

Francesco Matera,  
Edion Tego  
Fondazione Ugo  
Bordoni

Stefania Michelangeli,  
Emanuele Natri  
DGTCSI - ISCTI

# Sperimentazione di Tecniche Slicing in una Wide Area Geographical Network per Servizi 5G a Bassa Latenza

## *Slicing Experiments in a Wide Area Geographical Network for Low Latency 5G Services*

**Sommario:** In questo articolo riportiamo i risultati sperimentali ottenuti nell'ambito del progetto Tecnologie Emergenti di Reti di Telecomunicazioni (TERT), che ha operato nell'ambito di una Convenzione tra l'Istituto Superiore delle Telecomunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI) e la Fondazione Ugo Bordoni, riguardanti principalmente le modalità per ottenere delle partizioni logiche (slice) in una rete sperimentale di tipo Wide Area Geographical Network con accessi basati su sistemi in fibra ottica di tipo GPON e NG-PON2, con l'obiettivo di realizzare l'instradamento del traffico con particolari caratteristiche di qualità del servizio e soprattutto con bassa latenza. La gestione degli slice è ottenuta con modalità di tipo Software Defined Network utilizzando la piattaforma mPlane per il monitoraggio delle prestazioni della rete. L'architettura così realizzata si propone come un modello per le connessioni delle antenne 5G ed in particolare per la gestione dei servizi riguardanti alcuni verticals che richiedono particolari prestazioni come nel caso dell'Automotive.

**Abstract:** In this paper we report the experimental results obtained within the Emerging Technologies of Telecommunications Networks (TERT) project, which operated within the framework of an Agreement between the Istituto Superiore delle Telecomunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI) and the Ugo Bordoni Foundation, mainly concerning the methods for obtaining logical partitions (slices) in an experimental Wide Area Geographical Network with accesses based on GPON and NG-PON2 optical fiber systems, with the aim of obtaining a traffic routing with particular quality of service characteristics and above all with low latency. Slice management is achieved using Software Defined Network methods using the mPlane platform for monitoring network performance. The architecture thus created is proposed as a model for the connections of 5G antennas and in particular for the management of services concerning some verticals that require particular performance such as in the case of the Automotive.

### 1. Introduzione

Con le reti di quinta generazione (5G) [1-3] assisteremo a una profonda trasformazione dell'intera rete di telecomunicazioni, che vedrà una spiccata interoperabilità tra reti wireless e reti cablate dal segmento di accesso fino alla dorsale (rete core). Le reti 5G permetteranno tutta

una nuova serie di servizi che coinvolgeranno anche settori che fino ad ora non avevano sfruttato le potenzialità offerte dal campo ICT; tra questi i settori dell'Automotive, dell'Energia, della sanità ecc.

Il 5G, oltre ad aumentare la capacità trasmissiva dei terminali, consentirà latenze molto basse, aumenterà il grado di mobilità e consentirà la connessione di un numero praticamente infinito di dispositivi tramite il cosiddetto Internet of Things (IoT); ma soprattutto sovvertirà i classici paradigmi di rete introducendo nuove modalità di gestione del traffico e questo soprattutto grazie all'introduzione di nuove bande di frequenze radio, come la banda 700 MHz, quella a 3.6 GHz e quella intorno ai 26 GHz.

Per quanto riguarda gli aspetti architettonici, la connessione delle interfacce radio avverrà attraverso la creazione di reti logiche e fisiche, denominate *slice* [4-5] che potranno avere estensioni geografiche molto ampie e ciò avverrà grazie alla segmentazione della rete di trasporto in molte sottoreti indipendenti, ognuna con caratteristiche specifiche per il servizio che dovrà supportare; la gestione di queste sezioni di rete, sarà ottenuta con metodi tipici delle Software Defined Networks (SDN) [5-6] e con l'uso di risorse basate sulla Network Function Virtualization (NFV) [5][7].

Questa rivoluzione nelle telecomunicazioni stimolerà anche una vasta richiesta di nuovi servizi e applicazioni che coinvolgeranno tutta una serie di soggetti (*verticals*) che utilizzeranno la rete di telecomunicazioni con metodi finora non esplorati. In questo ambiente, l'intera rete dovrà soddisfare, in ciascun segmento logico (o fisico), requisiti specifici in termini di larghezza di banda, affidabilità, latenza o più in generale in termini di qualità del servizio (QoS).

