

# 5G Broadcast:

## sperimentazione e dimostrazioni

Andrea **Bertella**, Alessandro **Lucco Castello**, Davide **Milanesio**,  
Federico Maria **Pandolfi**, Silvio **Ripamonti**, Bruno **Sacco**, Giovanni **Vitale**  
Rai - Centro Ricerche, Innovazione Tecnologica e Sperimentazione

Nel prossimo futuro, grazie anche alla possibilità di operare in modalità broadcast oltre che interattiva, la **tecnologia 5G** permetterà di trasmettere video ad altissima qualità nel corso di eventi che coinvolgono ampie platee di pubblico, offrendo anche nuove opportunità nell'ambito del video immersivo a 360°, della realtà aumentata e dell'interattività da parte degli utenti. In questo ambito il **CRITS** (Centro Ricerche, Innovazione Tecnologica e Sperimentazione) della Rai ha portato avanti una serie di attività sperimentali e dimostrative per verificare e valutare gli effettivi benefici offerti da questa nuova tecnologia.

### SPERIMENTAZIONE IN VALLE D'AOSTA

La regione Valle d'Aosta è stata spesso il teatro di numerose sperimentazioni del **CRITS**, specialmente con l'avvento del digitale negli anni '90. Il motivo di questo connubio **CRITS-Valle d'Aosta** va cercato nella particolarità di questa regione che, a causa della sua orografia, offre un ambiente particolarmente complesso dal punto di vista della diffusione e della ricezione dei segnali; le numerose vallate laterali e il cospicuo numero d'impianti che sono necessari per coprire il territorio rendono la Valle d'Aosta perfetta per testare in maniera approfondita le *reti a singola frequenza*. Inoltre, la possibilità di percorrere una fitta rete stradale secondaria, accanto a quella principale del fondo valle, che spesso s'inerpica su scoscesi versanti montuosi frequentemente nascosti ai trasmettitori, rappresenta un banco di prova straordinario per la ricezione di segnali in movimento (si pensi alla *radio digitale DAB* o alla *TV mobile*). Infine, essendo così ben *schermata* dal resto del territorio

*Il Centro Ricerche, Innovazione Tecnologica e Sperimentazione Rai, con il supporto di Rai Way e della Sede Regionale Rai di Aosta ed in collaborazione con la Technische Universität Braunschweig (Germania), ha sperimentando in Valle d'Aosta il profilo broadcast FeMBMS della Release 14 del 3GPP, il più avanzato precursore della tecnologia 5G broadcast.*

*La sperimentazione è stata implementata sulla rete diffusiva di Rai/Raiway sfruttando cinque trasmettitori terrestri d'alta potenza in isofrequenza.*

*A coronamento dell'attività sperimentale sono state poi organizzate due dimostrazioni per illustrare le potenzialità del 5G per la ricezione televisiva su telefoni cellulari e tablet di futura generazione. La prima dimostrazione ha avuto luogo, in prima mondiale, in occasione dei Campionati Europei di Atletica EC 2018 di Glasgow e Berlino (2-12 agosto 2018), utilizzando in diretta le immagini prodotte dall'EBU allo stadio di Berlino. La seconda si è svolta nel giugno 2019 a Torino in occasione dell'annuale Festa di San Giovanni.*

#### Alcuni acronimi utilizzati nell'articolo

DAB: Digital Audio Broadcasting  
DVB: Digital Video Broadcasting  
EBU: European Broadcasting Union  
LTE: Long Term Evolution  
3GPP: 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project  
IRT: Institut für Rundfunktechnik  
HD: High Definition  
UHD: Ultra High Definition (4K)  
HDR: High Dynamic Range  
HEVC: High Efficiency Video Coding  
FeMBMS: Further enhancements on evolved  
Multimedia Broadcast Multicast  
Service

nazionale, grazie alle imponenti vette montuose circostanti, e avendo un numero limitato di canali occupati rispetto al resto del Paese, la regione Valle d'Aosta permette una maggior flessibilità nell'assegnazione di frequenze per la sperimentazione.

