualità nella reportistica per le aziende che investono in pubblicità.

Inoltre, è importante evidenziare che la disponibilità di uno standard Multicast utilizzato da tutti gli OTT e dagli operatori di rete consentirebbe la realizzazione di una applicazione comune a tutti i servizi Tv in streaming, con particolare riferimento ai servizi di Tv lineare in chiaro. La creazione di una tale applicazione (denominata nel seguito anche SuperAPP) favorirebbe la visualizzazione dei canali Tv tradizionali anche sui dispositivi portatili, come smartphone e tablet, che spesso vengono preferiti alla Tv, anche in casa, proprio perché in alcune circostanze risultano più pratici ed ergonomici. Questa applicazione solleverebbe l'utente che attualmente accede in streaming ai canali della Tv lineare – quando disponibili – dalla necessità (e scomodità) di entrare e uscire dalle app dei differenti operatori quando vuole cambiare «canale». Sotto questo profilo, la SuperAPP svolgerebbe le stesse funzioni delle procedure di sintonizzazione di una Tv tradizionale, quando ogni canale o programma viene associato a una posizione della numerazione automatica dei canali LCN (Logical Channel Number). La *user experience* della SuperAPP corrisponderebbe quindi a

quella dell'uso del telecomando della Tv che consente rapidamente di cambiare canale sul DTT indipendentemente dal *broadcaster* e dal MUX che trasporta il canale stesso. Evidentemente una tale applicazione richiede che tutti i programmi di interesse generale della Tv lineare sul digitale terrestre vengano resi disponibili alla SuperAPP sulla rete Internet, in modalità Multicast, attraverso un link diretto senza l'intermediazione delle app predisposte da ciascun operatore. In pratica si dovrebbe costituire un registro dei link ai canali di Tv lineare di interesse generale a disposizione su Internet utilizzata dalla SuperAPP per accedere ai canali consentendo all'utente un cambio di canale più agevole e veloce. In tal modo la SuperAPP potrebbe anticipare l'introduzione dello standard DVB-I (vedi cap. 5, par. 2.2), limitandosi, evidentemente alla sola programmazione disponibile su Internet. Addirittura la SuperAPP potrebbe in qualche misura sostituire il DVB-I nei televisori sui quali non sarà possibile installare il nuovo standard.

Le considerazioni sopra esposte valgono ovviamente solo per il live streaming, ossia per la televisione lineare e gli eventi. Nel caso di video on demand ogni utente attiva dal proprio terminale una connessione per vedere, in linea di principio, uno specifico contenuto diverso da quello degli altri utenti. Di conseguenza, in questo caso la trasmissione non può che essere in modalità Unicast. Tuttavia, data la non contemporaneità di accesso alla rete e i requisiti meno stringenti in termini di tempo di ritardo dei pacchetti, nel caso di video on demand la probabilità di congestione della rete è molto minore del live streaming, per il quale la contemporaneità di accesso al medesimo contenuto da parte di una pluralità di utenti rappresenta un requisito molto stringente.

La maggiore efficienza offerta dalla connessione Multicast consentirebbe quindi agli operatori di limitare il traffico nella core network, riducendo i costi dovuti all'incremento di capacità trasmissiva delle varie tratte, in particolare, per la rete *backbone* e per la porzione della rete di accesso primaria. Va però osservato che la maggioranza delle reti degli operatori non sono ad oggi configurate per il Multicast, questo perché

sinora non sono in uso applicazioni o servizi che ne facciano un uso tale da giustificare lo sforzo di riconfigurazione della rete, un impegno di risorse che invece sarebbero ampiamente giustificate ove i canali tradizionali lineari fossero trasmessi alle famiglie anche tramite connettività IP via Multicast e ricevuti attraverso la SuperAPP prima descritta. È necessario infatti che in ogni nodo della rete (router e *switch*) siano configurati specifici protocolli di gestione del traffico Multicast quali ad esempio l'Internet Group Management Protocol IGMP²⁷, l'IGMP *snooping* e almeno un protocollo di istradamento Multicast²⁸, quest'ultimo necessario per gestire appropriatamente il traffico con questa modalità di trasmissione. Questi e altri protocolli devono essere presenti in tutti i nodi di rete di uno specifico Autonomous Systems (AS, tipicamente un ISP), che vengono attraversati dal traffico e che lo originano o ricevono, quindi anche il modem/router dell'abitazione e il *device*/terminale impiegato per la visualizzazione da parte dell'utente.

La configurazione in rete del Multicast richiede l'utilizzazione di uno specifico range di indirizzi IP, la classe D (da 224.0.0.0 a 239.255.255.255) che possono essere utilizzati solo come indirizzi di destinazione. Si osservi che questo comporta un'eccezione particolare che tipicamente non si ha in ambito Unicast. Infatti, in ambito Unicast un indirizzo IP corrisponde a uno e un solo apparato di rete appartenente a un AS. In ambito Multicast invece, l'indirizzo, detto anche «gruppo», corrisponde a più nodi di rete anche su AS diversi. Questo può comportare che AS diversi debbano comunicare con protocolli standard, che al momento non sono configurati nei *border* router come il Protocol Independent Multicast (PIM) e/o il Multicast BGP, per stabilire il punto migliore e le modalità per

²⁷ Il protocollo IGMP gestisce la comunicazione tra i router che segnalano di richiedere traffico Multicast. Il protocollo IGMP *snooping* gestisce le informazioni verso gli *switch* per conoscere dove inoltrare il traffico Multicast.

²⁸ Ad esempio: DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol), MOSPF (Multicast Open Shortest Path First), PIM (Protocol Independent Multicast).

scambiarsi, ma anche per distribuire, il traffico Multicast. L'unico indirizzo IP di trasmissione apparterrà al server che origina il traffico.

In tal senso, l'albero Multicast individua il gruppo di terminali che hanno richiesto di accedere all'evento e che vengono indirizzati attraverso l'unico indirizzo IP rappresentativo dell'evento trasmesso in Multicast.

Da ultimo, ma non per importanza, è necessario che le applicazioni di visualizzazione del contenuto e i terminali su cui sono installate supportino il Multicast. Solo così il terminale potrà divenire un nodo di terminazione dell'albero Multicast. Gli utenti poi nell'operazione di cambio canale o evento potranno beneficiare di una rapidità crescente tanto maggiore sarà la loro prossimità all'albero Multicast. La disponibilità sui terminali rappresenta probabilmente la sfida principale del Multicast, in quanto tutti i dispositivi di visualizzazione (televisioni, Set Top Box (STB), tablet, Pc, ecc.) dovrebbero supportare tale funzionalità con modalità standard. Ciò non avviene principalmente per i seguenti due fattori:

- il primo è relativo al fatto che il Multicast è un protocollo di distribuzione del traffico che può essere implementato in vari modi. Ad oggi non esiste uno standard Multicast implementato diffusamente sui terminali che definisca esattamente quali modalità da impiegare e come. Di conseguenza, l'industria dei produttori di apparati non fornisce Set Top Box o modem router con le medesime funzionalità e meccanismi di Multicast. Tuttavia, va osservato che in ambito DVB²⁹ si stanno compiendo significativi passi in avanti, in particolare con DVB-I si permetterà ai dispositivi di conoscere la corrispondenza tra canale Tv e gruppo Multicast associato. In estrema sintesi il Multicast verrebbe considerata una delle funzionalità nell'ambito della Guida elettronica ai programmi (cosiddette EPG) indispensabile per selezionare un canale o un evento nello zapping;

²⁹ Solo a fine 2020 l'ETSI ha pubblicato le specifiche DVB-I e DVB-MABR. TS 103 770 specifica Service Discovery e Program Metadata per i servizi DVB-I e TS 103 769 è per lo streaming multimediale adattivo su IP Multicast.

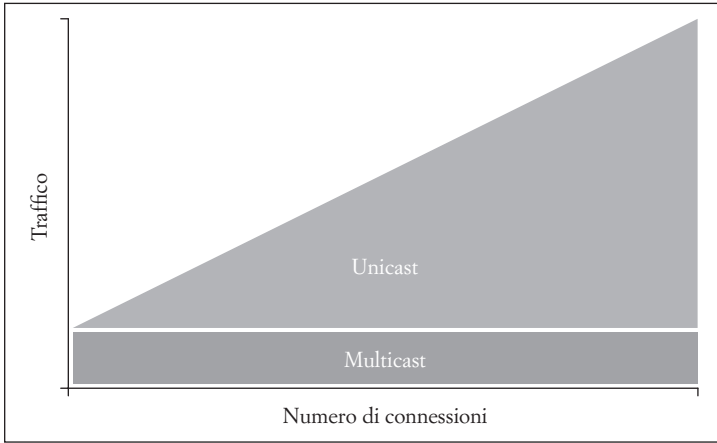


FIG. 4.8. Confronto tra traffico Unicast e Multicast.

– il secondo fattore è dovuto al fatto che il soggetto che implementa il software nei dispositivi di visualizzazione (app) potrebbe non essere interessato a introdurre una complicazione ingegneristica di cui, di fatto, non beneficia lui stesso ma l'operatore di rete. Solo quest'ultimo, infatti, ha interesse a efficientare il traffico sulla sua rete in modo che con l'investimento in infrastruttura si ottenga il miglior risultato possibile.

In conclusione, l'uso del Multicast ridurrebbe l'impatto sulla rete della trasmissione in live streaming, come ad esempio nella trasmissione di eventi con notevole numero di utenti in contemporanea (partite di calcio, concerti, ecc.) o per la televisione lineare in chiaro, rendendo sostanzialmente costante e indipendente dal numero di utenti connessi il carico sulla rete, a differenza di quanto avviene con la modalità Unicast, come rappresentato nella figura 4.8, dove il traffico aumenta proporzionalmente al crescere del numero degli utenti connessi.

Si fa tuttavia presente che, nella porzione di rete di accesso, compresa tra la terminazione di utente e il primo nodo attivo di rete, i pacchetti devono necessariamente es-

sere trasmessi per ciascun punto di accesso alla rete. Questo potrebbe, in via teorica, comportare una riduzione della qualità di servizio nel tratto terminale di rete, ad esempio nell'area cavo VDSL a valle dell'armadio stradale, a causa delle mutue interferenze tra i doppini dei singoli utenti e che potrebbero ridurre la velocità di download di ciascun utente della stessa area cavo. Tuttavia, questa situazione, che potrebbe verificarsi anche in presenza di accessi a Internet non legati al live streaming, risulta poco probabile e in pratica non sono stati registrati disservizi legati a questo fattore. Parimenti, nel caso di accesso FTTH, una situazione di congestione si potrebbe verificare sull'albero GPON ma essa risulta teoricamente ancora meno probabile e in pratica non sono stati registrati disservizi.

Da questa breve descrizione tecnica del Multicast emerge come questo protocollo possa avvicinare in maniera virtuale la diffusione su piattaforma Internet alla trasmissione *broadcast* tradizionale (sia questo via cavo, satellite o digitale terrestre), in quanto evidentemente la sorgente di traffico emette un solo segnale (una sola serie di pacchetti) indipendentemente dal numero di terminali collegati.