Il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE), tramite l'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCTI), ha cercato, sin dalle prime iniziative sul 5G, di avere un ruolo attivo in questa rivoluzione tecnologica mediante l'ampliamento del laboratorio di rete Next Generation Networks (NGN)<sup>1</sup> [8-9] per sperimentare nuove funzionalità tipiche del paradigma 5G riguardante quella tratta che va dall'antenna radio verso la rete core. Tra le sperimentazioni vanno ricordate quelle riguardanti il Free Spectral Optics (FSO) [10], i processi di slicing [11-12], le tecniche SDN [9], i metodi di valutazione della Qualità del Servizio (QoS) [14] e della Qualità dell'Esperienza (QoE) [15]. In questo articolo riportiamo alcuni risultati ottenuti nell'ambito del progetto *Tecnologie Emergenti di Reti di Telecomunicazioni* (TERT), che ha operato nell'ambito di una convenzione tra l'ISCTI e la Fondazione Ugo Bordoni nel periodo 2016/2018, con alcune attività che hanno continuato anche nel 2019, e

---

<sup>1</sup> Il laboratorio NGN dell'ISCTI è una piattaforma sperimentale costituita da un gruppo di core routers e diversi sistemi di accesso come reti GPON, NG-PON2, sistemi xDSL e reti Wi-Fi, oltre ad una serie di dispositivi per la creazione, la gestione e la misura del traffico e delle prestazioni delle reti in generale. Negli anni precedenti le principali attività di ricerca avevano riguardato la gestione e la misura della qualità del servizio, la sperimentazione di tecniche di instradamento basate sul carrier ethernet e sul processamento interamente ottico. Maggiori dettagli sono riportati nei riferimenti bibliografici indicati [8-9].

che si è occupato in particolare degli aspetti di slicing, SDN, backhauling/fronthauling, ed ha anche affrontato alcuni studi teorici sulla evoluzione dell'instradamento dell'informazione analizzando nuovi protocolli di comunicazione come la modalità Content Centric Networks [16-17].

Va inoltre precisato che nel corso del 2019, per la realizzazione delle finalità previste al comma 1041 della legge 205/2017<sup>2</sup>, la Fondazione Ugo Bordoni per estendere queste sperimentazioni al segmento radio ha realizzato una piattaforma emulativa con un codice NS3 che sta permettendo la gestione del traffico dal segmento core a quello radio (al momento LTE) e di studiare quindi quei processi testati con successo sulla rete del laboratorio NGN ora anche in ambito mobile [18].

## 2. Architetture di rete fissa per il 5G

Dal punto di vista della rete cablata, il 5G richiederà profonde innovazioni per la connessione delle antenne con tecniche di backhauling e fronthauling [19]. In particolare per quanto riguarda l'integrazione tra reti cablate e wireless, va notato che le reti 5G, oltre ad operare con capacità molto più elevate di quelle 4G, potranno anche dover servire milioni di dispositivi connessi per chilometro quadrato, cioè migliaia di volte in più rispetto a oggi, in altri casi invece saranno richieste prestazioni particolari come una bassissima latenza. Seguendo queste caratteristiche è opportuno distinguere quindi tre principali architetture 5G: *enhanced Mobile BroadBand (eMBB)*, *massive Machine Type Communications (mMTC)* e *Ultra-Reliable and Low-Latency Communications (URLLC)* [3].

In generale, un dispositivo sarà in grado di connettersi a diversi tipi di celle, che possono avere dimensioni molto diverse (da femto a macrocelle) e tutte queste celle devono essere collegate al resto della rete attraverso sistemi ad alta capacità, poiché il volume del traffico aggregato può raggiungere molti Gigabit al secondo. Questa evoluzione condiziona in particolare la rete di accesso, che attualmente è oggetto di importanti investimenti per la installazione di cavi in fibra ottica verso le abitazioni. Va notato che il 5G, in particolare con trasmissioni a 26 GHz, sarà in grado di dare un grande contributo per la copertura in termini di banda ultralarga (30-100 Mb/s) soprattutto nelle aree rurali, evitando costose installazioni in fibra ottica nelle aree a bassa densità di popolazione, e grazie ad una sinergia tra le architetture Fiber To The Antenna (FFTA) e Fiber To The Home (FTTH) potremmo ottenere risparmi fino al 40% nella realizzazione di reti ultrabroadband rispetto alle reti basate solo sul FTTH [20].