In Val d'Aosta, nel 1995-96, agli albori della radio digitale, fu condotta un'intensa campagna di misure sul DAB di cui si può ripercorrere la storia in [1]; quando il digitale terrestre muoveva i primi passi, sul finire degli anni '90, si sperimentò la possibilità di trasferire sui ponti radio analogici il segnale DVB-T [2]; nei primi anni del 2000 si svolsero importanti test pre-operativi del digitale terrestre [3]; fra il 2013 e il 2014 furono condotti i test sul DVB-T2 Lite, lo standard nato in seno al DVB-T2 per la ricezione mobile [4]. I risultati di quest'ultima sperimentazione sono stati descritti in un articolo presentato all'*International Broadcasting Convention (IBC)* del 2014 e premiato come miglior articolo della conferenza [5].

A partire dal 2015 la Valle d'Aosta ha ospitato numerosi test, condotti dal CRITS in collaborazione con la TUBS (*Technische Universität Braunschweig*, Germania), basati sull'utilizzo di tecnologie, derivanti dagli standard telefonici (ovvero del 3GPP), per la trasmissione in broadcast di contenuti video verso terminali mobili (tipicamente smartphone). In una prima fase si è utilizzata una tecnologia 4G (LTE), opportunamente modificata per poter operare in una rete a singola frequenza diffusa da torri televisive (chiamata LTE-A+) [7], inserita nei *Future Extension Frame (FEF)* di un segnale DVB-T2, alla stregua di quanto fatto con il DVB-T2 Lite [4]. In una seconda fase si è passati ad una trasmissione solo LTE-A+, abbandonando l'idea di associarla ad una trasmissione DVB-T2 rivolta alla ricezione fissa. Infine, sono stati effettuati test sugli apparati di trasmissione e ricezione aggiornati alla *Release 14 del 3GPP* [6], relativa al 4G, che ha introdotto importanti novità nel **profilo broadcast**, quali, tra le altre, la possibilità di gestire reti con trasmettitori distanti fino a 40-60 km in modalità isofrequenza (*SFN, Single Frequency Network*) grazie all'estensione del *prefisso ciclico* fino a 200  $\mu$ s e la possibilità di utilizzare il dispositivo mobile in modalità di ricezione broadcast in modo indipendente dalla presenza di una SIM.

### DIMOSTRAZIONI DURANTE EC 2018

Per tutti questi motivi, ed essendo già pronta l'infrastruttura di distribuzione e trasmissione dei segnali, la Valle d'Aosta è stata nuovamente scelta nell'agosto 2018, in occasione dei *Campionati Europei di Atletica Leggera EAC 2018 di Berlino* (1-12 agosto 2018), per la prima trasmissione sperimentale in Italia di un **evento live** in modalità **5G Broadcast**.

Il *Dipartimento Tecnico* dell'EBU (Svizzera), il CRITS e l'IRT (*Istituto sulle Tecnologie Broadcast*, Germania), utilizzando in diretta le immagini prodotte dall'EBU durante le gare, hanno presentato le loro attività sul 5G con prove sul campo e dimostrazioni eseguite a Monaco di Baviera e in Valle d'Aosta. L'importante iniziativa fa parte di un piano articolato di collaborazioni internazionali della Rai, particolarmente impegnata con l'EBU nella valutazione e nella ricerca nel campo delle tecnologie 5G.

Le sperimentazioni in questo ambito hanno mostrato come le tecnologie mobili d'avanguardia della famiglia 5G potrebbero essere utilizzate nel prossimo futuro per la distribuzione di contenuti e servizi di media di servizio pubblico. Le prove e le dimostrazioni effettuate hanno validato un nuovo approccio in cui le tecnologie mobili sono implementate su un'infrastruttura di *rete broadcasting terrestre convenzionale* invece che su una rete di tipo cellulare e sono configurate per soddisfare specifici requisiti di servizio, come l'offerta in chiaro, una copertura territoriale estesa e una distribuzione efficiente dal punto di vista dei costi per i dispositivi mobili.

Nel dettaglio, il CRITS, con il supporto di Rai Way e della *Sede Regionale Rai di Aosta*, in collaborazione con la TUBS, ha sperimentato l'**FeMBMS** definito nella *Release 14 del 3GPP*, il più avanzato precursore della tecnologia **5G Broadcast**. La dimostrazione, implementata sulla rete sperimentale broadcast della Rai in Valle d'Aosta, prevedeva la ricezione via satellite dei segnali in diretta dai campi di gara, e la loro ritrasmissione verso i dispositivi mobili, in situazioni di mobilità lenta e veloce e con qualità HD, tramite cinque trasmettitori terrestri d'alta potenza operanti in singola frequenza.