Un'ultima questione da analizzare in relazione all'utilizzo del Multicast riguarda la protezione dei contenuti.

Esistono diverse soluzioni tecniche che permettono l'utilizzo del Multicast anche in caso di accesso «condizionato» alla sottoscrizione di abbonamenti, come per l'appunto nel caso del calcio in live streaming. La protezione dei contenuti richiede di dotare i server di accesso e le applicazioni presenti nei *device* di visione di moduli software prodotti da pochi soggetti (Broadpeak, Microsoft, ...) a livello mondiale e con costi di licenza piuttosto elevati.

La diffusione in Multicast di contenuti protetti richiede quindi l'implementazione di software per l'accesso al media server di controllo dei diritti di trasmissione che potrebbe essere realizzata in maniera relativamente semplice all'interno di un singolo ISP ma che si complica in ambiente multi-operatore. Nel caso dell'offerta di Dazn, ad esempio, la piattaforma TimVision e i decoder a questa attestati utilizzano tale protocollo. La diffusione di contenuto Multicast

al di fuori dell'ISP di origine richiede tuttavia la definizione di accordi fra gli operatori e l'implementazione di specifici software, in funzione del tipo di soluzione tecnologico/commerciale prescelta.

Anche le app che devono presentare i contenuti ricevuti in Multicast devono contenere specifici moduli software, forniti sotto licenza, nel caso di trasmissione di contenuti protetti.

Si può quindi affermare, da quanto sopra detto, che il Multicast, una volta consolidato e diffuso sui terminali – come vedremo meglio in seguito – risulterà la modalità ideale per la diffusione di contenuti in tempo reale, in particolare per contenuti non protetti da diritti televisivi come i canali di Tv lineare in chiaro. Una volta risolte le problematiche relative alla protezione dei contenuti, l'implementazione del Multicast risulterebbe estremamente vantaggiosa anche per la distribuzione di contenuti protetti.

Descritto il Multicast, sorgono una serie di ulteriori questioni che dovrebbero essere affrontate ai diversi livelli decisionali per far sì che il protocollo possa diffondersi in maniera armonizzata sulla rete e garantire il funzionamento della Tv in streaming in maniera analoga a quanto attualmente realizzato con il *broadcast* per gli eventi live e la Tv lineare.

Per ciò che riguarda la distribuzione dei contenuti, come descritto prima, il flusso video prodotto dall'OTT viene distribuito attraverso una o più CDN e poi messo a disposizione della rete Internet dai server Multicast. È necessario quindi definire, in maniera comune, la posizione ottimale in rete del Multicast server, le modalità con le quali quest'ultimo riceverà il flusso video da inoltrare agli utenti e infine i *Codec* da utilizzare.

Tali questioni devono essere affrontate e risolte anche in accordo tra i *policy maker* e il regolatore, incidendo in maniera significativa sull'effettivo funzionamento del sistema.

Ad esempio, il punto dove è localizzato il server Multicast è fondamentale, perché se per assurdo fosse disponibile solo sulla rete di un grande ISP, gli operatori concorrenti dovrebbero necessariamente accedere a questa rete. I costi

sarebbero direttamente dipendenti dalla locazione del server Multicast. Qualora, poi, non tutti gli ISP potessero accedere in maniera omogenea ai server Multicast, potrebbe verificarsi la circostanza che nella visualizzazione di eventi di portata nazionale, gli utenti dell'ISP «A» siano discriminati rispetto a quelli dell'ISP «B». E quest'ultima è una situazione che non può essere accettata.

Relativamente alla rete, si è visto che per la trasmissione del medesimo contenuto a una molteplicità di utilizzatori e nello stesso momento (live streaming) la configurazione di minor impatto è quella di utilizzare il protocollo Multicast che offre la necessaria scalabilità e che è appositamente progettato per questo. Anche assumendo capacità infinita della rete, il Multicast consente comunque la minimizzazione delle risorse impiegate e, in scenari massivi come quelli della diffusione dei servizi di interesse generale, non sarebbe trascurabile l'impatto economico derivante dai consumi energetici, sempre più significativi anche a causa della situazione geopolitica, dovuti all'onere computazionale, la diminuzione delle relative emissioni di CO₂ e il tema etico conseguente.

Il traffico Multicast può essere scambiato tra gli ISP, ma restano da definire le condizioni e un approccio standardizzato che rappresentino un punto di riferimento per il mercato, consentendo lo sviluppo di un'economia di scala dove i fornitori di contenuti, gli ISP e i produttori di *device* possano far riferimento in uno scenario condiviso.

Sempre nella logica di un servizio di Multicast streaming, è ragionevole considerare due scenari che si possono verificare:

1) il traffico Multicast per l'utilizzatore finale è originato da una CDN/Multicast server sulla rete dell'ISP. Questo sarà verosimilmente il caso degli ISP maggiori, che beneficiano di economie di scala per poter concordare le migliori condizioni con il fornitore di CDN e la realizzazione del Multicast server;

2) il traffico Multicast viene inoltrato all'ISP «A» da un altro ISP «B», o deriva da un IXP. In questo caso l'ISP «B», che veicolerà il traffico Multicast fino all'utilizzatore finale, dovrà corrispondere ad «A» una cifra specifica per

il volume di traffico Multicast scambiato. Questo rappresenta un aspetto non marginale per il regolatore, perché oggi gli ISP pagano il traffico scambiato indifferentemente dal suo contenuto. Nel caso invece di un traffico Multicast contenente un flusso video originato dall'ISP «A», sarebbe ragionevole considerare una tariffazione differenziata, perché «A» ha sostenuto e probabilmente sta sostenendo dei costi diversi per la generazione e l'ottimizzazione di quel traffico. Per assurdo, l'ottimizzazione dello stream Multicast operato da «A» sarebbe non conveniente dal punto di vista commerciale se il regolatore non concepisse una differenziazione del costo del traffico in dipendenza dalla sua tipologia e contenuto.

Infine, in relazione ai dispositivi terminali d'utente si propongono le seguenti considerazioni.

Gli apparati che permettono la ricezione e la visualizzazione del flusso video possono dividersi in due categorie principali:

– *modem/router*: è il primo apparato a casa dell'utente che si interfaccia alla rete internet rappresentando il punto di confine tra quest'ultima e la rete domestica. Le funzioni principali che svolge sono quelle di inoltro del traffico Multicast, della trasmissione via rete Ethernet cablata o wi-fi fino ai dispositivi finali e dell'adattamento del traffico in funzione delle condizioni di rete e delle tecnologie impiegate. Per quanto riguarda il modem/router, di norma questo apparato è in grado di gestire il Multicast, essendo parte integrante del protocollo IP e conseguentemente largamente disponibile negli ultimi modelli installati. Considerando poi che la maggior parte dell'utilizzo dei dispositivi avviene via wi-fi, è doveroso notare che gli standard wi-fi della famiglia 802.X supportano il c.d. WiFi Multi Media (WMM), necessario a prioritizzare il traffico *real time* nella trasmissione wireless, e quindi anche quello video e audio. Ove il canale di comunicazione tra dispositivo e modem/router fosse non ottimale e comunque con una capacità inferiore a quella della linea esterna, questa funzionalità garantisce che la trasmissione del segnale video venga prioritizzata rispetto a quella relativa a flussi

dati di altra natura, come il *web browsing* ad esempio. In questa operazione di prioritizzazione si tende a dare la precedenza al flusso video proprio perché ha dei requisiti più stringenti in termini di latenza e perché i pacchetti dati che contengono le porzioni di contenuto video non possono essere ritrasmessi se vengono corrotti da un canale wireless non ottimale, pena una fastidiosa «pixelizzazione» del video che perderà di nitidezza sino ad arrivare, nel caso più estremo, alla mancata intellegibilità dell'immagine. Nel caso invece di altre tipologie di servizio, ad esempio il *web browsing*, i pacchetti relativi al traffico possono essere ritrasmessi senza particolare percezione di malfunzionamento. Un passo in avanti per migliorare ulteriormente la trasmissione wi-fi, e quindi anche quella video che la sfrutta, è stato in Italia raggiunto con il decreto del MISE del 31 agosto 2022, pubblicato il 13 settembre 2022, che ha esteso la porzione di spettro dedicata al wi-fi mettendo a disposizione di questo un'ulteriore banda, da 5.945 a 6.425 MHz. Questo è fondamentale per ridurre i rischi di interferenza tra modem/router wi-fi in prossimità, come in aree densamente popolate, e spiana la strada al WiFi 6E conferendo ulteriore qualità alle prestazioni trasmissive dei modem/router commerciali e quindi anche maggior capacità a disposizione per la trasmissione video wireless:

– *device video*: come smart Tv, decoder, tablet o smartphone. Svolgono tre macro-funzioni tramite app terze o il software del sistema operativo:

i) richiedono alla rete il traffico Multicast. Ad esempio, segnalano alla rete di voler ricevere il gruppo Multicast corrispondente a una determinata emittente televisiva;

ii) ricevono il flusso e ne estraggono il contenuto informativo con il corrispondente *Codec*;

iii) visualizzano il contenuto informativo tramite un display (video playback).

Tutte le applicazioni delle maggiori emittenti nazionali disponibili per smartphone e smart Tv, come RaiPlay, Mediaset Infinity, ecc., ad oggi ricevono i contenuti in modalità Unicast, anche per lo streaming dei contenuti trasmessi in diretta della medesima emittente sul digitale terrestre.

Questo è certamente dovuto alla mancanza di uno scenario di riferimento tecnico comune per lo streaming Multicast, su cui gli sviluppatori dell'applicazione possano contare. Nello scenario italiano limitatissimi sono i casi di ricezione di contenuti live in modalità Multicast streaming, circostanze peraltro, dove lo scenario di riferimento è «normalizzato» a un solo OTT (Dazn), un solo ISP (Tim) e un modem o un decoder dedicati.

5.4. I «Codec» (codificatori e decodificatori)

Passiamo ora a fornire alcune indicazioni su di un altro anello della catena della Tv in streaming che contribuisce in maniera significativa alle prestazioni del sistema della Tv in streaming.

Sono stati precedentemente mostrati i dati nazionali di copertura in accesso e di velocità, anticipando anche quale potrebbero essere le necessità di trasmissione di un contenuto video (HD 5-6Mbit/s, UHD/4K 15 Mbit/s). In realtà le richieste di banda per la visione di un contenuto risentono di una molteplicità di fattori che vanno, partendo dall'OTT, dal carico dei server dei contenuti che potrebbero ridurre il *bitrate* di ciascun utente al livello di qualità video richiesto dell'app del terminale che può essere uno smartphone, un tablet o Pc o uno schermo televisivo di grandi dimensioni e dalle caratteristiche del segnale codificato (standard utilizzati, *Codec*). Tutti questi fattori sono valutati dalle app che accedono ai contenuti proposti dagli OTT e, normalmente, determinano la velocità di accesso al contenuto sulla base di una negoziazione tra i due estremi della comunicazione. Anche il tipo di contenuto (*library* on demand o live streaming) influisce in maniera significativa sul *bitrate* trasmissivo. Infatti, i contenuti live, in particolare quelli legati a eventi sportivi o musicali, possono generare un *bitrate* maggiore dovuto sia al contenuto stesso (ricco di movimento) sia alla necessità di trasmetterlo in tempo reale e, quindi, con ridotto periodo di tempo a disposizione per la post produzione e l'ottimizzazione del video.

