

Scenari d'uso della tecnologia 5G per l'apprendimento dentro e fuori la scuola

Adriano Baratè, Goffredo Haus, Luca A. Ludovico,
Elena Pagani e Nello Scarabottolo

Dipartimento di Informatica "Giovanni Degli Antoni"
Università degli Studi di Milano
Via G. Celoria 18, 20133 Milano, Italia
nome.cognome@unimi.it

Abstract. La disponibilità della tecnologia 5G per la comunicazione ad alte prestazioni con dispositivi mobili apre nuovi scenari all'adozione di strumenti e metodi per la didattica multimediale a distanza, sinora destinati di fatto a un utilizzo su postazioni fisse. In questo articolo si analizzano da un lato i requisiti prestazionali della didattica multimediale e dall'altro le potenzialità della tecnologia 5G, per arrivare a delineare alcuni possibili scenari che questo binomio renderà possibili.

Keywords: 5G, educazione, BYOD.

1 Introduzione

L'utilizzo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT: *Information and Communication Technologies*) ha consentito da tempo il superamento della barriera tra apprendimento formale di gruppo all'interno della classe e studio individuale al di fuori del contesto scolastico. Le tipologie di supporti offerte allo studio individuale hanno però caratteristiche profondamente diverse: si va dalla semplice disponibilità di documentazione in rete, alla comunicazione audio e video in tempo reale, all'accesso a supporti multimediali, all'uso di ambienti di realtà virtuale e aumentata. La scelta di quali supporti utilizzare dipende naturalmente da molti fattori, non ultima la capacità dei docenti di utilizzare in modo adeguato le diverse tecnologie, ma senz'altro i supporti più avanzati presentano requisiti di trasferimento in tempo reale di grosse quantità di informazione, quindi possono essere adottati in presenza di connessioni ad alte prestazioni, tipiche delle postazioni fisse.

In Italia si sta attualmente sperimentando la tecnologia 5G per la comunicazione ad alte prestazioni con dispositivi mobili; grazie alle proprie caratteristiche tecniche, questa tecnologia consentirà l'implementazione di nuovi servizi, rivoluzionando tanto i modelli di comunicazione multi-direzionale quanto il reperimento di informazioni in mobilità. In questo lavoro si esplorano le possibili conseguenze di un utilizzo diffuso e consapevole del 5G in ambito didattico. In particolare, si mostra in che misura il 5G possa aprire la classe "tradizionale" a esperienze di interazione con il mondo esterno, e, di converso, come tale tecnologia, adottata al di fuori della scuola, possa estendere il

concetto di classe virtuale e geograficamente distribuita.

Il lavoro si articola nel seguente modo: la Sezione 2 riassume i requisiti in termini di ampiezza di banda, latenza e affidabilità per diversi tipi di applicazioni multimediali, allo scopo di valutarne l'adozione in un contesto 5G; la Sezione 3 fornisce una panoramica sulle caratteristiche della tecnologia 5G, partendo dalle potenzialità teoriche per come vengono definite dagli standard e analizzando successivamente l'esito delle prime sperimentazioni; la Sezione 4 si concentra sull'utilizzo della tecnologia 5G per la realizzazione di applicazioni multimediali in ambiente didattico, allo scopo di delineare possibili scenari di *mobile e-learning*; infine, la Sezione 5 presenta le conclusioni e delinea gli sviluppi futuri del presente lavoro.

2 Requisiti delle applicazioni multimediali

Le principali applicazioni multimediali che possono essere adottate in un contesto didattico presentano vari requisiti di ampiezza di banda, latenza e affidabilità della connessione fra fruitori ed erogatore. La Tabella 1 riassume tali requisiti.

Soffermandosi sugli aspetti di latenza, si nota che le applicazioni di streaming tollerano fino a qualche secondo di ritardo, mentre le applicazioni di videoconferenza bidirezionale sono più stringenti, con un ordine di grandezza di 100 ms perché la *Quality of Experience* (QoE) sia accettabile per gli utenti [1]. Per quanto riguarda la velocità di trasmissione dei dati, in condizioni ottimali la telefonia cellulare 4G sarebbe in grado di supportare lo streaming video di alta qualità in 4K [2], ma non la realtà aumentata (AR) né la realtà virtuale (VR) [3] [4] [5]. Come dimostrato in letteratura, al fine di garantire agli utenti un'esperienza immersiva realistica, si rende necessario abbattere la latenza sotto 10 ms, e per video di qualità "retina" la banda richiesta è dell'ordine dei Gbps.