La configurazione tipica utilizzata per la connessione delle reti radio eterogenee (HetNet) sarà basata sul backhauling con sistemi in fibra ottica Point to Point (P2P) per macrocelle e GPON e NG-PON2 per celle più piccole. È stato dimostrato che l'architettura della Fig. 1 è anche

---

<sup>2</sup> Tale comma recita: "Il Ministero dello sviluppo economico provvede a favorire la diffusione della tecnologia 5G attraverso la realizzazione di sperimentazioni e di laboratori specifici in coerenza con gli obiettivi del Piano di azione per il 5G..."

quella che consente il minor consumo di energia [21], distinguendo anche la trasmissione del backhauling dal fronthauling [22].

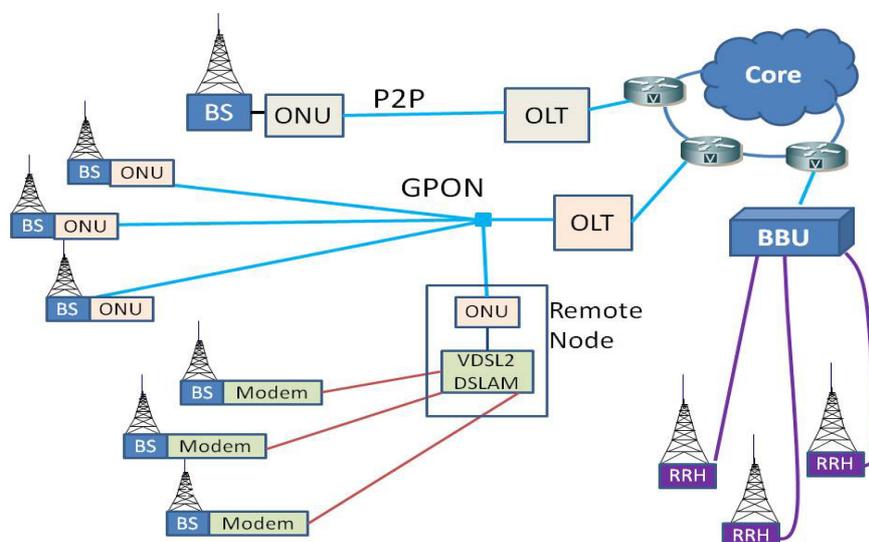


Figura 1. Architettura di backhauling e fronthauling per la copertura con celle Macro e Micro

Dalle antenne verranno creati dei percorsi logici o fisici per realizzare così delle sottoreti (slice) su cui verranno trasportati i contenuti di specifici servizi; questi slice saranno gestiti con tecniche SDN e con processi di virtualizzazioni NFV atti a creare ambienti per il trasporto delle informazioni adatti a specifiche necessità di utenti e operatori. Questa gestione riguarda sia le reti wireless (Software Wireless Defined Networks) che le reti fisse, operando in ambito core con sistemi Wavelength Division Multiplexing (WDM) con capacità anche di decine di Tb/s su singola fibra ottica [7]. E' da sottolineare che anche in ambito di accesso, specialmente per il fronthauling delle antenne 5G, saranno richieste capacità superiori al Tb/s su singola fibra.

La transizione al 5G sta portando a un ulteriore ripensamento sulla elaborazione dei dati nella rete, ed in particolare per servizi che richiedono una risposta in tempi brevissimi, si stanno affermando architetture in cui l'elaborazione dell'informazione avviene in punti prossimi al luogo in cui i dati sono generati secondo schemi EDGE e FOG [23].

Infine si pensa anche che, per un più efficiente trattamento dell'informazione, i processi di routing dovranno essere assistiti da modalità che facilitino l'instradamento utilizzando percorsi definiti sulla base dei contenuti. In questo ambito le proposte oggi più innovative riguardano le cosiddette Information Centric Networks (ICN) basate sul rivoluzionario passaggio dal paradigma client-server (definito proprio dal protocollo IP) a quello client-content [16]. E' stato questo un argomento molto approfondito nell'ambito del progetto TERT, dove le ICN sono state considerate principalmente in termini di Content Centric Networks (CCN), e in cui sono stati mostrati gli enormi vantaggi che questo nuovo protocollo potrebbero portare in termini di riduzione del traffico totale e quindi anche di consumo energetico [17]; tuttavia è stato anche

mostrato che questa rivoluzione richiederebbe degli investimenti da parte degli operatori troppo elevati e al momento non sostenibili. E' probabile, quindi, che il passaggio verso il modello client-content necessiti di tempi più lunghi ma al contempo è possibile prevedere un'evoluzione della struttura delle reti con server sempre più distribuiti e operazioni di trasporto e memorizzazione dell'informazione sempre più basate sulle caratteristiche del contenuto, intese come QoS, popolarità, valore e sicurezza.