Tra quelli precedentemente elencati, il processo di codifica del segnale video gioca un ruolo significativo per le prestazioni di un sistema di Tv in streaming in quanto da un lato, aumentando molto la compressione dei contenuti, rende possibile trasportare i contenuti video con minor necessità di banda, dall'altro se la codifica è eccessivamente complessa, è necessaria una potenza computazionale nel ricevitore non sempre disponibile introducendo al contempo ritardi di visualizzazione generalmente non accettabili, specie per contenuti in live streaming, o semplicemente per servizi di video conferenza.

5.4.1. *La codifica video*

Si è già detto che i contenuti video costituiscono ormai la principale sorgente di traffico della rete Internet. Diverse sono le cause che spiegano l'incremento del traffico video: la tendenza all'utilizzo di un canale audiovisivo come elemento base per le comunicazioni interpersonali; il crescente consumo di contenuti audiovisivi (fiction/film, social media, corsi online, ecc.); e infine la richiesta di contenuti a qualità e risoluzione sempre maggiore da parte degli utenti. Quest'ultimo fattore ha un riflesso significativo sul mercato dei dispositivi, sempre più performanti in termini di qualità, siano questi televisori, cellulari, personal computer o altro (ad es. proiettori video ad alta risoluzione) anche in base ai formati delle produzioni più recenti.

Il ruolo della codifica è quello di comprimere il segnale sorgente in modo da permettere il suo trasporto utilizzando una minore banda trasmissiva e quindi un costo minore. Definito l'obiettivo, occorre anche enunciare i principi che devono essere soddisfatti nel processo di codifica. Il primo e il più importante è che la codifica deve ridurre al minimo la perdita di qualità soggettiva e oggettiva; tuttavia, ci sono ulteriori principi da rispettare. Per una trasmissione live la codifica deve garantire tempi molto limitati di latenza e al contempo deve essere robusta per

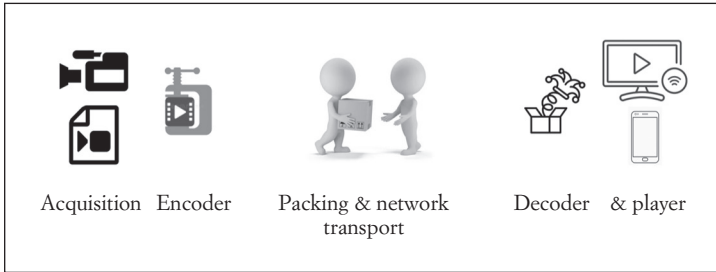


FIG. 4.9. Schema della catena *end-to-end* per i contenuti (audio)video.

sopperire a eventuali errori di rete. Le codifiche devono infine garantire la possibilità di attuare il processo inverso di decodifica con le ragionevoli risorse computazionali e di memoria che un dispositivo di ricezione può offrire. Infine, è necessario prevedere, nel processo di evoluzione dei *Codec*, opportune «fasi temporali» di compatibilità: un sistema di riproduzione adeguato agli standard recenti deve garantire al contempo una retro-compatibilità con gli standard precedenti.

Nella figura 4.10 sono riportate le codifiche video sviluppate dai due principali enti di standardizzazione, l'Iso/Iec (International Organization for Standardization – International Electrotechnical Commission) e l'itu-T (Itu Telecommunication Sector). Nella figura si riporta, indicativamente, anche per quale tipologia di video la codifica è stata sviluppata e il periodo in cui è stato studiato e quindi rilasciato lo standard. Il divario temporale tra la disponibilità di un nuovo standard di codifica video e il suo effettivo utilizzo è molto ampio.

Come già visto, ogni nuova tecnologia di codifica impatta sulla *bitrate* e quindi sull'occupazione di banda o di frequenze, assicurando un risparmio all'incirca del 50% rispetto alla codifica precedente.

Il processo di codifica riduce la quantità di bit necessari per trasportare un determinato contenuto video, con l'obiet-

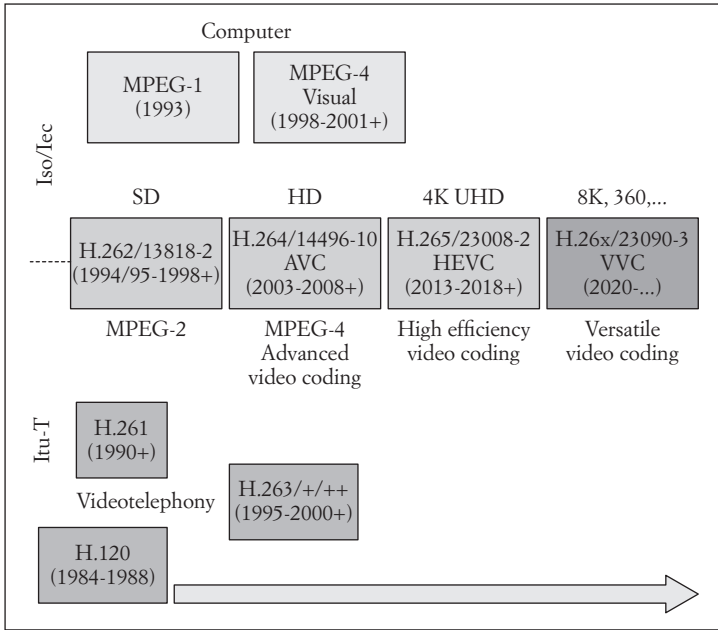


FIG. 4.10. Evoluzione delle principali codifiche video negli ultimi 30 anni.

Fonte: Itu.

tivo di preservare al meglio la qualità soggettiva, ossia quella percepita dall'utente nella visione del contenuto e quella oggettiva, ossia la quantità di informazione trasportata dal contenuto video. Normalmente la compressione riduce la ridondanza informativa presente nelle immagini nel contenuto video, facendo comunque perdere in maniera irrimediabile una certa quantità di informazione (compressione *lossy*). È possibile tuttavia adottare procedimenti di compressione che non fanno perdere informazione, si parla in questo caso di compressione *lossless*. Gli accorgimenti adottati dai *Codec* per ridurre la quantità dei dati di un contenuto video sono riportati nel box 4.3.

Box 4.3

Ridondanze nel segnale video e codifica

Un segnale video numerico non compresso richiede un flusso binario caratterizzato da un *bitrate* molto elevato, che eccederebbe le capacità dei canali di trasmissione attualmente disponibili. I valori in gioco partirebbero da 166 Mbit/s nel caso di video a definizione standard SD, fino a raggiungere il valore di 12 Gbit/s nel caso di video UHD (Ultra High Definition). Un tipico video di 90 minuti in alta definizione nel formato 1080 progressivo (1920 × 1080 pixel per frame) a 24 frame al secondo ha una dimensione non compressa di circa 806 GB e necessiterebbe, per la sua trasmissione, di un *bitrate* di 1,2 Gbit/s. Considerato che un supporto commerciale tipo Blu-Ray Dvd *single layer* ha una capacità di 25 GB e può essere letto alla velocità di 36 Mbit/s, e che lo streaming video e la diffusione televisiva devono essere fruibili con velocità di trasmissione comprese tra circa 1 Mb/s e 20 Mb/s, ben si comprende come per la trasmissione di un tale video sui diversi mezzi sia necessario «compattare» il contenuto digitale per consentirne la trasmissione con un *bitrate* al massimo di 20/25 Mbit/s, preservando nei limiti del possibile la qualità per l'utente finale.

La compressione dei dati avviene attraverso tecniche di analisi dell'informazione originaria generata dalla sorgente e del relativo segnale video, di identificazione delle eventuali «ridondanze» informative che possono essere eliminate dal segnale video senza che sia percepita una perdita di qualità (o con una ridotta perdita di qualità) e di rimozione delle ridondanze stesse.

I principali tipi di ridondanza presenti in una sequenza d'immagini sono:

- *spaziale*: pixel adiacenti hanno colori e intensità simili o uguali. L'uso di algoritmi previsionali (*intra-prediction*) consente di ricostruire una regione spaziale da quelle adiacenti già ricostruite inviando unicamente i residui della predizione;

- *temporale*: normalmente in una sequenza video un quadro non differisce in modo significativo dal precedente, a meno di cambi veloci di scena. L'uso di algoritmi di stima di moto e di predizione temporale (*inter-prediction*) consente di ricostruire il quadro da un certo numero di quadri precedenti e/o successivi, inviando le informazioni di predizione, attraverso i cosiddetti «vettori di movimento», e i residui di predizione;

- *percettiva*: non tutte le informazioni visuali sono equamente significative per l'occhio umano, che risulta più sensibile alle componenti di frequenza spaziale più bassa. È quindi possibile codificare

con meno bit, cioè con una quantizzazione più spinta, le informazioni relative alle componenti in alta frequenza;

– *statistica*: non tutti i possibili valori dei pixel o di frequenze spaziali in un'immagine occorrono con la stessa probabilità. Mediante codifiche a lunghezza di parola variabile (VLC, Variable Length Coding) è possibile rappresentare con parole di codice più brevi i valori più frequenti e con parole di codice più lunghe i valori meno frequenti.

Gli standard di codifica più diffusi sono stati sviluppati da enti di standardizzazione internazionale. Tuttavia moltissime sono le codifiche sviluppate per la trasmissione e la distribuzione di contenuti video, a livello nazionale o internazionale spesso nell'ambito di Forum o Open Association costituiti per la gestione della rete Internet. Alcuni costruttori e OTT hanno anche sviluppato codifiche di natura proprietaria da utilizzare nell'ambito delle proprie reti e delle app di accesso ai servizi OTT.

In ambito televisivo, sia per la trasmissione in *broadcast* via etere sia per la trasmissione via Internet la codifica HEVC-H.265 risulta essere una tra le più efficienti e diffuse.

In particolare, nella transizione nazionale al post *refarming* della banda 700 MHz la codifica H.265-HEVC Main 10 è stata adottata quale standard per la piattaforma digitale terrestre insieme alla tecnologia trasmissiva DVB-T2.

5.4.2. *Codifiche video nell'UHD Book 2.0 per la televisione*

L'insieme delle tecnologie di codifica video in questo momento indicate nell'UHD Book³⁰ include MPEG-2

³⁰ L'UHD Book è una collana di specifiche tecniche, originariamente nata per HD e quindi per UHD, che intende armonizzare requisiti e specifiche dell'ecosistema televisivo italiano. È stata sviluppata in Ultra HD Forum, associazione di tutta la filiera industriale coinvolta nella produzione e diffusione di contenuti, il cui obiettivo è sostenere lo sviluppo della diffusione di contenuti Ultra HD mediante la definizione di specifiche condivise a livello volontario.

Video/H.262, AVC/H.264 (Advanced Video Coding) e HEVC-H.265 (High Efficiency Video Coding), come definito dal *toolbox* DVB (Digital Video Broadcasting) in ETSI TS-101154. Questo insieme garantisce supporto per un'ampia gamma di servizi televisivi come la distribuzione di contenuti SD, HD e UHD con un'ampia risoluzione di colori, un'elevata gamma dinamica e una maggiore profondità di bit.