Tabella 1. Prestazioni di rete attualmente richieste da alcune applicazioni multimediali.

Applicazioni	Ampiezza di banda	Latenza	Affidabilità
Streaming audio-video	≤ 3 Mbps	4-5 s	$\geq 95\%$
Streaming video in HD	4-8 Mbps	4-5 s	$\geq 95\%$
Streaming video in HD 3D	9 Mbps	4-5 s	$\geq 95\%$
Streaming video 4K	25 Mbps	4-5 s	$\geq 95\%$
Videoconferenza interattiva	≥ 2 Mbps	~ 100 ms	99% - 99,5%
Realtà aumentata	100 Mbps - 5 Gbps	1 ms	99% - 99,5%
Realtà virtuale interattiva	100 Mbps - 2.35 Gbps	10-30 ms	99% - 99,5%

3 Panoramica sulla tecnologia 5G

Il documento che descrive lo standard per la tecnologia 5G è stato pubblicato nel marzo

2018 nell'ambito del Third Generation Partnership Project (3GPP) e approvato ufficialmente nella riunione plenaria di giugno 2018 [6].

Scopo di questa sezione è analizzare le caratteristiche della tecnologia e le prestazioni ottenute in sperimentazioni sul campo, nell'ottica dei servizi utili per il supporto sia alla didattica in presenza – in classe o fuori – sia alle interazioni tra docenti e discenti in spazi virtuali.

3.1 Lo standard 5G

La tecnologia 5G si propone di fornire un supporto migliore ad applicazioni già esistenti e di introdurre servizi di telecomunicazione innovativi, ad esempio per la Internet delle Cose (IoT, *Internet of Things*) e per l'Industria 4.0. In Figura 1 si illustrano i futuri scenari per le telecomunicazioni *wireless*, organizzati in accordo ai servizi standard definiti per le reti 5G, rispettivamente: miglioramento della capacità trasmissiva per i dispositivi mobili (eMBB, *enhanced mobile broadband*), connettività massiva (mMTC, *massive machine type communications*), e altissima affidabilità unita a caratteristiche di bassa latenza (URLLC, *ultra reliable low latency communications*).

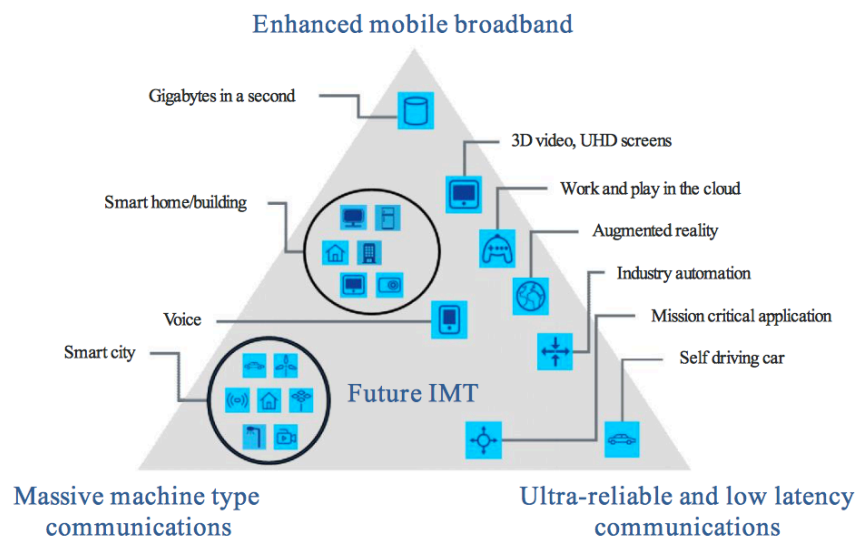


Figura 1. Scenari d'uso della tecnologia 5G (ITU-R M.2083-0).