### **3. Approccio Slice e SDN utilizzato nel progetto TERT**

Seguendo le brevi considerazioni riportate nel cap. 2 il laboratorio NGN dell'ISCTI è stato configurato per avere uno scenario di tipo Slicing e cioè di una partizione logica della rete in tanti segmenti End-to-End (server-client), dove in ciascun segmento poteva esser definita una specifica classe di servizio [12-13].

Dopo una accurata analisi della letteratura scientifica e prendendo spunto da precedenti sperimentazioni nel LAB ISCTI sulle tecniche di gestione automatica delle risorse, intese come connessioni GbE e percorsi logici di tipo VPLS-MPLS, ma soprattutto considerando gli apparati attualmente disponibili in LAB, si è deciso di utilizzare uno schema con un Orchestrator che comandava direttamente i router con messaggi Simple Network Management Protocol (SNMP). La principale innovazione per il nostro schema SDN è nella gestione della QoS, infatti l'orchestrator è comandato con messaggi provenienti dalla rete di monitoraggio mPlane [24], che la FUB realizzò nell'ambito del progetto EU FP7 mPlane; tale rete permette di conoscere lo stato degli accessi utilizzando sonde attive e il traffico mediante un monitoraggio passivo [16-17]. Mediante l'analisi tra la correlazione dei dati delle sonde passive e attive è possibile vedere se in un punto della rete è presente una congestione o una riduzione del rapporto SNR. Le informazioni circa le criticità della rete sono passate da mPlane all'Orchestrator che provvederà ad esempio ad aumentare la capacità di un collegamento tra due router [26-27].

Con questa configurazione, il laboratorio si presta come una piattaforma base per una rete completa di tipo 5G per la gestione di tante reti radio di tipo eterogeneo. Inoltre la suddivisione della rete in tanti segmenti logici è uno degli approcci fondamentali per la gestione di servizi multi-verticals con importanti sviluppi verso i programmi di Industria 4.0.

Per aiutare il lettore, nella fig. 2 riportiamo lo schema della rete di monitoraggio mPlane, che è costituita da un'infrastruttura distribuita per eseguire misure attive, passive e ibride a diversi livelli della pila OSI. Un repository raccoglie, memorizza e analizza i dati raccolti tramite una elaborazione parallela e un reasoner che cerca in modo iterativo la causa di una degradazione nella rete, anche determinando le condizioni che portano ad alcuni problemi. In particolare lo strato di misura utilizza una serie di sonde programmabili (software e hardware) sia realizzate nel

progetto stesso sia già disponibili ma adattate però all'architettura mPlane.

Uno degli obiettivi principali di mPlane è quello di assistere l'utente in tutte le sue esigenze relative all'accesso alla rete, in particolare per quanto riguarda i test di qualità del servizio (QoS) e per la verifica e la certificazione del SLA tra utente e ISP. Quindi, lo strato di misura di mPlane risulta fondamentale per le SDN in quanto fornisce un quadro di monitoraggio completo della rete.

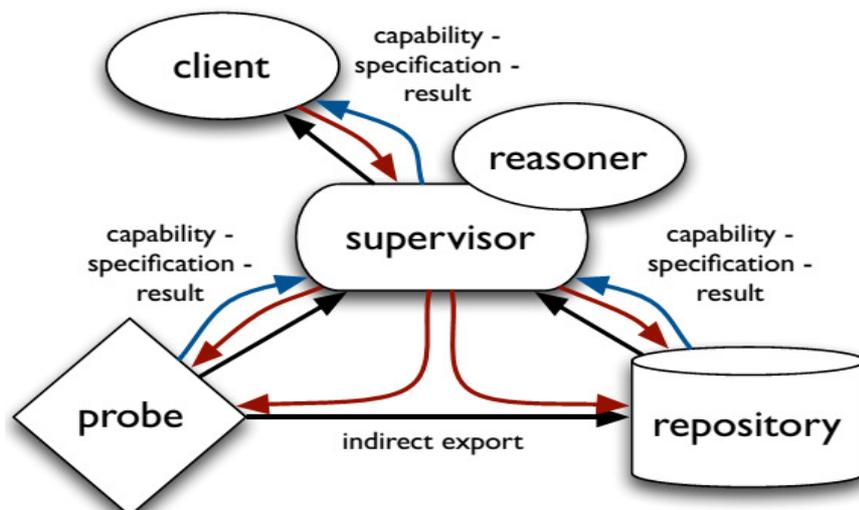


Figura 2. Architettura di backhauling e fronthauling per la copertura con celle Macro e Micro