Da un punto di vista storico è dal 2005 che i formati HD, 720p e per la maggior parte 1080i, sono entrati nel mercato televisivo satellitare europeo, con un'ampia offerta di decine di canali HDTV (High Definition Tv), principalmente forniti da diversi aggregatori di Pay Tv per contenuti sportivi e per film di recente produzione. Oggi anche la piattaforma di diffusione digitale terrestre offre un numero elevato di canali HD che, compatibilmente con le disponibilità di spettro, costituisce il formato target della programmazione.

Le nuove sorgenti audiovisive ad altissima definizione come le console per videogiochi 4K, le telecamere UHD TV e le relative riprese televisive sono progettate per riprodurre accuratamente contenuti di altissima qualità, se visualizzati su un display che lo consentano. In prospettiva, l'HDTV si avvicina già oggi all'Ultra HDTV, con immagini più nitide e brillanti per un'esperienza utente di elevata qualità anche grazie a una nuova generazione di tecnologie audio con un suono 3D.

Per quanto riguarda l'immediato futuro, nuove specifiche andranno a definire requisiti più alti per il *frame-rate*. I formati HDTV e UHD di prima generazione lavorano fino a 50/60 fps (*frame per second*), che non sono sufficienti a garantire una rappresentazione del movimento completamente soddisfacente per immagini in rapido movimento (ad es. sport, azione, ecc.). La risoluzione UHD TV è quattro volte maggiore dell'HDTV, e di conseguenza la definizione delle immagini in rapido movimento viene ulteriormente migliorata. La tecnologia HFR (High Frame Rate) consente un *frame-rate* fino a 100/120 fps, aumentando così la nitidezza e la stabilità dell'immagine. L'HFR è stato completamente specificato dall'ente responsabile degli standard della fa-

miglia DVB nei suoi ultimi rilasci (ETSI TS-101154) ma la sua implementazione è così impegnativa in termini di risorse computazionali che è ragionevole stimare che ci vorranno ancora diversi anni per vederla nei prodotti UHDTV commerciali. L'uso del HFR, insieme all'adozione del HDR (High Dynamic Range) e della gamma cromatica estesa, migliorerà la visione della Tv ben oltre l'attuale esperienza.

5.4.3. *La codifica HEVC (H.265)*

Lo standard di codifica video H.265 (HEVC)³¹ è il quinto della serie di codificatori video definiti da Itu con la collaborazione dell'ISO/IEC/JTC1/SC29 (JTC, Joint Technical Committee). Come visto nella figura 4.10, viene dopo all'H.264 (MPEG-4) ed è stato sviluppato per fare fronte, con la sua migliore efficienza, alle richieste di banda per servizi come l'Internet streaming, la videoconferenza, il *broadcasting*. La descrizione della codifica HEVC è riportata nel box 4.4.

Come detto, la codifica HEVC è sicuramente lo standard di codifica video cui oggi si deve far riferimento per la piattaforma di diffusione su etere terrestre e la Tv in streaming. Tuttavia considerati i tempi di sviluppo, di validazione e di distribuzione di una codifica video, nei gruppi di standardizzazione si sta già lavorando al successore di tale tecnologia, e in particolare al suo successore in ambito Itu ovvero allo standard H.266, detto anche VVC (Versatile Video Coding). Il gruppo di lavoro Jvet (Joint Video Experts Team), nato nel 2018 e che vede la presenza di esperti Itu e Iso, si è prefissato di sviluppare, dopo un primo studio esplorativo iniziato nel 2015, un nuovo standard di codifica video che vada oltre le caratteristiche di HEVC. La descrizione completa della codifica VVC è presentata nel capitolo 5.

³¹ La codifica HEVC (nella versione Main 10) è quella prevista per la transizione al post *refarming* della banda 700 MHz insieme allo standard di trasmissione DVB-T2. Il calendario di transizione al DVB-T2-HEVC stabilisce la sua introduzione a partire dal 1° gennaio 2023.

Box 4.4

La codifica H.265-HEVC (High Efficiency Video Coding)

Lo standard di codifica video H.265, anche denominato HEVC (*High Efficiency Video Coding*), nasce con lo scopo di essere flessibile e adattarsi a un'ampia varietà di reti di distribuzione. Alla data del suo rilascio l'ITU in un comunicato stampa specificava:

ITU-T H.265 HEVC will provide a flexible, reliable and robust solution, future-proofed to support the next decade of video. The new standard is designed to take account of advancing screen resolutions and is expected to be phased in as high-end products and services outgrow the limits of current network and display technology.

Il processo di codifica è molto complesso e per ottimizzare il carico computazionale esso è predisposto per un'elaborazione su più processori in parallelo sia per la codifica sia per la decodifica che viene effettuata sui terminali di utente (televisioni, smartphone, computer, ecc.).

Tra le principali caratteristiche dello standard si evidenziano: la profondità di bit più elevata; i formati cromatici avanzati e di maggiore qualità, fino alla resa completa del contenuto di colore; il supporto per la scalabilità che consente la trasmissione video su reti con condizioni di trasmissione variabili e/o altri scenari che coinvolgono più servizi e *bitrate*; il supporto per la visualizzazione multipla (utile ad es. per la rappresentazione del contenuto video con più visualizzazioni della telecamera eventualmente con informazioni ausiliarie opzionali); e infine il supporto per il 3D.

Anche grazie alla sua estrema versatilità lo standard di codifica video H.265 si può applicare a un ampio insieme di sistemi e casi di uso, come ad esempio il *broadcasting* via etere o la trasmissione in streaming, la post produzione e la distribuzione dei contenuti, la memorizzazione dei contenuti su supporti home cinema e cinema in sala, la video conferenza, ecc.

Anche la codifica H.265, come tutte le altre codifiche standard utilizzate in particolare nel *broadcasting*, non è priva di perdite di contenuto informativo (codifica *lossy*) e quindi di qualità (soggettiva e/o oggettiva), poiché i valori esatti del campione di origine in genere non sono preservati attraverso i processi di codifica e decodifica. Tuttavia, lo standard consente di scegliere un'elevata capacità di compressione con riduzione della qualità oppure di impostare una migliore qualità video, generando un *bitrate* più alto o file di dimensioni più grandi.

Un parametro importante da considerare nei processi di codifica è quello della «latenza».

Oggi una latenza «totale» *glass-to-glass* (che quindi tiene in conto della codifica e della decodifica, ma anche del *buffering* e del trasporto) fino a 10-20 secondi può essere accettabile per un evento live, ma la tendenza è a voler ridurre il più possibile tale ritardo, soprattutto per distribuzione di Tv in live streaming.

Per una codifica HEVC standard si può stimare una latenza di circa 2 s, mentre per una codifica HEVC *low latency* o *ultra low latency* si può scendere a valori inferiori ai 50 ms. Al contrario per il materiale offline non solo è applicabile una latenza «infinita» ma, in questo caso, possono utilizzarsi anche tecniche di codifica multi-passo molto più efficienti in termini di compressione di banda.

Lo standard H.265 ha quindi un'ampia versatilità che gli consente di gestire situazioni molto diverse che vanno dalla codifica immediata a bassa latenza con una potenza di elaborazione tipica di un dispositivo di ripresa professionale, a quella di una codifica offline senza alcun vincolo di latenza e potenza di calcolo.

6. *Impatto della distribuzione di contenuti video sulla rete: «Bottleneck», sostenibilità tecnica, qualità di servizio*

Nel corso dei paragrafi precedenti sono state illustrate le architetture di rete sulle quali si basa la distribuzione dei contenuti e alcuni dei più importanti protocolli coinvolti. Nel presente paragrafo vengono mostrati alcuni esempi di queste architetture inserite nelle reti attualmente in esercizio, al fine di evidenziare i possibili colli di bottiglia della Tv in streaming o più in generale i segmenti di rete che soffrono maggiormente delle domande di traffico significativamente voluminose e concentrate nel tempo, come nel caso di eventi live.

Il corretto dimensionamento degli elementi delle reti, nei vari segmenti di cui si compongono, determina la qualità finale del servizio e quindi la soddisfazione dell'utente. Nel paragrafo si farà quindi anche riferimento al concetto di qualità del servizio e alle iniziative prese dai regolatori sia in ambito comunitario che in ambito nazionale.

Si farà inoltre cenno al complesso tema che prevede la garanzia «trasversale» della qualità del servizio complessiva, quella cioè che deve essere garantita in tutta la catena che va dalla sorgente del contenuto fino all'utente finale.

6.1. «Bottleneck» e sostenibilità tecnica

In generale il video streaming su rete Internet è tra i servizi più complessi da erogare e da fruire, specialmente in presenza di contenuti relativi a eventi live.

Diversi sono i fattori che impattano sulla qualità del servizio e possono essere di natura tecnica o dipendere dagli accordi tecnici ed economici che vengono instaurati dai vari attori che appartengono alla filiera della distribuzione del contenuto.

Le caratteristiche tecniche che determinano la buona qualità di un servizio video streaming di tipo live sono rinvenibili in tutti i segmenti di rete, nella posizione dei server che distribuiscono i contenuti e nelle politiche di QoS (Quality of Service) che ogni singolo attore tecnologico della filiera introduce. Acquistano poi particolare importanza i protocolli adoperati nella distribuzione dei contenuti (ad es. TCP/IP oppure UDP/IP) verso gli utenti finali, i circuiti logici (o fisici) configurati sulle reti di trasporto, il dimensionamento delle reti di interconnessione (il traffico offerto – lato *content provider* – e smaltito – lato CDN, Carrier Operator o ISP deve essere tale da non costituire un collo di bottiglia in un senso o nell'altro). Anche l'individuazione di opportuni *Codec* gioca un ruolo determinante nella fruizione dei contenuti, nonché le tecniche di trasmissione, ad esempio, l'adozione del Multicast rispetto al protocollo Unicast.

La rete di un operatore di comunicazioni elettroniche è tipicamente molto complessa e si compone di numerosi nodi di norma rilegati tra loro mediante fibra ottica in configurazioni ad anello (negli strati più centrali) e ad albero (in quelli più periferici). Le reti, in particolare per operatori che sono sul mercato da più anni, risentono di

una stratificazione di tecnologie differenti che vengono aggiornate o sostituite con tempi non sempre compatibili con la velocità con la quale l'offerta di contenuti video si evolve sul mercato.

La rete Internet per la distribuzione di contenuti video può essere quindi nel dettaglio rappresentata in tre grandi blocchi, la componente di accesso, quella di *backhauling* e quella di trasporto.

Alla componente di rete di accesso fanno capo sia le reti fisse sia quelle mobili e con l'avvento delle reti di quinta generazione questa differenza si va assottigliando; nelle nuove reti infatti le principali componenti di raccolta e aggregazione del traffico vengono condivise.