In [7] è fornita una descrizione dei vari scenari. Relativamente a quelli di interesse per il presente lavoro, si distinguono:

- *Velocità incredibile* (“*amazingly fast*”) e *Connessioni in tempo reale e super-affidabili* (“*super real-time and reliable connections*”) – Gli utenti possono ottenere un'altissima velocità di trasmissione dei dati con connessioni istantanee, e a bassa latenza ed alta affidabilità. Questo è cruciale ad esempio per applicazioni basate sullo

scambio di molteplici flussi multimediali ad alta qualità.

- *Qualità di servizio ottimale anche in luoghi affollati (“great service in a crowd”)* – In futuro, anche in luoghi particolarmente affollati quali stadi o sale da concerto – dove attualmente la connettività è fortemente compromessa dalla compresenza di dispositivi che cercano di accedere alle risorse di rete in modo concorrente – sarà garantita un’esperienza di navigazione soddisfacente.
- *Esperienza ottimale in mobilità (“best experience follows you”)* – Anche per gli utenti che si spostano a velocità non trascurabili (in auto, con i mezzi pubblici, ecc.), la qualità di servizio garantita rimarrà alta.

I due scenari al primo punto sono di interesse per la possibilità di condivisione in tempo reale di video, che possono ad esempio essere sul dispositivo del docente o reperibili sulla cloud, e per la possibilità di arricchire la lezione con esperienze immersive in realtà virtuale o aumentata [8]. Gli ultimi due scenari attengono invece alla possibilità di realizzare una classe estemporanea utilizzando i dispositivi di docenti e discenti in un approccio *Bring Your Own Device* (BYOD) [9]; si pensi ad esempio a iniziative didattiche quali concerti, o rappresentazioni teatrali, o visite guidate in aziende, musei o luoghi storici. Grazie ai suddetti servizi 5G, in questi scenari diviene ora realizzabile l’agile condivisione, fruizione, e costruzione di contenuti, anche multimediali.

In particolare, il servizio eMBB [10] si focalizza su applicazioni che richiedono un trasferimento veloce di una grande quantità di dati, in ambiti come lo streaming video in tempo reale ad altissima definizione e il gioco online con video sferico a qualità 4K. Nel documento citato si delineano gli obiettivi per le applicazioni Media & Entertainment, con servizi TV per utenti mobili che richiedono fino a 100-200 Mbps (con picchi fino a 250 Mbps in scaricamento) e latenza inferiore a 100 ms. Come si nota dal confronto con Tabella 1, queste prestazioni potrebbero consentire di supportare anche applicazioni di realtà aumentata o realtà virtuale. Appare invece di scarso interesse il servizio URLLC che – benché in grado di soddisfare i requisiti di latenza e affidabilità di applicazioni AR/VR – fornirà una banda di soli 10 Mbps [11].

Nell’ottica della didattica BYOD, due caratteristiche del 5G sono molto interessanti. La prima è il supporto del multi-RAT (multi-radio access technology), che implica la coesistenza del 5G con altre tecnologie quali le reti mobili 4G, il Bluetooth e il WiFi. Appoggiandosi ad altre tecnologie di rete, è possibile risparmiare traffico relativo al 5G (si pensi ad esempio a piani tariffari che contemplano un massimo giornaliero o mensile di traffico dati), ancorché in alcuni casi l’ampiezza di banda garantita da tali tecnologie possa essere inferiore: mentre WiFi (versione 802.11ac) nei casi d’uso reali arriva fino a circa 200 Mbps, Bluetooth 5 raggiunge circa 2 Mbps. Un’alternativa è sfruttare la tecnologia LTE Direct: si tratta di un’integrazione al 4G LTE standardizzata a marzo 2015 che permette di alleggerire le stazioni base consentendo la comunicazione diretta tra dispositivi all’interno della stessa cella. Nel 2015 Deutsche Telekom ha effettuato un primo test di LTE Direct, validando in tal modo la realizzabilità dell’approccio [12]. LTE Direct ha un raggio di copertura radio maggiore rispetto al WiFi anche nelle aree urbane, supporta discretamente la connessione in mobilità (fino a 30 Km/h) e ha un tasso di trasferimento dati dell’ordine di 13 Mbps in scaricamento, compatibile quindi con i requisiti di videoconferenze interattive e streaming video HD 3D (Tabella 1).