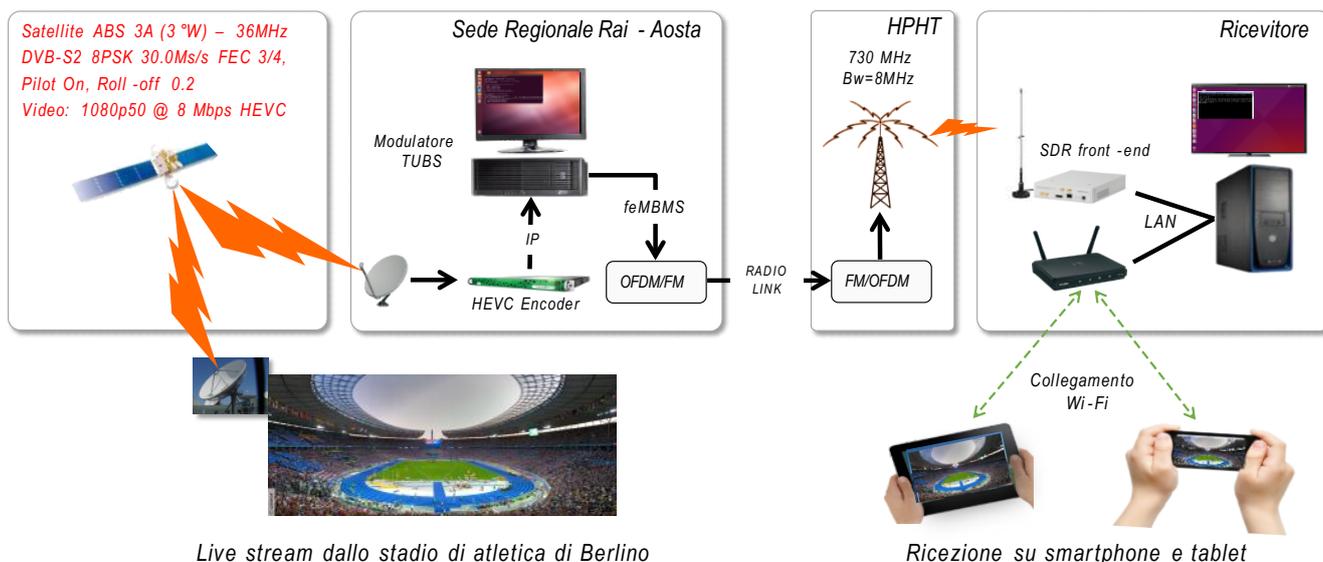


Fig. 1 – Schema di trasmissione per la dimostrazione in Valle d'Aosta

Contemporaneamente, il medesimo programma veniva anche trasmesso, in versione UHD utilizzando la tecnologia terrestre DVB di seconda generazione, in chiaro verso televisori fissi in grado di visualizzare il formato UHD ad alta gamma dinamica (HDR) e ad alta frequenza di immagine (HFR con riprese a 100 Hz).

Per realizzare questa dimostrazione, all'interno della Sede Regionale Rai di Aosta Saint Christophe, è stata allestita una postazione in grado di ricevere il contributo satellitare, appositamente predisposto dall'EBU, contenente, oltre al segnale UHD HDR HFR destinato alla ricezione fissa, anche un flusso HD a 8 Mbit/s codificato in HEVC destinato alla dimostrazione sui dispositivi mobili.

Una volta ricevuto, questo flusso HD a 8 Mbit/s è stato adattato ad un bit rate compatibile con la modalità di modulazione (Modulation and Coding Scheme, MCS) prescelta per la dimostrazione. I test condotti nei mesi precedenti l'evento hanno mostrato che la modalità in grado di garantire il miglior compromesso fra robustezza (e quindi copertura del territorio in mobilità) e capacità trasmissiva è il modo MCS 7, a cui corrisponde una modulazione QPSK con code rate  $\frac{1}{2}$ . Il bit rate disponibile in tale modalità è pari a circa 4,8 Mbit/s, valore al quale è stato codificato il flusso prima di essere inviato al modulatore sperimentale realizzato in collaborazione con la TUBS. Questo modulatore fornisce in uscita un segnale RF

aderente alla definizione dell'FeMBMS presente nella Release 14 del 3GPP, precursore, come già accennato, del futuro profilo broadcast che sarà inserito, a partire dalla primavera 2020, nello standard 5G per la telefonia.