Mentre i nodi delle reti di trasporto (le dorsali), possono essere rapidamente aggiornati, quelli di *backhauling* e quelli di accesso sono molto più numerosi e per la loro sostituzione o per il loro *upgrade* sono previsti processi più lunghi e investimenti più importanti. Tali nodi, se non rapidamente adeguati, possono ad oggi costituire un collo di bottiglia per i servizi audiovisivo. Oltre a un problema di capacità inteso in termini di quantità di dati da smaltire nell'unità di tempo, la numerosità dei nodi attraversati e l'eventuale sottodimensionamento degli stessi rispetto alla domanda di traffico può introdurre, come visto precedentemente, problemi di latenza. Una ragionevole stima dei nodi attraversati e conseguentemente dei tempi di latenza può essere effettuata mediante il protocollo ICMP (comando PING) con lo scopo di valutare il ritardo che intercorre tra il server video sorgente e il dispositivo di destinazione del contenuto. Al riguardo nel progetto MisuraInternet di Agcom vengono riportate misure medie dei tempi di latenza delle reti di accesso dei principali operatori nazionali di rete fissa suddivisi su base regionale: alla fine del 2021 i valori variavano dai 15 ms fino ai 40 ms a seconda dell'operatore e della regione considerata. Tale circostanza denota che si assiste a un miglioramento complessivo dell'efficienza delle reti ma il processo non è ancora del tutto compiuto.

Oltre alla topologia della rete, un ulteriore elemento di potenziale criticità è legato alla tipologia di rete di accesso

fissa (rame, fibra ottica) in quanto le caratteristiche del rame e della fibra ottica sono molto differenti: nelle reti miste fibra-rame (FTTCab) possono insorgere problemi legati alla distanza fisica tra utenti e apparati e fenomeni di diafonia dovuti alla mutua interferenza tra i doppiini telefonici.

6.1.1. «Bottleneck» nella rete di accesso e di «backhauling»

Allo stato attuale, per la rete di accesso fissa sono disponibili prevalentemente soluzioni di tipo FTTCab misto fibra-rame e soluzioni FTTH, ossia completamente in fibra ottica.

Come descritto precedentemente, l'architettura FTTCab si basa sull'impiego di apparati (mini-DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer) posti in prossimità degli armadi ripartilinea stradali. Occorre ricordare che la rete di distribuzione in rame viene suddivisa in due grossi segmenti gerarchici: la rete primaria, che dalle centrali telefoniche corre verso gli armadi ripartilinea e la rete secondaria (o tratta d'utente), che dagli armadi ripartilinea corre verso le singole utenze telefoniche. Le soluzioni miste fibra-rame FTTCab prevedono che la rete primaria sia completamente in fibra ottica e che sulla rete secondaria, ancora in rame ma per tratte dell'ordine dei 150-300 metri, i dati viaggino su tecnologia VDSL2. In questo caso occorre distinguere se si tratta di tecnologia VDSL 17a o VDSL 35b: la differenza consiste nella disponibilità di spettro che nel secondo caso (35b) per il downlink passa da 17,6 MHz a 35 MHz, consentendo velocità in download fino a 300 Mbit/s. In entrambi gli scenari la velocità in uplink è dell'ordine dei 40 Mbit/s. La tratta che va in fibra ottica dall'armadio ripartilinea fino alla centrale telefonica è invece tipicamente in tecnologia GPON che consente velocità in downlink dell'ordine dei 10 Gbit/s, da suddividere tra tutti gli utenti (tipicamente gli armadi prevedono moduli multipli di 48 porte) collegati all'armadio ripartilinea.

I dimensionamenti sopraindicati non tengono conto della contemporaneità degli utenti, ragione per la quale, nei contratti *retail*, oltre alla banda raggiungibile viene tipicamente specificata la banda minima garantita.

Nell'architettura FTTH, invece, la fibra ottica arriva fino all'utente in tecnologia GPON (installata di norma per i clienti residenziali) e tipicamente i profili sono venduti con velocità di 1 Gbit/s in download; in alcuni casi vengono resi disponibili anche profili fino a 2,5 Gbit/s.

In situazioni come quelle descritte, collegamenti a banda ultralarga di tipo FTTCab o FTTH che rappresentano la maggior parte delle connessioni dati ad oggi presenti, la rete di accesso non costituisce un collo di bottiglia; a meno di problemi di congestione fisica all'armadio ripartilinea.

A riprova di tale affermazione, la tabella 4.1 riporta le misure sperimentali effettuate in una catena di misura domestica per verificare il *throughput* richiesto da alcuni provider OTT per la visione di differenti tipi di contenuti. Le misure sono state effettuate mediando la visione del contenuto su di un intervallo di 4 minuti su differenti *device* di visualizzazione: smartphone, Set Top Box e Tv. È stato possibile rilevare la risoluzione del contenuto visualizzato solo nel caso di un provider OTT (YouTube). Negli altri casi, si ipotizza che i provider OTT adattino la risoluzione al tipo di *device* utilizzato al fine di ottimizzare le risorse di distribuzione del contenuto stesso.

Considerato che, nel caso di FTTCab la velocità di accesso minima si stima possa partire da 50 Mbit/s e che nel caso di FTTH si parla di almeno 300-500 Mbit/s, si conferma che la rete di accesso a banda ultralarga non costituisca, laddove presente, un problema per la sostenibilità della Tv in streaming, anche nel caso di più schermi contemporaneamente attivi in un'abitazione.

Come si può vedere, solo nel caso di un documentario in risoluzione 4K o UHD trasmesso da YouTube vengono superati i 10 Mbit/s fino a raggiungere i 25 Mbit/s per un televisore a largo schermo. Si ipotizza che essendo YouTube una piattaforma social cui tutti possono contribuire, non sia sempre possibile utilizzare *Codec* più efficienti, come

TAB. 4.1. Misure di «throughput» per differenti OTT e contenuti

OTT	Device	Quality	Bandwidth (Mbps)	Contenuto scelto	
Dazn	Android Smartphone	Auto	2	Tour de France live	
		Auto	2	Calcio amichevole on demand	
	Android Box	Auto	3	Calcio amichevole on demand	
		Auto	5	Tour de France femmes live	
	Samsung Tv	Auto	5	Calcio on demand (Lazio-Genoa)	
		Auto	6	Tour de France femmes live	
		Auto	5	Tour de France live	
		Auto	5	Calcio amichevole on demand	
		Auto	5	Tour de France live	
	RaiPlay	Android Smartphone	Auto	2	Rai 1 – diretta
Auto			1	Rai 3 raipipol	
Android Box		Auto	2	Rai sport calcio on demand	
		Auto	3	RaiNews 24 – diretta	
Samsung Tv		Auto	1	Rai 3 raipipol	
		Auto	3	Rai sport calcio on demand	
		Auto	2	Rai 3 diretta	
		Auto	2	Calcio on demand	
Infinity		Android Smartphone	Auto	2	TG Rai sport
			Auto	1	New Amsterdam 4
	Android Box	Auto	2	I Griffin	
		Auto	3	Vivo Lega volley summer tour	
	Samsung Tv	Auto	5	New Amsterdam 4	
		Auto	5	New Amsterdam 4	
		Auto	5	New Amsterdam 4	
		Auto	4	New Amsterdam 4	
		Auto	2	Le iene	
		Auto	2	Formula E	
YouTube	Android Smartphone	2160p	13	Documentario	
		1440p	8	Documentario	
		1080p	3	Documentario	
		720p	1	Documentario	
	Android Box	480p	1	Documentario	
		1440p60	10	Documentario	
		1440p	8	Documentario	
		1080p60	4	Documentario	
		1080p	2	Documentario	
		720p60	2	Documentario	
		720p	1	Documentario	
		480p	1	Documentario	
	Samsung Tv	2160p	25	Documentario	
		1440p60	16	Documentario	
		1440p	7	Documentario	
		1080p60	9	Documentario	
		1080p	2	Documentario	
		720p60	3	Documentario	
		720p	1	Documentario	
		480p	1	Documentario	

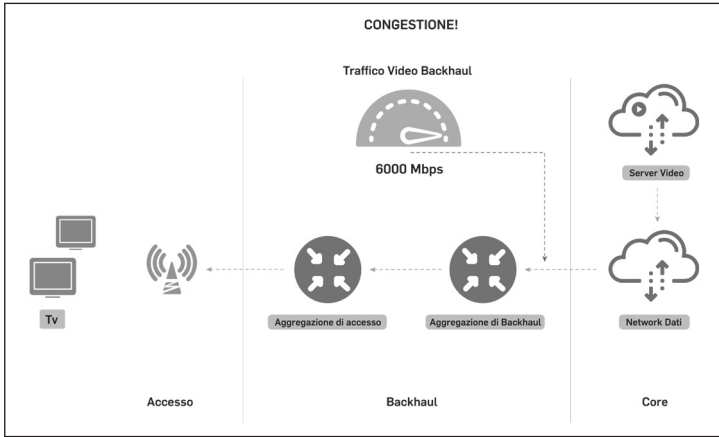


FIG. 4.11. Schema del segmento di rete di *backhauling*.

avviene normalmente per gli altri OTT non tipo «social» per la riduzione della dimensione dei contenuti e del loro *bitrate*.

Il problema di congestione può invece presentarsi nella rete primaria e soprattutto nella rete di *backhauling*, che è quella porzione di infrastruttura che dalla rete di accesso conduce alla rete di trasporto mediante aggregazione di traffico successivo. La rete di trasporto, per lo più in tecnologia Gigabit Ethernet, raramente ATM e meno raramente SDH, è il segmento di rete su cui grava maggiormente il traffico in quanto collega il server di origine dei contenuti agli utenti. I nodi della rete di trasporto sono, normalmente, in rapporto di uno a venti con le centrali locali telefoniche che, nelle architetture correnti, aggregano il traffico di migliaia di utenti come mostrato in figura 4.11.

Un esercizio numerico per dare idea dei volumi in gioco può essere fatto a partire dai numeri del portale *wholesale* di Tim, dove l'operatore dichiara le proprie disponibilità per la rivendita all'ingrosso verso gli altri operatori della propria rete di accesso. In una città come Roma sono presenti circa 7.000 armadi ripartilinea equipaggiati con tecnologia

FTTCab attestati su circa 90 centrali locali telefoniche. A ciascun armadio stradale sono attestati fino a 190 utenti. Dunque, facendo una stima qualitativa, ciascuna centrale può servire fino a 14 mila utenti potenziali.

Nell'ipotesi in cui il 10% dei potenziali utenti guardi un evento in live streaming con una *bitrate* di 4 Mbit/s, ogni centrale dovrà smaltire un volume di traffico di circa 5.6 Gbit/s, il che implica che, qualora la centrale non fosse attestata verso la rete di trasporto con una velocità ben superiore ai 10 Gbit/s, potrebbero manifestarsi potenziali problemi di saturazione. Questo esercizio, oltre a mettere l'accento sull'importanza del ruolo che gioca la rete di *backhauling*, fornisce anche l'indicazione di quanto sia importante la posizione del server da dove vengono immessi contenuti. Se infatti vi fosse un solo video server per distribuire i contenuti per tutta la città, questa dovrebbe smaltire un volume di traffico dell'ordine di 90×5.6 Gbit/s ossia di oltre 500 Gbit/s, traffico che metterebbe a dura prova il server di distribuzione dei contenuti.