#### 4. Set up sperimentale

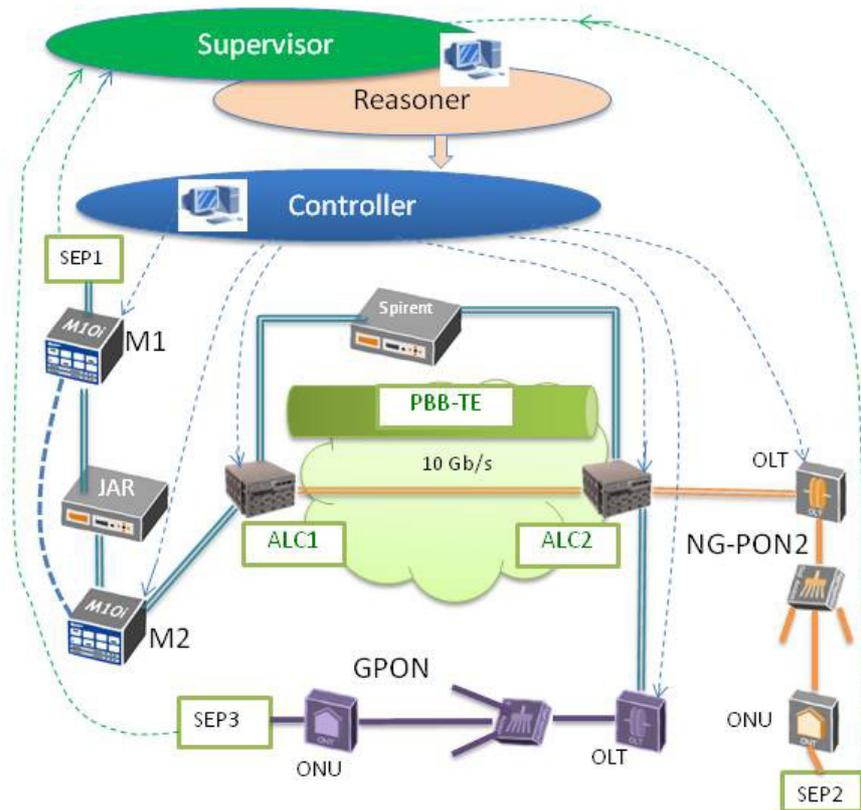
Nella fig. 3 possiamo vedere una sezione del LAB ISCTI configurato con il nostro metodo SDN.

L'originalità di questo lavoro risiede nell'uso della sonda attiva mPlane (mSLAcert)[25] che in questa configurazione opera anche come Slicing End Point (SEP), ovvero come l'apparato di terminazione dello slice che comunica con il supervisor mPlane (vedi fig. 2) al fine di disporre delle risorse e di tutte le strutture per gestire i servizi operanti sulla rete. In particolare, il supervisor gestisce anche tutte le istanze di slicing come la preparazione, la messa in servizio, il funzionamento e la disattivazione [3].

I requisiti di slicing vengono inoltrati dal supervisor al Reasoner mPlane, fino al Controller che tiene conto di tutta la disponibilità di risorse e decide sui router come impostare il trattamento del traffico ai terminali Optical Line (OLT) della PON mediante un percorso di tipo VLAN / PBB-TE effettuato sui collegamenti GbE [28]. Ricordiamo che, per quanto riguarda i percorsi slice, le tecniche VLAN, MPLS e PBB-TE sono approcci fondamentali poiché ci consentono di implementare percorsi logici a Layer2-Layer3 con diverse procedure di Class of Service (CoS) [29]. Come nella sua versione mPlane originale, il Reasoner può monitorare tutte le prestazioni della rete mediante sonde attive (SEP in

questo caso) e passive situate in punti diversi dell'infrastruttura. Dal monitoraggio della di rete il Reasoner può rivelare degradazioni e anomalie e comunicare con il Controller (Orchestrator) che gestisce tutti gli elementi della rete; il Reasoner può quindi richiedere al Controller di apportare modifiche nei percorsi fisici e logici per migliorare le prestazioni [30].