All'epoca dei test e della dimostrazione non erano ancora disponibili apparati per la sincronizzazione dei trasmettitori all'interno di reti a singola frequenza. Per fare in modo che la trasmissione dei segnali avvenisse ugualmente in modo sincrono dai vari trasmettitori impiegati, il segnale RF generato presso la Sede Regionale di Aosta è stato distribuito in quota ai trasmettitori (HPHT, High Power High Tower) attraverso un ponte radio analogico, per poi essere diffuso sul canale 53 a 730 MHz. Allo scopo di inserire gli opportuni ritardi statici che garantissero che i segnali ricevuti a partire dai vari trasmettitori nelle aree di copertura non fossero al di fuori del prefisso ciclico previsto, pari a  $200 \mu s$ , sono state inserite nei centri trasmettenti delle opportune linee di ritardo. Ad esempio, il segnale proveniente dal trasmettitore di Aosta Gerdaz, che dista 3-4 km dalla città di Aosta, è stato ritardato di  $100 \mu s$  per garantire, sul centro urbano di Aosta, la compatibilità con il segnale trasmesso da Saint Vincent-Salirod, sito distante circa 30 km dalla città.

La dimostrazione prevedeva la ricezione sia all'interno della Sede Regionale di Aosta, sia lungo le arterie urbane ed extra-urbane della città in mobilità. In

entrambi i casi, per ricevere e decodificare il segnale, è stato utilizzato un ricevitore sperimentale realizzato in collaborazione con la TUBS; questo ricevitore sostituisce, ad oggi, i chip che in futuro dovranno essere inseriti all'interno dei terminali mobili per abilitare la ricezione dei segnali 5G in modalità broadcast.

Data l'assenza di terminali riceventi compatibili, per consentire all'utente di apprezzare la qualità della ricezione del *live stream* sul proprio telefonino, è stato predisposto un collegamento Wi-Fi tra il ricevitore sperimentale e il terminale mobile, in modo da consentire la visione dell'evento sul display del dispositivo. Il video ricevuto su terminale è un flusso UDP a circa 4,8 Mbit/s, con codifica HEVC.



Fig. 2 – Postazione modulatore presso la sala ponti della Sede Regionale Rai di Aosta