Sebbene siano in corso significativi investimenti sull'adeguamento delle nuove reti verso soluzioni basate su architetture SDN (Software Defined Network) o NFV (Network Function Virtualization) che ripensano l'architettura delle reti, il numero di apparati tradizionali è ancora rilevante. L'operatore Tim già nel 2020 annunciava la trasformazione della propria rete in un'ottica di convergenza delle reti di accesso fisse e mobili e di razionalizzazione delle centrali e degli apparati. La sostituzione del rame con la fibra ottica in rete di accesso consente di ridurre il numero delle centrali e soprattutto di aumentare la distanza fisica tra utenti e i nodi di rete, dal momento che la fibra non degrada le sue prestazioni all'aumentare della distanza come invece avviene per le reti in rame. Avvicinare i servizi agli utenti, pur aumentando la distanza fisica tra gli utenti e gli apparati di rete non è un paradosso; per i servizi, infatti, la distanza che «conta» è il numero di passi dal cliente verso il server, in altre parole il numero di apparati che devono essere attraversati prima di arrivare dalla sorgente al terminale di destinazione del servizio.

Iniziative analoghe sono in corso da parte di tutti gli operatori nazionali, con lo scopo di adeguare le proprie reti verso tecnologie più evolute con l'introduzione di nodi che possono essere rapidamente configurati via software consentendo una gestione più flessibile ed efficiente delle risorse a disposizione. Questa flessibilità, oltre a portare vantaggi nella gestione del traffico, può favorire la messa in atto di politiche di QoS (qualità del servizio) disegnate attorno a servizi specifici, come ad esempio quelli di video streaming. Tuttavia il ricambio, totale o parziale degli apparati coinvolto è particolarmente oneroso e la riorganizzazione e la razionalizzazione delle reti non è immediata e dipende da diversi fattori.

Questo processo di evoluzione vede gli operatori chiamati a investire per garantire la qualità dei servizi di trasporto relativamente alla distribuzione dei contenuti immessi in rete dagli operatori Over The Top. Allo stesso tempo, gli utenti, destinatari dei servizi Internet, in casi sempre più frequenti sottoscrivono anche abbonamenti con OTT e hanno il diritto di essere tutelati in merito alla qualità generale del servizio.

In questo senso sono ormai in corso da anni diverse iniziative, sia del regolatore nazionale (Agcom) che del Berec proprio su questi temi con riferimento in particolare alle reti di accesso.

Questi aspetti sono importanti in relazione alla fruizione della Tv in streaming in quanto caratterizzano la rete di accesso dell'utente, consentendo di prevedere eventuali problemi di accesso ai servizi OTT di Tv in streaming, sia on demand sia live. Nel seguito sono descritti sinteticamente i principali parametri previsti dal Regolatore europeo e dalle Autorità nazionali.

6.2. *Qualità di servizio (QoS)*

A seguito del Regolamento europeo 2015/2120, il Berec, già con le Linee guida del Berec BoR (16) 127, fornisce mandato alle singole Autorità nazionali di vigilare sul rispet-

to delle regole di equità e non discriminazione del traffico nella fornitura di servizi di accesso a Internet a tutela dei diritti degli utenti.

Nelle Linee guida sono sanciti diversi principi, di seguito riportati, e relative indicazioni verso le Autorità nazionali per il perseguimento di tali obiettivi.

6.2.1. *Trasparenza sulla velocità in accesso*

Sia in caso di accesso di tipo fisso sia di tipo mobile l'operatore, per trasparenza, dovrebbe fornire la velocità dichiarata.

La velocità dichiarata è quella che un operatore indica nelle comunicazioni commerciali, incluse quelle pubblicitarie e di marketing, di promozione delle offerte del servizio di accesso a Internet. Nell'ipotesi che venga dichiarata una velocità ai fini della strategia di marketing dell'operatore, questa deve essere anche riportata, per ciascuna offerta, sia tra le informazioni disponibili al pubblico (ad es. sito web) sia nel contratto. Inoltre le suddette velocità devono essere espresse in valori numerici univoci, tassativamente in bit/secondo. Le Autorità nazionali potrebbero stabilire requisiti riguardo al legame tra le velocità definite nel contratto e la velocità dichiarata, sul rispetto delle quali devono poi vigilare. Ad esempio l'Autorità nazionale potrebbe stabilire che il valore di velocità dichiarato non ecceda il valore di velocità massima definito nel contratto.

In merito all'accesso di tipo mobile, viene stabilito che la velocità dichiarata deve riflettere la velocità che l'operatore è realisticamente in grado di assicurare all'utente finale. I requisiti di trasparenza per la rete mobile sono meno stringenti e dettagliati di quelli per la rete fissa; tuttavia le Linee guida richiedono che la velocità dichiarata debba consentire all'utente di effettuare scelte consapevoli, nel senso che deve essere messo in grado di valutarne il valore in confronto alla prestazione effettiva del proprio accesso mobile a Internet. Devono essere inoltre specificati tutti

i significativi fattori che limitano le velocità conseguibili dagli utenti finali.

6.2.2. *Trasparenza sulla velocità per la rete fissa*

Per l'accesso a Internet di rete fissa l'operatore, per trasparenza, dovrebbe fornire i valori in merito a:

- *velocità minima*: è la velocità più bassa che l'operatore si impegna a garantire all'utente finale, in accordo con le condizioni contrattuali. Se si riscontra che la velocità effettiva è significativamente e sistematicamente più bassa della velocità minima, allora tale circostanza costituisce una violazione delle prestazioni del servizio, rispetto alle condizioni contrattuali (che garantiscono invece una velocità minima da rispettare nella maggior parte delle circostanze);

- *velocità normalmente disponibile*: è la velocità che un utente può aspettarsi di conseguire il più delle volte quando accede al servizio Internet. Il Berc ritiene che detta velocità sia caratterizzata da due grandezze: il valore numerico della velocità e la percentuale di disponibilità di tale valore di velocità durante uno specifico periodo. In tal senso, assume rilevanza per lo streaming video la definizione di questi parametri secondo gli esempi di seguito riportati:

- i)* la velocità sempre disponibile durante le ore di traffico non di picco e disponibile il 90% delle volte durante le ore di picco;

- ii)* la velocità disponibile il 95% delle volte durante l'intera giornata;

- iii)* una proporzione ragionevole del valore di velocità massima;

- *velocità massima*: è la velocità che un utente può aspettarsi di conseguire almeno un certo numero di volte in un determinato periodo (ad es. almeno una volta al giorno). L'operatore non è tenuto, comunque, a limitare tecnicamente la velocità realmente fornita in modo da non eccedere la velocità massima definita nel contratto.

TAB. 4.2. *Prescrizioni Berec sulla comunicazione delle velocità di accesso*

Velocità	Rete fissa	Rete mobile
Dichiarata	✓	✓
Minima	✓	
Normalmente disponibile	✓	
Massima	✓	
Massima stimata		✓

6.2.3. *Trasparenza sulla velocità per la rete mobile*

Nel caso di accesso da rete mobile, le Linee guida del Berec indicano che i contratti devono riportare la velocità massima stimata e la velocità dichiarata.

La velocità massima stimata è l'indicatore che deve permettere all'utente finale di avere contezza della velocità massima realisticamente conseguibile, tenendo conto delle svariate condizioni logistiche e di utilizzo del servizio mobile.

La velocità massima stimata deve essere fornita separatamente per le varie tecnologie di rete mobile le quali, come noto, offrono velocità massime differenti agli utenti finali.

Le Linee guida prescrivono che le velocità massime stimate dovrebbero essere rese disponibili su base geografica realizzando opportune mappe di copertura del servizio mobile di accesso a Internet che indichino, per tutti i punti del territorio, sia i valori stimati sia anche i valori misurati di copertura della rete.

La tabella 4.2. riassume le prescrizioni delle Linee guida del Berec in ordine alla comunicazione delle velocità di accesso da rete fissa e da rete mobile.

In ambito nazionale, mediante i progetti MisuraInternet fisso e mobile, l'Agcom anche in anticipo rispetto alle Linee guida, dà seguito alle indicazioni Berec rendendo disponibili strumenti di misura e di consultazione a tutela dei consumatori. Inoltre, mediante il portale Broadband map, sono rese disponibili in forma cartografica le informazioni relative alla copertura del territorio e alla disponibilità dei servizi di accesso a Internet.

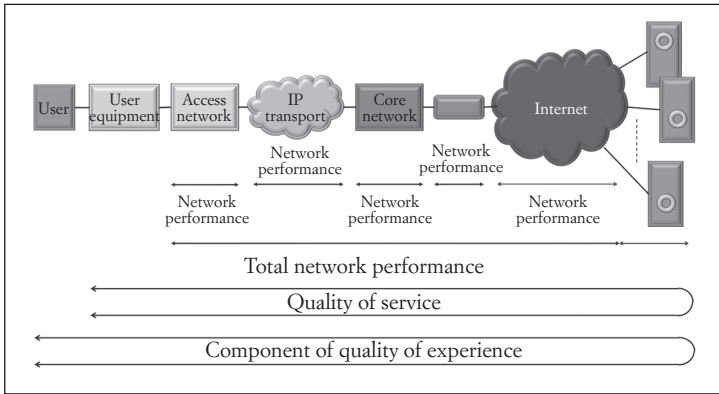


FIG. 4.12. Prestazioni di rete, QoS e QoE secondo Itu.

Fonte: Itu.

6.3. La qualità di servizio (QoS) e la qualità dell'esperienza video (QoE)

La QoS secondo l'International Telecommunication Union (Itu) è la «totalità delle caratteristiche di un servizio di telecomunicazioni che incidono sulla sua capacità di soddisfare i bisogni dichiarati e impliciti dell'utente del servizio». La definizione dell'Itu per la Quality of Experience (QoE) è «il grado di soddisfazione/piacere o fastidio/disappunto dell'utente per un'applicazione o un servizio». Appare evidente come il secondo parametro di qualità risulti più difficilmente misurabile in quanto basata su elementi soggettivi piuttosto che oggettivi.

L'Itu definisce le relazioni tra QoS e prestazioni di rete, sottolineando come pur esistendo una relazione tra i due parametri, il livello qualitativo della prestazione di rete possa non coincidere con la QoS. Sicuramente le prestazioni di rete non coincidono con la QoE.

In generale lo schema indicato da Itu è quello riportato in figura 4.12.

Le prestazioni della rete sono determinate dalle combinazioni delle prestazioni di tutti i singoli elementi. Le

prestazioni della rete hanno influenza sulla QoS e ne rappresentano però solo una parte in quanto essa include anche apparati, come gli *user equipment*, non gestiti dall'operatore.

La QoE invece ha un perimetro maggiore della QoS, dipendendo anche dalla percezione dell'utente finale in relazione alle caratteristiche del servizio che possono comportare modi diversi di specificare un giudizio. Tuttavia è chiaro come la qualità dell'esperienza sia significativamente influenzata dalla qualità del servizio e dalle prestazioni della rete.

In conclusione, il controllo dell'intera catena dalla sorgente alla destinazione di un contenuto audiovideo consentirebbe di garantire la qualità di servizio. Questo è evidentemente possibile nell'ambito della IPTV, gestita da un solo ISP. Nella Tv in streaming, trasportata dalla rete Internet pubblica sviluppatasi sul principio del *best effort*, la garanzia di un determinato livello di QoS si fonda sulla circostanza che le singole porzioni di rete, eventualmente gestite da differenti provider: dal fornitore di servizi a quello di connettività in accesso, rispettino dei requisiti prestabiliti.