Figura 3. Architettura e set up sperimentale



Tornando alla figura 3 il cloud con i router ALC1-ALC2 rappresenta la sezione principale, mentre la parte che circonda il cloud è quel segmento di rete oggi definito come Xhaul [31], che parte dalle antenne radio per raggiungere i punti di presenza (PoP) nelle reti di uno o più fornitori di servizi, attraversando elementi di instradamento ad alta capacità.

In tale rete il core è costituito da due router IP Juniper M10 e due router Alcatel SR7750. La parte di accesso è composta da un GPON (Alcatel 7330) e un NG-PON2 (Alcatel 7360, che qui adotta solo una lunghezza d'onda). Un dispositivo di emulazione di rete (JAR) è anche incluso nella rete e può elaborare il traffico fino a 10 Gb/s e può introdurre ulteriori ritardi e perdite di pacchetti. Il generatore di traffico Spirent è adottato per introdurre congestioni nelle reti.

I router e gli ONT sono gestiti da un PC che funge da controller che imposta l'accensione e lo spegnimento dei collegamenti ottici GbE e l'implementazione dei percorsi logici basati su VLAN / MPLS / PBB-TE. Un altro PC è dedicato al Supervisor e Reasoner. Il Supervisor gestisce tutte le istanze SEP dall'attivazione alla disattivazione.

Il supervisore gestisce anche sonde passive TSTAT situate in una delle uscite M2 e ALC2. Il Reasoner analizza tutti i dati provenienti dalle sonde attive (SEP) e passive e può generare allarmi che sono inviati al controller, che a sua volta può gestire la configurazione dei dispositivi di routing. La linea tratteggiata tra M1 e M2 rappresenta un percorso alternativo per una eventuale restoration.

In questo lavoro riportiamo solo i risultati relativi a due percorsi che differiscono principalmente per un accesso in fibra basato su GPON o NG-PON2; in particolare distinguiamo tra lo slice A) corrispondente al percorso SEP1, M1, M2, ALC1, ALC2, NG-PON2, SEP2 e lo slice B) SEP1, M1, M2, ALC1, ALC2, PON, SEP3.

Sono stati utilizzati le seguenti CoS: Expedited Forwarding (EF), Assure Forwarding (AF) e Best Effort (BE) [16-17].

## 5. Risultati

Prima di esaminare le procedure SEP abbiamo caratterizzato i due slice A e B testando una capacità di 1 Gb / s (che è il massimo per il percorso B) senza altri effetti che potevano produrre degradazioni (perdita, congestione, ...) e in fig. 4 riportiamo la frequenza normalizzata dei valori di latenza misurati per la sezione di attraversamento del traffico A) e B), sia per il traffico downstream (linea continua) che per il traffico upstream (linea tratteggiata). Nel caso A), operando con NG-PON2, sia per downstream che per upstream la latenza è molto inferiore allo slice B); in particolare per il downstream la latenza è di circa 0,07 ms, mentre per l'upstream il suo valore è leggermente superiore, con un valore medio di 0,14 ms. Tuttavia confrontando i valori di fig. 4 (A) possiamo vedere che sia per l'upstream che per il downstream i valori di latenza sono sempre molto più bassi del minimo richiesto per le reti 5G di tipo ultrareliable (1 ms).

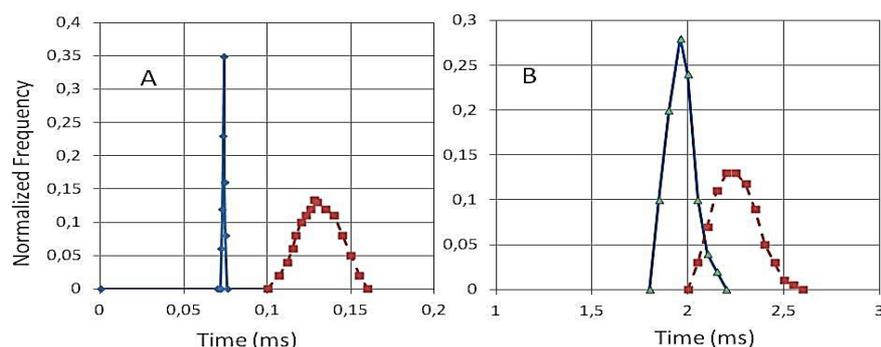


Figura 4. Distribuzione della latenza per lo slice A) and B). Linea continua si riferisce al downstream, quella tratteggiata all'upstream.