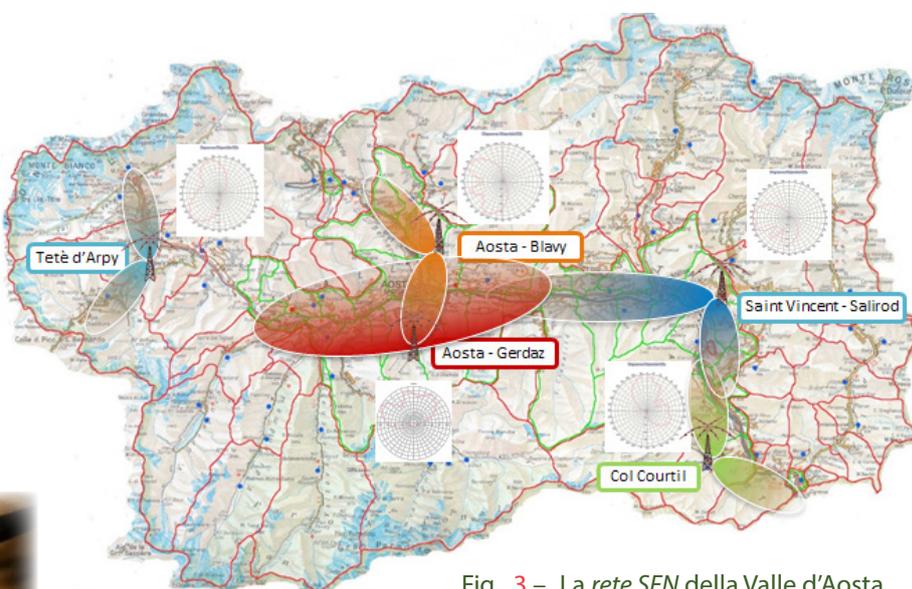


Fig. 3 – La rete SFN della Valle d'Aosta

Fig. 4 – Ricezione del *live stream* su terminale mobile

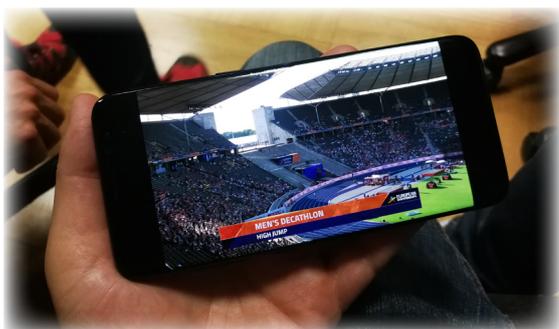


Fig. 5 – La Sede Regionale Rai della Valle d'Aosta



Fig. 6 – I trasmettitori di Aosta Gerdaz e Saint Vincent-Salirod

### DIMOSTRAZIONE A TORINO IN OCCASIONE DELLA FESTA DI SAN GIOVANNI

Sulla scia del successo della prima sperimentazione durante i *Campionati Europei di Atletica Leggera EAC 2018* e dato il crescente interesse nell'ambito della ricerca sulle tecnologie 5G, il 24 giugno 2019, in occasione delle celebrazioni in onore di San Giovanni, santo patrono di Torino, il *CRITS*, in collaborazione con *TIM (Telecom Italia Mobile)* e *Comune di Torino*, ha effettuato un altro test di diffusione di immagini ad alta definizione verso telefoni cellulari in modalità 5G Broadcast.

La trasmissione, ripresa da una regia mobile situata all'interno della centralissima piazza Vittorio Veneto e da droni messi a disposizione da *TIM*, è stata curata dal *Centro di Produzione Rai di Torino*, dalla *TGR Piemonte* e da *RaiNews24*. Le immagini, trasmesse in diretta televisiva sul canale *RaiNews24*, sono state inoltre integrate da riprese in 4K del territorio piemontese e della città di Torino.

Il *CRITS*, in contemporanea all'evento, ha curato la trasmissione sperimentale *live* delle immagini in tecnologia 5G Broadcast dal trasmettitore *Rai Way di Torino Eremo*.

Negli studi del *Centro di Produzione TV Rai* di Torino via Verdi è stata ricevuta la contribuzione via satellite delle immagini provenienti dalla piazza; queste ultime, una volta codificate attraverso un encoder *HEVC* in un flusso IP a circa 6 Mbit/s formato *HD*, sono state inviate mediante un ponte radio IP alla stazione trasmittente di *Torino Eremo*. Qui, attraverso l'impiego di un innovativo trasmettitore della *Rodhe&Schwarz* capace di implementare il profilo broadcast *FeMBMS* della *Release 14 del 3GPP*, il flusso è stato modulato utilizzando la modalità *MCS10*, corrispondente ad una modulazione *16QAM* con *FEC 0,31*, che consente di operare con un bit rate utile pari a 6,045 Mbit/s su una banda da 5 MHz. Il segnale RF, opportunamente amplificato mediante un *amplificatore ad alta potenza (HPA) VHF* a circa 120 W, è stato poi diffuso nell'etere sul canale sperimentale 11 VHF a 219,5 MHz.

Presso il *Museo della Radio e della Televisione Rai* di Via Verdi a Torino è stata allestita una postazione ricevente sperimentale. Per la demodulazione e decodifica del segnale ricevuto via etere è stato utilizzato lo stesso dispositivo messo a punto dalla *TUBS* e impiegato per la sperimentazione in Valle d'Aosta.

A differenza della precedente sperimentazione, in cui l'*ultimo miglio* tra ricevitore e terminale mobile era stato coperto facendo uso di un semplice router Wi-Fi (e dunque con una limitata capacità a disposizione), in questa occasione il programma trasmesso è stato reso disponibile ad un folto gruppo di docenti e studenti del Politecnico di Torino che, grazie ad una soluzione innovativa sviluppata da *Global Invacom* e basata su una distribuzione di tipo *Wi-Fi multicast*, hanno potuto apprezzare la nuova tecnologia direttamente sul proprio telefono cellulare.

Una simile dimostrazione è stata allestita anche in occasione dell'*IBC 2019*, all'interno dello stand *EBU*.

### Dettagli sulla distribuzione in Wi-Fi multicast per servire i terminali attualmente esistenti

La tecnologia 5G Broadcast consentirà di distribuire i contenuti audio/video live ad un numero potenzialmente molto alto di dispositivi riceventi senza duplicazione di traffico sulla banda disponibile, in modo analogo quanto avviene sui canali broadcast tradizionali.