Emerge quindi il tema di chi garantisce che ciascun operatore faccia la propria parte. Sono necessarie nuove regole, che dovranno disciplinare i rapporti tra vari attori della filiera. Ad esempio l'implementazione di nuove interfacce tra operatori entro le quali trasmettere traffico diviso per tipologia o la definizione di perimetri contrattuali (Service Level Agreement) che siano garanzia per gli operatori e di riflesso per gli utenti.

La tecnologia evolve rapidamente, nascono nuovi servizi e nuove opportunità, *a latere* nasce l'esigenza di nuove regole che consentano di aprire la strada a contesti competitivi e al coinvolgimento di nuovi attori.

7. Conclusioni e proposte del gruppo di lavoro

Nei precedenti paragrafi si è visto, analizzando le diverse componenti architetture della rete Internet, le apparecchiature, i dispositivi e i protocolli, come l'implementazione del protocollo Multicast e la realizzazione di una rete CDN

efficiente possano significativamente contribuire a un'offerta di servizi di Tv in streaming, sostenibile senza criticità dalla rete Internet anche in presenza di accessi massivi ai contenuti trasmessi.

È infatti necessario, tenuto conto che già ora ben oltre il 50% del traffico Internet è generato da servizi video, che la rete sia in grado di supportare la crescita dei servizi di Tv in streaming senza impattare negativamente sui restanti servizi Internet, ormai essenziali per la società.

I servizi di Tv in streaming da considerare sono l'on demand, il live streaming e, infine, i servizi live per la Tv lineare in chiaro la cui offerta su rete Internet assume, in prospettiva, un'importanza particolare vista la necessità per quest'ultima tipologia di servizio di assicurarne l'accesso universale e a costo abbordabile ai relativi contenuti.

Nel presente paragrafo conclusivo della disamina della Tv in streaming si vogliono quindi approfondire i predetti temi con lo scopo di presentare alcune proposte operative a beneficio dell'industria, dei regolatori e dei gestori della politica industriale.

Prima di entrare nel dettaglio di tali temi viene proposta la tabella 4.3 che mette a confronto il servizio di Tv in *broadcast* via etere su frequenze terrestri e il servizio di Tv in streaming sulla rete Internet.

Da quanto contenuto nella tabella 4.3, si evince come gli aspetti più critici relativi allo sviluppo della Tv in streaming riguardino, oltre alla diffusione dell'accesso a banda ultra-larga, la mancanza di standard e un *framework* condiviso per l'implementazione del protocollo Multicast ai fini della presentazione dei contenuti video sui terminali e per la distribuzione dei contenuti utilizzando reti CDN ubiqua ed efficienti, dedicate in particolare ai servizi lineari gratuiti con alti livelli di ascolto.

Le proposte di seguito riportate vanno pertanto in tale direzione.

La prima proposta consiste nella definizione di un *framework* condiviso per il Multicast streaming. Si ritiene che l'adozione comune del protocollo Multicast costituisca uno dei pre-requisiti essenziali per garantire la corretta diffusione

TAB. 4.3. Confronto tra servizi di Tv «broadcast» e in streaming

Broadcast terrestre		Servizi Tv lineari via etere terrestres vs. Tv in streaming	
		Streaming	Considerazioni
Mezzo trasmissivo	Etere	Rete Internet	Il servizio Broadcast può raggiungere coperture del 99% della popolazione. L'accesso alla rete Internet a larga banda è disponibile al momento per percentuali di popolazione molto più ridotte, sebbene il Piano Italia 1G prevede una copertura ubiqua al 2026.
Controllo il mezzo trasmissivo da parte dell'editore dei contenuti	In maniera indiretta attraverso accordi con l'operatore di rete	No, di norma	Le Autorità nazionali di regolamentazione (Anr) operano con efficacia in ambito <i>broadcast</i> perché hanno un singolo <i>entry point</i> , l'editore Tv. Nel caso Internet le Anr dovrebbero regolare in maniera coordinata gli OTT e gli operatori che controllano la rete
Capacità trasmissiva	Garantita dall'operatore di rete secondo la regolamentazione Agcom	Non garantita essendo basata sul paradigma del <i>best effort</i>	Su una singola linea <i>broadband</i> possono transitare simultaneamente molti contenuti, il mezzo trasmissivo non è dedicato a un flusso video specifico e quindi, dimensionabile <i>ex ante</i> .
Tecnica di distribuzione del contenuto video	<i>Broadcast</i>	Unicast/Multicast	Nella rete IP il Multicast ottimizza l'uso delle risorse di rete, e quelle energetiche. Tuttavia il Multicast allo stato attuale non viene gestito dai vari operatori con una politica condivisa. Mancano Linee guida comuni!
Le Anr hanno competenza completa	Si, con efficacia comprovata	No, solo su alcune componenti del servizio	Nel mondo IP, a differenza del mondo <i>broadcast</i> , l'Anr non riesce a regolare tutti i soggetti coinvolti nell'erogazione dei contenuti
Universalità del servizio	Si	No	Se la connettività non diventa un diritto universale e a un costo abbordabile, un contenuto distribuito su IP potrebbe non essere disponibile per tutti, anche al netto di eventuali accordi tra operatori su scambio di traffico Multicast

TAB. 4.3. *Segue*

	Broadcast terrestre	Streaming	Servizi Tv lineari via etere terrestre vs. Tv in streaming	Considerazioni
I contenuti vengono iniettati sulla rete con un'architettura standard	Si, <i>de facto</i> , nel <i>broadcast</i> , il punto di emissione (Head End) corrisponde alla CDN principale	No, la CDN può essere nell'AS dell'ISP, nel punto di interscambio o sulla big-Internet	Anche in questo caso mancano linee guida condivise per una rete IP. Dove dovrebbe essere la sorgente del contenuto? In un punto di interscambio?	
Presentazione dei contenuti in rete standardizzata	Si, e regolata	Manca completamente un <i>framework</i> condiviso	Rappresenta una condizione necessaria affinché si sviluppino volumi significativi che inneschino competizione tecnologica	
Terminali standard	Dispositivi a scaffale	No, app proprietarie scaricabili dai vari <i>store</i>	Senza un <i>framework</i> condiviso e una <i>user experience</i> comune, su rete IP i terminali non si omogeneizzano e quindi, non si diffondono con successo. Anche, le app dei maggiori smart Tv o STB, in genere richiedono traffico Unicast, sia per contenuti live che on demand, anche perché chi realizza le app, non saprebbe dove andare a cercare i canali Multicast.	
Video On Demand	No	Si, ma genera traffico Unicast	La rete IP offre un canale di feedback tra ricevitore e sorgente che consente l'ottimizzazione della compressione e della trasmissione del contenuto. Tuttavia il consumo di banda cresce linearmente con il numero di «ascoltatori». La rete IP ha capacità sufficiente? I punti di interscambio già mostrano i primi fenomeni di saturazione.	
Linear Tv/Live	Si, sempre	Si, ma sostenibilità tecnica dipende dall'uso del Multicast	Per la rete IP, se usato il Multicast, un evento con alto numero di ascoltatori non crea una criticità nelle risorse. Diverso è il caso dei flussi Unicast.	

della Tv in streaming, sia per i servizi live sia in particolare per i servizi di televisione lineare gratuita a diffusione universale. Il *framework* condiviso tra emittenti/fornitori di contenuti (Fsma), operatori di rete e ISP, produttori di apparecchiature, di terminali e di app, può essere realizzato attraverso la creazione di un tavolo tecnico allargato alle componenti sopra indicate indirizzato dal decisore politico e dal regolatore, visto l'interesse pubblico sotteso a tale obiettivo. Il tavolo tecnico di cui si propone la creazione sarebbe più esteso di quello che, come visto precedentemente, è stato avviato da Agcom con un obiettivo che, da quanto si legge nel comunicato ufficiale, riguarda esclusivamente le condizioni tecniche implementative inerenti alla fornitura da parte di Tim della funzionalità Multicast per i servizi VULA.

L'adozione generalizzata del Multicast richiede investimenti da parte di tutti i soggetti coinvolti. Gli ISP, ad esempio, dovrebbero sostenere costi aggiuntivi per la messa a disposizione dei contenuti in Multicast così come i produttori di apparati, che dovrebbero essere indirizzati a adeguare il profilo dei terminali per supportare questa nuova tecnologia, con l'obiettivo di una futura situazione in cui la trasmissione Multicast sia massivamente disponibile per la trasmissione dei servizi di televisione gratuita a diffusione universale.

Per tali motivi si auspica che un tale processo possa essere supportato da investimenti pubblici adeguati per aprire la strada all'innovazione.

Dal punto di vista operativo, una possibile prima fase di costruzione del *framework* condiviso potrebbe essere avviata con un progetto sperimentale, dove il contenuto viene messo a disposizione dei maggiori IXP italiani, ai quali gli ISP possano connettersi e avere a disposizione il flusso video delle emittenti principali pronto per essere diffuso fino agli utilizzatori finali. Anche questo richiederebbe un impegno economico da parte degli IXP dovuto agli accordi con i fornitori di CDN e il server Multicast che potrebbe essere ricompreso nella politica di incentivi prima delineata, attraverso ad esempio forme di coinvestimento.

Dal lato dei *device*, si dovrebbe individuare un set minimo di funzionalità da supportare per l'utilizzo del Multicast,

ivi incluso anche l'aspetto di *prominence* dei contenuti dei servizi di interesse generale per poter creare un programma leggero e flessibile di «certificazione» del terminale (*Multicast streaming ready*).

Si ribadisce che il Multicast per trasmissioni di contenuti lineari o live, insieme a protocolli di livello applicativo, consentirebbe di conoscere il numero esatto di dispositivi connessi all'evento, superando l'approccio statistico delle rilevazioni attuali e anche il limite fondamentale della pubblicità televisiva, ovvero, quello dell'incertezza sul numero di visualizzazioni. Ove questa funzionalità fosse disponibile anche per la pubblicità dei programmi televisivi lineari, certamente il comparto ne beneficerebbe perché si avrebbe maggior qualità nella reportistica per le aziende che investono in pubblicità.

Inoltre, uno dei principali benefici conseguenti dalla implementazione del *framework* condiviso sopra descritto, relativo alla disponibilità di uno standard Multicast utilizzato da tutti gli OTT e dagli operatori di rete, sarebbe costituito da una possibile «normalizzazione» dei terminali, anche in attesa di una loro convergenza al protocollo DVB-I.

In relazione all'approccio da seguire per l'implementazione a regime del Multicast, si individuano due possibili soluzioni che potranno essere adottate in funzione delle scelte dei *policy maker* e del regolatore.