La seconda caratteristica di interesse è l'adozione di piattaforme cloud nell'infrastruttura 5G [13], che apre numerose possibilità. Le piattaforme cloud possono ospitare grandi moli di informazioni, quali dati multimediali utili per applicazioni AR/VR, e grazie al 5G esse saranno in grado di erogarli agli utenti garantendo una alta qualità di fruizione. Simmetricamente, la cloud potrà immagazzinare contenuti prodotti da docenti e discenti per la condivisione sia immediata sia posticipata.

3.2 Preliminari misure di prestazioni

Finora sono state elencate le promesse e le aspettative legate al 5G; ma la situazione reale, misurata sul campo, potrebbe differenziarsi in maniera sostanziale rispetto a quanto previsto dallo standard. Allo stato attuale (inizio 2019), i servizi 5G sono in fase di sperimentazione all'interno di laboratori di ricerca e in alcune aree metropolitane (in Italia, si tratta di Milano, Prato, L'Aquila, Bari e Matera). Si è dunque condotta un'analisi dei dati disponibili provenienti da queste prime sperimentazioni, concentrandosi in particolare sulla realtà europea.

Per l'installazione Bari-Matera, il consorzio 5G-PPP [14] ha conseguito una velocità di trasferimento dati di 3 Gbps con una latenza di circa 2 ms [15]; in questo caso, l'approccio 5G è stato ibridato con la tecnologia LTE, mentre la migrazione verso il 5G puro è prevista per la metà del 2019.

L'Osservatorio europeo 5G fornisce dati provenienti da circa 180 prove ed esperimenti [16]. Dall'analisi dei dati emerge che le misure più realistiche hanno raggiunto una velocità di trasmissione da 700 Mbps a 1 Gbps; questo test è stato condotto in un'area urbana, quindi con una ragionevole densità di utenti. In generale, le latenze misurate sono molto contenute, dell'ordine di pochi millisecondi. Rifacendosi alla Tabella 1, queste prestazioni supportano in modo soddisfacente i requisiti di tutte le applicazioni multimediali attuali, compresa la realtà virtuale e aumentata, rendendo il 5G una tecnologia idonea per supportare l'implementazione di servizi innovativi per la didattica come quelli discussi nel seguito. Si consideri che tali risultati sono stati spesso ottenuti in infrastrutture 4G che stanno gradualmente migrando al 5G. In futuro è molto probabile che si ottengano risultati migliori, grazie all'evoluzione delle componenti hardware e software. Inoltre, le prestazioni realmente osservate dagli utenti dipenderanno in gran parte dal mix di traffico dovuto ai diversi servizi che verranno messi a disposizione e da come essi si contenderanno le risorse di rete.

4 Applicazioni didattiche del 5G

In virtù delle caratteristiche attese del 5G, è possibile ipotizzare un'evoluzione di servizi già disponibili in ambito didattico, così come l'introduzione di nuove funzionalità che combinino i più recenti avanzamenti tecnologici con la possibilità di fruirne in mobilità su dispositivi personali.

Rifacendosi alla Tabella 1 e ipotizzando una declinazione educativa delle applicazioni esemplificate, si può innanzi tutto evidenziare il supporto offerto alla trasmissione di flussi audio-video, che dunque possono essere veicolati in grande numero, in modo

multidirezionale (provenienti in entrata al dispositivo da varie sorgenti e indirizzati in uscita verso vari dispositivi) e con contenuti ad alta qualità senza saturare la banda disponibile sulla stazione base e sul singolo dispositivo. Ciò consente di progettare e implementare oggetti didattici multi-livello, in cui la descrizione del contenuto informativo coinvolga diverse dimensioni e, per ciascuna di queste, proponga diverse istanze.