Per poter mostrare compiutamente la tecnologia 5G Broadcast in una dimostrazione pubblica, non essendo ancora disponibili sul mercato terminali (smartphone o tablet) abilitati a tale tecnologia ma soltanto sistemi di demodulazione e decodifica prototipali, si è scelto, come detto, di coinvolgere i visitatori redistribuendo localmente su rete Wi-Fi il segnale 5G Broadcast ricevuto dal trasmettitore di Torino Eremo. In questo modo i visitatori presenti in sala, scaricando gratuitamente un'opportuna APP sul loro smartphone, hanno potuto vedere i contenuti in streaming come se il loro dispositivo fosse già abilitato alla tecnologia 5G Broadcast.

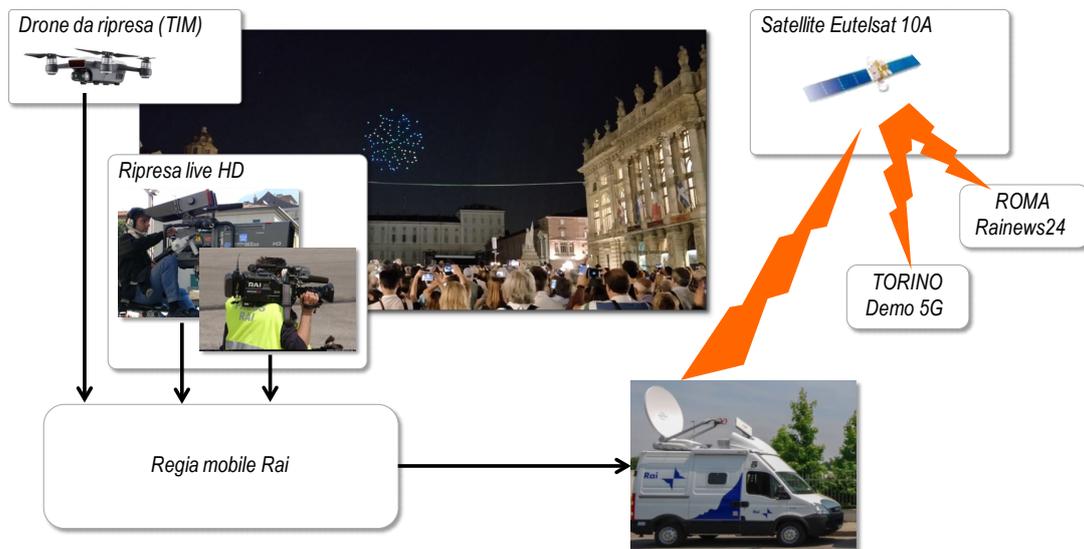


Fig. 7 – Contributi live provenienti dalla piazza della Festa di San Giovanni

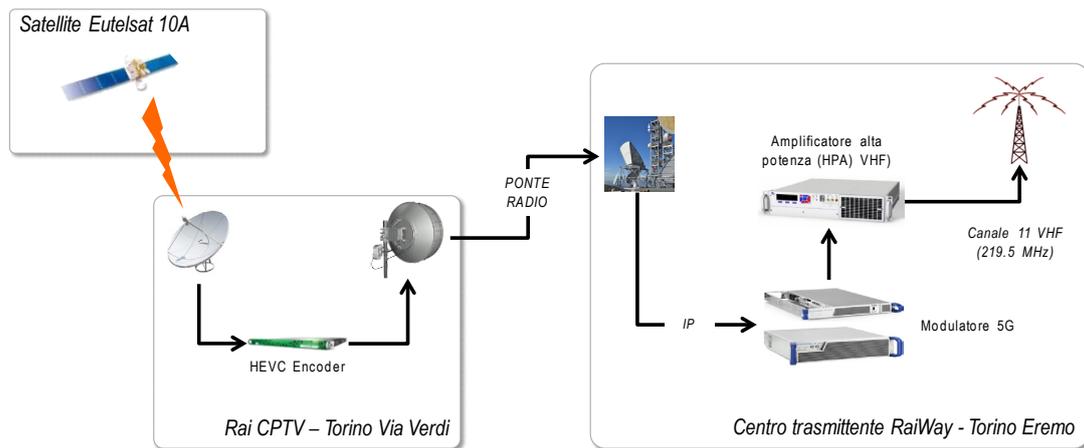


Fig. 8 – Ricezione della contribuzione via satellite e trasferimento del flusso verso il trasmettitore di Torino Eremo