Il primo approccio, di natura impositiva (top-down), prevede che siano specificati almeno i seguenti aspetti:

- regolamentazione dell'obbligo di messa a disposizione da parte degli Fsm dei contenuti su specifici gruppi Multicast dei contenuti, definendo le configurazioni architetturali (CDN, Multicast server) e il formato dei contenuti;

- obblighi per gli operatori di propagare sulla loro rete e scambiare con gli altri i gruppi Multicast delle varie emittenti specificando i requisiti tecnici minimi (*owner*, interfacce di riferimento, qualità servizio/perdita pacchetti);

- copertura a banda ultralarga dell'intero nazionale, prevista – con il Piano Italia 1G – al 2026, ma è ancora incerto l'effettivo *take-up*;

- la realizzazione di un servizio di *mapping* emittente/gruppo Multicast, necessario per la fruizione da parte

dell'utente, in maniera analoga a quanto si può realizzare attraverso l'implementazione della specifica DVB-I.

Un tale approccio richiederebbe quindi un intervento diretto del *policy maker* e del regolatore, necessario nel caso di migrazione della Tv lineare in chiaro dalla piattaforma del digitale terrestre allo streaming IP. Sarebbero infatti necessarie alcune misure, quali ad esempio l'intervento statale per l'accesso universale alla connettività o l'aggiornamento della regolamentazione della Net Neutrality, in quanto i servizi di Tv lineare dovrebbero rientrare tra quelli a *zero rating*. Il vantaggio principale sarebbe quello di definire una tempistica precisa per la migrazione alla Tv in streaming a fronte però di uno sforzo regolamentare notevole, a causa della numerosità dei soggetti coinvolti e della complessità dei temi da affrontare.

Del tutto differente risulta invece il secondo approccio volontaristico (bottom-up) per il quale i soggetti coinvolti (Fisma, operatori di rete, ISP, CDN provider) implementano le azioni necessarie per l'introduzione della Tv lineare gratuita in Internet collaborando per:

- la messa a disposizione volontaria dei contenuti su specifici gruppi Multicast;
- la propagazione sulle reti e lo scambio con altri operatori dei gruppi Multicast delle varie emittenti;
- l'offerta del servizio agli utenti seppure, in fase di avvio, non in una logica di servizio universale;
- la definizione di un'app per i sistemi operativi delle principali smart Tv, nelle more di soluzioni standardizzate.

Questo approccio si configurerebbe come la prosecuzione della fase sperimentale prima descritta e sarebbe quindi fondato sulla libera scelta di collaborazione dettata dalle nuove opportunità e dal mercato con intervento minimo delle risorse pubbliche per guadagnare velocità di implementazione, collezionare *best practice* e costruire un percorso graduale di affiancamento della Multicast Tv alla DTT. Questo approccio quindi si rende interessante per un avvio graduale della Tv lineare gratuita in streaming, rendendo merito alla storia di Internet, la cui crescita e disponibilità di contenuti è stata spesso basata sull'evoluzione spontanea.

Anche in questo caso potrebbero essere comunque necessari aggiornamenti regolamentari quali ad esempio quello prima citato sulla Net Neutrality e lo *zero rating*.

Quale beneficio principale, l'approccio bottom-up consentirebbe all'intero sistema di guadagnare esperienza nel tempo con una crescita graduale. Proprio come il DVB-T ha ereditato le esperienze positive della Tv analogica in termini tecnici, regolamentari e anche tecnologici. L'armonizzazione della regolamentazione sull'intero sistema potrebbe essere perseguita con tempistiche più estese e maggior concertazione, evitando quindi contrapposizioni tra *stakeholder* e *policy maker*/regolatore. Per contro, potrebbero emergere criticità in relazione alla mancanza di standardizzazione sul lato terminale che potrebbe limitare, almeno in fase iniziale, la fruizione dei servizi da parte degli utenti.

La seconda proposta riguarda la realizzazione di una app unica per la visione dei contenuti della Tv lineare gratuita. L'attuazione di entrambi gli approcci per l'implementazione del Multicast sopra descritti sarebbe fortemente incentivata dalla realizzazione di una app unica e comune a tutti i servizi di Tv in streaming che renderebbe più facilmente fruibile la visione dei servizi di interesse generale su Internet. La creazione di una tale app (indicata anche come SuperAPP) favorirebbe la visualizzazione su tutti i dispositivi Tv e portatili, come smartphone e tablet, che spesso vengono preferiti alla Tv, anche in casa, proprio perché in alcune circostanze risultano più pratici ed ergonomici. La SuperAPP dovrebbe incorporare nativamente i protocolli Multicast e costituirebbe una sorta di «sintonizzatore» dei servizi di interesse generale disponibili via Internet, incentivando anche gli editori di Tv lineare a rendere disponibile la loro offerta in streaming e facilitando l'attività dell'utente che potrebbe non dover installare una differente app per ogni editore o acquisire le URL dei canali Tv su Internet.

Questa applicazione solleverebbe l'utente che attualmente accede in streaming ai canali della Tv lineare – quando disponibili – dalla necessità (e scomodità) di entrare e uscire dalle app dei differenti operatori quando vuole cambiare «canale». La *user experience* della SuperAPP corrisponde-

rebbe quindi a quella dell'uso del telecomando della Tv, che consente rapidamente di cambiare canale sul DTT indipendentemente dal *broadcaster* e dal MUX che trasporta il canale stesso. Evidentemente una tale applicazione richiede che tutti i programmi di interesse generale della Tv lineare sul digitale terrestre vengano resi disponibili alla SuperAPP sulla rete Internet, in modalità Multicast, attraverso un link diretto senza avere la necessità di intermediazione delle app predisposte da ciascun operatore.

In definitiva, la SuperAPP dovrebbe utilizzare un registro regolato dei link ai canali di Tv lineare di interesse generale a disposizione su Internet per accedere ai programmi consentendo all'utente un cambio di canale più agevole e veloce³². La SuperAPP si limiterà a «sintonizzare» la sola programmazione disponibile su Internet al contrario dello standard DVB-I, descritto nel capitolo 5, che può far accedere anche ai canali terrestri o satellitari. Tuttavia, in qualche misura, la SuperAPP potrebbe anticipare lo standard DVB-I o anche, in prospettiva, costituire una sua «approssimazione» nei televisori sui quali non sarà possibile installare lo standard DVB-I.

La terza proposta che viene avanzata in questa sede, riguarda la creazione di una «CDN pubblica» per la distribuzione dei servizi di interesse generale. I nodi di questa «CDN pubblica» potrebbero essere installati presso i principali operatori di rete e gli IXP mettendo a disposizione di tutti gli ISP e quindi di tutti gli utenti i programmi disponibili sulla piattaforma digitale terrestre. La CDN pubblica potrebbe essere realizzata in differenti modi (ad es. operatore di servizio pubblico audiovisivo, consorzio di operatori audiovisivi, affidamento a un operatore di rete Internet) ma indipendentemente dalla forma realizzativa lo

³² Si fa presente che un'app simile, denominata «Radioplayer», è stata già sviluppata in ambito radiofonico con la partecipazione di una pluralità di editori radio (www.radioplayer.it). Attraverso l'app, l'utente può sintonizzarsi su tutte le radio che hanno aderito all'iniziativa, in maniera veloce senza uscire ed entrare in una nuova applicazione. L'app è disponibile per i diversi sistemi operativi degli smartphone e, recentemente (settembre 2022), è stata resa disponibile nel sistema operativo di Sky Q.

scopo è quello di rendere facilmente disponibili a tutti gli operatori di accesso Internet, con costi e condizioni garantite, i contenuti della Tv lineare gratuita. In tal modo, tutte le emittenti presenti sul digitale terrestre sarebbero incentivate a conferire i loro contenuti alla CDN pubblica.

Coerentemente con quanto proposto precedentemente in merito al protocollo Multicast, in prospettiva i contenuti della CDN pubblica dovrebbero essere resi disponibili con questo protocollo.

I contenuti della CDN pubblica potrebbero anche essere estesi a contenuti ulteriori rispetto a quelli distribuiti attraverso il digitale terrestre in dipendenza delle sue modalità realizzative e delle forme di finanziamento per la sua realizzazione e operatività.

In conclusione, nel descrivere tutte le componenti costitutive della Tv in streaming si è cercato soprattutto di comprendere la sostenibilità tecnica di questo mezzo di trasmissione, in particolare in presenza di eventi live, e di trovare risposta a una questione fondamentale, ossia se i servizi Tv di interesse generale possano essere offerti, in maniera analoga a quanto avviene oggi con la piattaforma DTT, a 24 milioni di famiglie garantendo, sotto il profilo tecnico, l'integrità della rete Internet. Evidentemente i profili tecnici non possono essere disgiunti da quelli economici e sociali. Per quanto riguarda l'aspetto economico, il costo di accesso a Internet dovrebbe essere abbordabile per tutta la popolazione mentre, per gli aspetti sociali, occorre assicurarsi che siano disponibili le competenze digitali tali da superare il c.d. *digital divide*.

In merito al profilo tecnico si è visto come l'adozione di soluzioni tecniche quali il Multicast, in maniera armonizzata tra tutti gli OTT, gli operatori e i produttori di dispositivi, consentirebbe di garantire il corretto funzionamento della rete Internet anche in presenza di una crescita significativa della Tv in streaming e delle c.d. «bombe di traffico» che possono generarsi in occasione di specifici e popolari eventi ad esempio il calcio. Appare inoltre prioritario realizzare delle reti CDN efficienti per sostenere l'impatto generato dalla distribuzione della Tv lineare per i servizi di interes-

se generale. Tuttavia il percorso di implementazione del Multicast appare lungo e complesso e anche il tema della realizzazione di CDN ubiquo e performanti non è stato ancora affrontato in maniera omogenea.

In merito al profilo economico, allo stato l'accesso a Internet a banda ultralarga, seppur in un contesto di riduzione dei prezzi per i consumatori, presenta ancora criticità in quote significative della popolazione, in particolare per quelle fasce sociali che, per caratteristiche di età o di condizioni economiche, non hanno intenzione di dotarsi di tale mezzo.

Per i motivi sopraesposti, il gruppo di lavoro ritiene che a breve-medio termine la Tv in streaming su IP non riesca a conseguire caratteristiche di universalità e abbordabilità analoghe al digitale terrestre e tali da poterlo sostituire. Allo stato non risulta, inoltre, nemmeno possibile ipotizzare un orizzonte temporale di sostituzione dei due mezzi trasmissivi.

Appare invece più ragionevole pensare un percorso di complementarità tra le due piattaforme, la cui durata dipende dall'adozione dei pre-requisiti tecnici (rete di accesso ubiqua, Multicast in rete e nei terminali, CDN efficiente) nonché dalla soluzione delle questioni di natura economica e sociale relativa all'accesso a tale servizio.

In ogni caso, è necessario che il completamento del percorso di affiancamento tra *broadcast* e streaming avvenga in coerenza con le date di adozione di eventuali decisioni a livello internazionale sull'uso della banda UHF per il *broadcast* terrestre in via esclusiva o in co-primarietà con i servizi mobili. In questo ultimo caso la conseguente riduzione delle frequenze in dotazione per la televisione digitale terrestre richiederebbe una Tv in streaming effettivamente in grado di sostituire pienamente l'offerta televisiva universale a costi abbordabili. Se così non fosse il sistema televisivo italiano non sarebbe più in grado di garantire una Tv universale gratuita a tutti gli utenti.