A titolo di esempio, rifacendosi all'ambito musicale, si possono citare standard multi-strato quali l'IEEE 1599 [17], che consente di codificare all'interno di un unico documento informazione eterogenea in merito a simboli musicali (livello logico), partiture (livello notazionale) ed esecuzioni reali (livello audio) e sintetiche (livello performance), oltre a metadati sul brano e informazioni sulla sua struttura. A ciascuno dei livelli menzionati un documento IEEE 1599 permette di collegare più istanze, ad esempio più tracce audio o più versioni della partitura, mutuamente sincronizzate. Un approccio di questo genere nell'apprendimento della musica consente di personalizzare, e in molteplici modi, la fruizione da parte degli utenti, venendo incontro a differenti esigenze didattiche. Ad esempio, la compresenza di materiali grafici e audio mutuamente sincronizzati consente una visualizzazione della partitura in sincrono con l'esecuzione audio, adatta all'apprendimento della notazione musicale occidentale e, più in generale, allo sviluppo di abilità nella lettura della partitura; la compresenza di più versioni della partitura consente di confrontare grafie diverse (ad esempio, l'autografo con una versione a stampa più leggibile), studiare le variazioni nelle edizioni via via succedutesi, apprendere forme di notazione musicale differenti (ad esempio, i neumi o le intavolature) confrontandole con quella di uso comune, adottare forme notazionali semplificate per avvicinare i discenti al linguaggio musicale (si veda, ad esempio, [18]); la compresenza di differenti versioni audio permette di comparare in tempo reale le esecuzioni da parte di diversi interpreti, confrontando il gesto esecutivo, l'evoluzione nel gusto interpretativo, e via dicendo. A tutto questo, si sovrappone la possibilità di introdurre versioni appositamente studiate dei suddetti materiali per venire incontro a esigenze specifiche: un livello di notazione colorata per studenti affetti da disturbi specifici dell'apprendimento, una partitura semplificata per musicisti alle prime armi, diversi livelli di analisi strutturale di uno stesso brano a seconda degli obiettivi del docente e delle competenze degli allievi, e così via.

Tale approccio, qui esemplificato sul caso di studio musicale, può chiaramente essere generalizzato a qualsiasi materia di studio che tragga beneficio da una visione multi-livello. Il rovescio della medaglia consiste nella necessità di inviare molteplici flussi multimediali audio e video, tipicamente ad alta qualità; ma le caratteristiche di banda garantita dal 5G vengono incontro a tali esigenze, come argomentato in [19] per quanto concerne l'educazione musicale e in [20] rispetto a un corso universitario erogato in modalità on-line.

Gli aspetti di bassa latenza e alta velocità di trasmissione dei dati migliorano sensibilmente anche gli approcci di insegnamento a distanza che ricadono nella categoria della videoconferenza interattiva, ma di questo aspetto ci occuperemo più diffusamente nella prossima sezione.

Riguardo ai servizi innovativi che il 5G potrà introdurre in ambito didattico, vale la pena citare le applicazioni più esigenti in termini di consumo di banda e di responsività,

tra cui esperienze didattiche incentrate sulla realtà aumentata e sulla realtà virtuale. Diventerà dunque possibile ricreare su dispositivi portatili attività di laboratorio a distanza, anche in mobilità, così come personalizzare l'esperienza utente all'interno di luoghi affollati (si pensi agli studenti presenti in un'aula, ciascuno dotato di un proprio visore). Uno degli aspetti più critici riguarda la sensazione di isolamento in cui il discente si trova quando immerso in uno scenario di realtà virtuale [21], il che confligge, solo per citare un esempio, con i vantaggi della *peer cooperation*; tuttavia le caratteristiche del 5G consentono di progettare e realizzare esperienze VR condivise, quali ad esempio quelle citate in [22], [23] e [24], in cui molteplici attori – studenti e docenti – possono scambiarsi dati e informazioni e collaborare all'interno dell'ambiente virtuale (*cyberspazio*).

4.1 Abbattimento delle barriere tra l'apprendimento in classe e fuori dalla scuola

All'interno di una molteplicità di servizi ed esperienze implementabili grazie alla diffusione della tecnologia 5G, ci si vuole ora soffermare su un aspetto specifico: l'abbattimento della tradizionale barriera che contraddistingue l'apprendimento in classe, ossia la lezione di gruppo all'interno di un ambiente formale, e quello che ha luogo al di fuori della scuola, spesso individuale e svolto in ambienti non convenzionali.