Fig. 9 – Ricezione del segnale 5G broadcast presso il Museo della Radio e della Televisione Rai

Nella realizzazione tecnica di questa soluzione, occorre tuttavia considerare che, anche se si utilizza una trasmissione in modalità *IP multicasting*, normalmente sul collegamento Wi-Fi il traffico dati a livello fisico è comunque instaurato in modalità punto-punto: per ciascun dispositivo che sottoscrive il flusso multicast l'*access point Wi-Fi* stima il link budget ed assegna un certo numero di portanti e slot temporali con una specifica modulazione. Di conseguenza, al crescere del numero di utenti collegati, la banda disponibile sulla rete Wi-Fi si esaurisce rapidamente, soprattutto se il canale trasmissivo non è sufficientemente ampio ed è necessaria una modulazione robusta.

Per ovviare a questo inconveniente, è stata utilizzata una soluzione in tecnologia *Wi-Fi multicast* appositamente sviluppata da *Global Invacom* sfruttando le nuove funzionalità introdotte nello standard *IEEE 802.11ac (wave 2)*. In particolare, tale soluzione prevede l'utilizzo di due componenti principali:

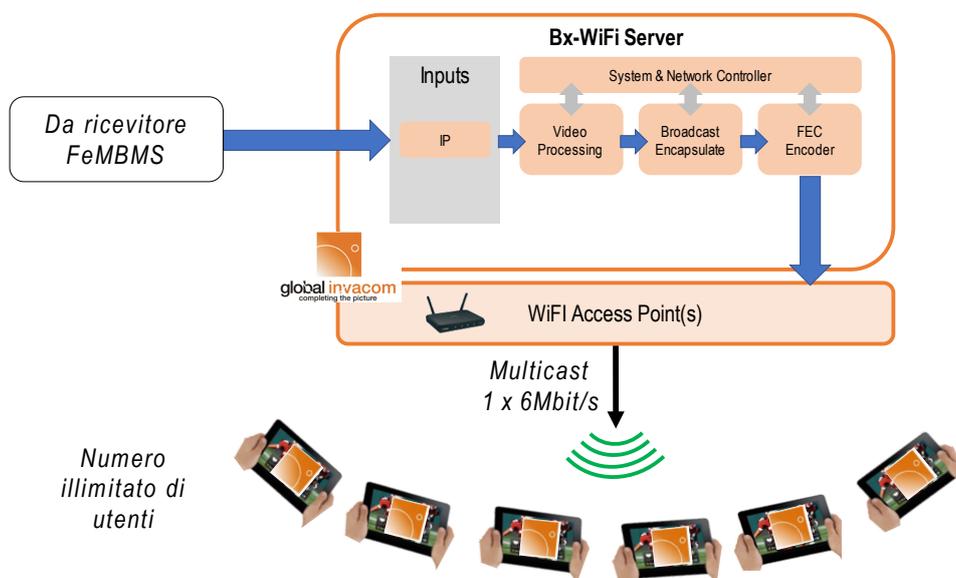
1. un server in grado di ricevere (ed eventualmente transcodificare) il segnale video in ingresso ed applicare un algoritmo di *FEC* (*Forward Error Correction*) a livello applicativo.

Tale server ha anche il compito di configurare e monitorare il modem/router di trasmissione;

2. un *access-point Wi-Fi* il cui firmware è stato opportunamente modificato da *Global Invacom* in modo da trasmettere il *flusso IP* in modalità multicast anche a livello fisico.

Con questa soluzione il numero di terminali che possono ricevere contemporaneamente il flusso audio/video è virtualmente illimitato. In realtà, una limitazione esiste ed è dovuta sia all'estensione del raggio di copertura Wi-Fi (la distanza tra access point e terminale è dell'ordine di grandezza di alcune decine di metri; a sua volta dipende dalla banda di frequenze utilizzate, 2,5 o 5 GHz, e dagli eventuali ostacoli presenti), sia al numero di terminali che possono essere associati contemporaneamente all'access point Wi-Fi (per motivi di memoria e di entità di traffico di segnalazione, negli apparati commerciali questo valore è limitato, ad es. a 256). È comunque possibile aumentare il numero di utenti, che possono essere serviti contemporaneamente, mediante un accurato progetto della copertura Wi-Fi, utilizzando più access point in configurazione *mesh* e, se disponibili, più canali radio.