Si considerino, innanzi tutto, gli scenari di apertura della didattica in aula verso il mondo esterno. Un primo, banale risultato è la possibilità per ciascuno studente di sfruttare a pieno gli approcci BYOD nel condurre ricerche e nel condividere materiali multimediali, anche ad alta qualità, con i compagni di classe e con il docente in una sorta di infrastruttura di *edge computing* [25]. Questa potenzialità è già disponibile con le attuali tecnologie di rete, ma il 5G migliorerebbe l'esperienza utente in termini di qualità del servizio, velocità e disponibilità di banda per tutti i soggetti coinvolti.

Tali caratteristiche verrebbero poi sfruttate a pieno nella didattica basata su materiali digitali dal contenuto informativo multi-livello, in cui una singola tematica viene affrontata da vari punti di vista. La presenza di molteplici flussi audio/video ad alta qualità e bassa latenza favorirebbe non solo l'eterogeneità nella descrizione, ma anche il rilascio di materiali alternativi e personalizzati in base alle esigenze dei singoli studenti (ad esempio, affetti da disabilità fisiche o cognitive, disturbi specifici dell'apprendimento, ecc.).

Per determinate categorie di studenti, opportune interfacce basate sulla realtà aumentata possono risultare di grande aiuto. Si consideri, a titolo di esempio, un utente non vedente con il proprio dispositivo dotato di interfaccia tattile da cui ricava informazioni su ciò che non può percepire: potrà, ad esempio, percorrere un disegno o seguire una partitura con le dita. In questa ottica, il 5G garantisce performance che supportano approcci AR personalizzati in un contesto BYOD.

Un'ulteriore applicazione del 5G potrebbe essere la creazione di classi estese attraverso la federazione di più luoghi fisici. In tal modo, un docente potrebbe fare lezione non solo agli studenti fisicamente presenti in aula, ma anche a classi geograficamente distribuite, trasmettendo molteplici flussi audio/video simultanei ad alta qualità per catturare molteplici aspetti dell'azione didattica (il volto e la voce del docente, la lavagna

tradizionale a vari livelli di dettaglio, la lavagna interattiva multimediale, l'uditorio presente in classe, e via dicendo). Il docente stesso potrebbe non essere l'unico portatore di conoscenza, ma collaborare con altri colleghi ed esperti geograficamente distribuiti, o dialogare con i partecipanti alla classe estesa, fisicamente presenti o distanti. Ricordando poi che il 5G è pensato per le reti mobili e per i luoghi affollati, il concetto di aula estesa potrebbe coinvolgere luoghi atipici quali un autobus in movimento o un cinema densamente popolato, contesti in cui ciascuno studente potrebbe personalizzare la fruizione selezionando e miscelando i flussi audio/video più idonei ad un apprendimento ottimale.

La qualità di servizio garantita anche in piccole aree densamente popolate di dispositivi rende possibile l'invio di flussi multimediali personalizzati durante iniziative didattiche esterne alla scuola, quali concerti, rappresentazioni teatrali o visite guidate; in tali contesti, ad esempio, si può ipotizzare una fruizione arricchita da aspetti di realtà aumentata o virtuale e personalizzata per ciascuno studente.

Si sono dunque mostrati alcuni scenari in cui il 5G potrebbe aiutare a superare i limiti logistici imposti dalla didattica in aula; ma tale tecnologia può trovare valida applicazione anche nella cosiddetta didattica capovolta (*flipped classroom*), una metodologia che propone l'inversione dei due momenti classici, lezione e studio individuale [26]. L'idea è quella di traslare il momento dell'apprendimento al di fuori del contesto scolastico e sostituire lo studio individuale tradizionale con l'azione didattica in classe dove l'insegnante esercita il proprio ruolo di tutor al fianco degli studenti. In questa ottica, l'adozione della tecnologia 5G può portare notevoli benefici all'apprendimento esterno alla classe.

Innanzitutto, le caratteristiche del 5G permettono di applicare anche allo studio individuale un approccio multi-livello. Da qualsiasi ambiente eletto a luogo di studio – sia esso una casa, una biblioteca, un parco, un treno, o altro – risulterà possibile accedere a numerose fonti in parallelo. Ad esempio, nel preparare una ricerca su una specie di piante, si potrà recuperare la scheda botanica da un archivio dedicato, reperire in rete numerose foto delle sue varietà, accedere alle immagini ad alta definizione di un erbario medievale e visualizzare il video della procedura di estrazione di oli ed essenze in un laboratorio erboristico/profumiero, tutto questo arricchendo i materiali con proprie annotazioni, foto e disegni da condividere, anche in realtà aumentata.