Fig. 10 – Trasmissione in *Wi-Fi multicast*



Nel caso in esame, il flusso video *5G Broadcast* ricevuto da Torino Eremo, prima di essere distribuito ai terminali mobili è stato transcodificato in formato *H.264* in modo tale da renderlo compatibile con tutti i terminali presenti in sala, in quanto i terminali meno recenti non supportano il formato *HEVC*. Sul flusso così ottenuto è poi stato applicato un algoritmo di *FEC* in grado di minimizzare gli errori in ricezione.

Per quanto riguarda, invece, la trasmissione dall'access-point Wi-Fi, è stata scelta una modalità di modulazione in grado garantire contemporaneamente una corretta ricezione anche da parte dei terminali d'utente più lontani e una banda adeguata al flusso video da trasmettere (i.e. *MCS1*, corrispondente a modulazione *QPSK 1/2* che consente di trasportare fino a circa *13 Mbit/s* su un canale da *20 MHz*).

Sui terminali in sala è stato necessario utilizzare una *APP*, disponibile per dispositivi Android e iOS, sviluppata dalla stessa *Global Invacom*, in grado di individuare il flusso Wi-Fi multicast trasmesso dall'access point associato e decodificarlo.

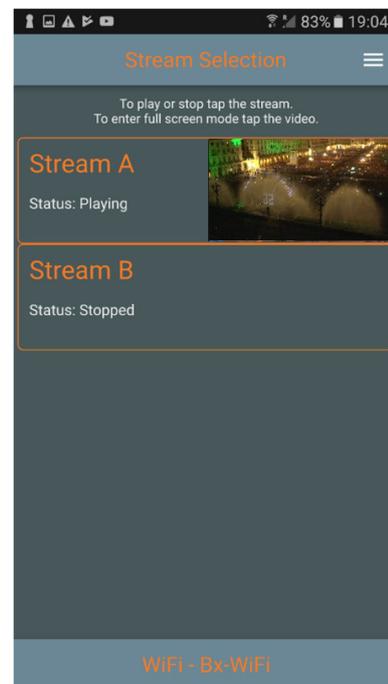


Fig. 11 – Ricezione in Wi-Fi multicast mediante APP *Global Invacom*

### BIBLIOGRAFIA

- [1] AA.VV., *Articoli vari*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno XLV, Numero 2 e 3, Dicembre 1996, <http://www.crit.rai.it/eletel/Important/Anni1990/1996-2e3.pdf>
- [2] A. Bertella, S. Berto, S. Mina, M. Tabone, *DVB-T: test sul collegamento in ponte radio analogico St. Vincent-Gerdaz*, Relazione Tecnica Rai-CRIT N° 99/13, Marzo 1999
- [3] P. B. Forni, S. Ripamonti, V. Sardella, *Sperimentazione pre-operativa DVB-T in area di servizio*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LI, Numero 1, Aprile 2002, pp 49-62, <http://www.crit.rai.it/eletel/2002-1/21-2.htm>
- [4] A. Bertella, A. Gallo, S. Ripamonti, M. Tabone, *DVB-T2 e DVB-T2 Lite: la sperimentazione in Valle d'Aosta*, in "Elettronica e Telecomunicazioni", Anno LXII, Numero 3, Dicembre 2013, pp. 12-34, <http://www.crit.rai.it/eletel/2013-3/133-3.pdf>
- [5] G. Alberico, A. Bartella, S. Ripamonti, M. Tabone, *DVB-T2 LITE: exploiting broadcast HDTV networks for services to mobile receivers*, IBC Conference 2014, DOI: [10.1049/ib.2014.0007](https://doi.org/10.1049/ib.2014.0007)
- [6] 3GPP TR21.914 v14.0.0 (2018-05), *3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 14 Description; Summary of Rel-14 Work Items (Release 14)*, <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3179>
- [7] S. Ilsen, D. Rother, F. Juretzek, P. Brétilon, J. Seccia S. Ripamonti, *Tower overlay over LTE-Advanced+ (TOL+) – Field trial results*, IEEE 5th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin) 2015, DOI: [10.1109/ICCE-Berlin.2015.7391283](https://doi.org/10.1109/ICCE-Berlin.2015.7391283)