Inoltre, lo scambio di flussi multimediali e multidirezionali consente di costituire in modo dinamico ed estremamente flessibile una rete di studenti e tutor. Ad esempio, è possibile organizzare una sessione di studio condiviso, interloquendo in modo sincrono tra compagni, condividendo l'audio e più flussi video ed invocando l'aiuto di un tutor che avrà visibilità su tutti i materiali approntati dal gruppo. In riferimento a un problema già sollevato in merito alle esperienze di realtà virtuale, un'applicazione di questo genere permette di superare l'isolamento che tipicamente si sperimenta nello studio individuale.

L'incontro tra studenti potrebbe, poi, aver luogo in un contesto completamente virtuale, in cui gli *avatar* interagiscono per scambiarsi informazioni o per risolvere in modo condiviso un problema. Uno dei principali pericoli associati all'uso della realtà virtuale, ossia l'isolamento dell'utente, verrebbe dunque scongiurato. Tra le molte sue

declinazioni in ambito educativo, la realtà virtuale consentirebbe, ad esempio, di esplorare ambienti lontani o sconosciuti che sono oggetto di studio, di ricostruire senza rischi esperienze di laboratorio potenzialmente pericolose, o di garantire l'anonimato ai partecipanti di un dibattito su temi etici controversi. Grazie alla tecnologia 5G, questi modelli innovativi di azione didattica potrebbero entrare nella vita quotidiana attraverso gli smartphone di ultima generazione, sempre più diffusi tra i giovani, e accompagnare ovunque gli studenti garantendo la stessa esperienza anche in mobilità.

5 Conclusioni

Il presente articolo discute i nuovi scenari educativi resi possibili dall'imminente avvento della tecnologia 5G. Si analizzano le caratteristiche delle applicazioni multimediali di possibile interesse per varie forme di didattica, e si esaminano i servizi erogati dalla tecnologia 5G e le prestazioni misurate nei primi esperimenti condotti.

L'analisi dimostra che l'uso delle reti 5G garantirà – tra i principali vantaggi – la fruizione di flussi multimediali multi-direzionali di alta qualità; l'efficiente condivisione di contenuti in classi estemporanee formate dai dispositivi di docenti e discenti in didattica BYOD; l'utilizzo di applicazioni di realtà aumentata sia per l'arricchimento dell'esperienza didattica sia per il supporto a studenti con necessità particolari (disabilità, DSA); un'alta interattività tra le parti coinvolte in attività didattiche non in presenza; la fruizione e condivisione di esperienze in realtà virtuali.

Bibliografia

- [1] Cisco, «Video Quality of Service (QoS) Tutorial,» September 2017. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-video/212134-Video-Quality-of-Service-QOS-Tutorial.html>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [2] B. Gonzales, «Internet Speed Requirements for Video Streaming,» October 2018. [Online]. Available: <https://www.lifewire.com/internet-speed-requirements-for-movie-viewing-1847401>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [3] S. Mangiante, G. Klas, A. Navon, Z. GuanHua, J. Ran e M. D. Silva, «VR is on the Edge: How to Deliver 360° Videos in Mobile Networks,» in *Proc. ACM Workshop on Virtual Reality and Augmented Reality Network (VR/AR Network)*, 2017.
- [4] Qualcomm Technologies Inc., «VR and AR pushing connectivity limits,» October 2018. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/vr-and-ar-pushing-connectivity-limits.pdf>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [5] Mushroom Networks, «Bandwidth requirements for Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR),» 2017. [Online]. Available:

- <https://www.mushroomnetworks.com/infographics/bandwidth-requirements-for-virtual-reality-vr-and-augmented-reality-ar-infographic/>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [6] 3GPP, «Release 15, TR 21.915 v0.6.0,» February 2019. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/release-15>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [7] M. Fallgren e B. Timus, «Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system,» METIS, 2013.
- [8] J. Hedberg e S. Alexander, «Virtual reality in education: Defining researchable issues,» *Educational Media International*, vol. 31, n. 4, pp. 214-220, 1994.
- [9] N. Hopkins, A. Sylvester e M. Tate, «Motivations for BYOD: An investigation of the contents of the 21st century school bag,» in *Proceedings of the 21st European Conference on Information Systems (ECIS 2013)*, 2013.
- [10] 5G EVE, «5G European Validation platform for Extensive trials,» 2018. [Online]. Available: <https://www.5g-eve.eu/>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [11] Z. Li, M. A. Uusitalo, H. Shariatmadari e B. Singh, «5G URLLC: Design Challenges and System Concepts,» in *Proc. 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, 2018.
- [12] Qualcomm Technologies Inc., «LTE Direct trial - White Paper,» February 2015. [Online]. Available: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/lte-direct-trial-whitepaper.pdf>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [13] G. P. Xavier e B. Kantarci, «A survey on the communication and network enablers for cloud-based services: state of the art, challenges, and opportunities,» *Annals of Telecommunications*, vol. 73, n. 3-4, pp. 169-192, 2018.
- [14] The 5G Infrastructure Public Private Partnership, «European 5G trials,» 2018. [Online]. Available: <https://5g-ppp.eu/5g-trials-2/>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [15] Fastweb, «Rete 5G a Matera, accesa la prima antenna del progetto Bari-Matera 5G,» 5 March 2018. [Online]. Available: <https://www.fastweb.it/internet/5g-matera-fastweb/>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [16] European 5G Observatory, «Major European 5G trials and pilots,» 2018. [Online]. Available: <http://5gobservatory.eu/5g-trial/major-european-5g-trials-and-pilots/>. [Consultato il giorno 28 febbraio 2019].
- [17] A. Baratè, G. Haus e L. Ludovico, «State of the Art and Perspectives in Multi-Layer Formats for Music Representation,» in *Proceedings of the 2019 International Workshop on Multilayer Music Representation and Processing (MMRP 2019)*, 2019.

- [18] A. Baratè, L. Ludovico e D. Malchiodi, «Fostering Computational Thinking in Primary School through a LEGO®-based Music Notation,» in *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 21st International Conference, KES-2017, 6-8 September 2017, Marseille, France, 2017*.
- [19] A. Baratè, G. Haus, L. Ludovico, E. Pagani e N. Scarabottolo, «5G Technology and Its Applications to Music Education,» in *Proceedings of the 13th International Conference on e-Learning 2019 (EL 2019), 2019*.
- [20] A. Baratè, G. Haus, L. Ludovico, E. Pagani e N. Scarabottolo, «5G Technology and Its Application to E-Learning,» in *Proceedings of the 11th annual International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN19), 2019*.
- [21] R. Baños, C. Botella, A. García-Palacios, H. Villa, C. Perpiñá e M. Gallardo, «Psychological variables and reality judgment in virtual environments: the roles of absorption and dissociation,» *Cyberpsychology & Behavior*, vol. 2, n. 2, pp. 143-148, 1999.
- [22] F. Mantovani, «12 VR Learning: Potential and Challenges for the Use of 3D Environments in Education and Training,» in *Towards cyberpsychology: mind, cognition, and society in the Internet age*, IOS press, 2001, pp. 207-225.
- [23] S. M. Rakshit, S. Banerjee, M. Hempel e H. Sharif, «Fusion of VR and teleoperation for innovative near-presence laboratory experience in engineering education,» in *2017 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), 2017*.
- [24] A. Baratè, G. Haus, L. Ludovico, E. Pagani e N. Scarabottolo, «5G Technology for Augmented and Virtual Reality in Education,» in *Proceedings of the International Conference on Education and New Developments 2019 (END 2019)*.
- [25] Y. Hu, M. Patel, D. Sabella, N. Sprecher e V. Young, «Mobile Edge Computing - A key technology towards 5G,» 2015. [Online]. Available: https://yucianga.info/wp-content/uploads/2015/11/Ref02-2015-09-etsi_wp11_mec_a_key_technology_towards_5g.pdf. [Consultato il giorno Aprile 2019].
- [26] J. L. Bishop e M. A. Verleger, «The flipped classroom: A survey of the research,» in *ASEE national conference proceedings, 2013*.