Al contrario per B) i valori di latenza sono più alti ma comunque compatibili con la maggior parte delle infrastrutture 5G che richiedono una latenza inferiore a 4 ms.

La procedura SEP inizia con l'istanza di preparazione mediante la registrazione dei tre SEP al supervisore seguendo le procedure definite nell'ambito del progetto mPlane [25]; per la messa in servizio, consideriamo tutte le procedure richieste dai SEP al supervisore per

implementare i percorsi logici dedicati alle sezioni SEP1-SEP2 (A) e SEP1-SEP3 (B), e in particolare in questo approccio i parametri si riferiscono alla creazione dei percorsi PBB-TE. Nell'operazione il supervisore comunica, tramite il Reasoner, al Controller i requisiti dei percorsi logici; il Controller verifica la disponibilità delle risorse mentre il Reasoner valuta le prestazioni attuali nella posizione del SEP (mediante le misure attive effettuate dalle funzioni mSLAcert in termini di throughput, jitter e latenza). Dopo questo controllo sulle prestazioni della rete e la disponibilità dei percorsi, il Controller individua i nuovi percorsi (logici e fisici) nei router e comunica loro le modifiche necessarie.

La modalità operativa di questa architettura è illustrata mediante la fig. 5 dove riportiamo il comportamento della latenza nel tempo per la trasmissione da SEP2 a SEP1 attraverso il percorso A, durante un intervallo di 200 s in cui i SEP richiedono CoS diverse. In questo test il dispositivo Spirent aggiunge un traffico spurio per generare una congestione, per un totale di 11 Gb / s tra ALC1 e ALC2, considerando che il collegamento ALC1-ALC2 opera a 10 Gb/s. A  $T = 0$  il SEP1 chiede di essere ammesso nella rete seguendo le procedure definite per la sonda mSLAcert; dopo le procedure handshaking con il supervisore, SEP1 e SEP2 sono in grado di effettuare misurazioni dopo circa 5 s. All'inizio nessuna priorità è assegnata al traffico e quindi in presenza di una classe BE la latenza è alta. A  $T = T1$  il SEP1 richiede una sezione con una classe AF tra SEP2 e SEP1, che viene trasportata da un percorso PBB-TE. Gli scambi di messaggi tra SEP e supervisore richiedono circa 7 secondi e, dopo l'accettazione della classe AF, il supervisore chiede al controllore di impostare tale percorso. Il percorso AF PBB-TE viene attivato a  $T = 52$  s, e dopo questo tempo si può osservare una forte riduzione della latenza.

Il ritardo tra  $T1$  e  $T = 52$  s è principalmente dovuto alla procedura di handshaking telnet [7]. A  $T = T2$  è quindi segnalata la necessità di una CoS migliore ed in particolare di tipo EF PBB-TE tra SEP2 e SEP1, che viene attivata a  $T = 118$ s, e dove si nota una forte riduzione della latenza. Tale CoS viene mantenuto fino a  $T3$  quando viene chiesto di rimuovere la sessione che si verifica a  $T = 188$  s.

Nel seguito riportiamo un test riguardante una procedura di restoration per dimostrare che il nostro approccio è immune rispetto alle variazioni che si verificano nella rete core e inoltre mostriamo i vantaggi relativi al ripristino delle prestazioni in presenza di perdite di pacchetti. Guardando la Fig. 3, tramite il JAR, possiamo introdurre perdite nel collegamento tra M1 e M2 con valori di BER diversi e, come esempio, riportiamo in fig. 6 (sopra) il comportamento del throughput per l'EF (B) di 100 Mb / s. Dopo 30 secondi il JAR ha introdotto perdite di bit con un  $BER = 10^{-7}$  (nessuna perdita di bit è stata aggiunta prima) e la riduzione del throughput è mostrata tra 30 e 90 s, con la relativa ritrasmissione del pacchetto (fig. 6 sotto), misurato dalla sonda TSTAT in M2. Tuttavia, anche in queste cattive condizioni, il throughput è sempre rimasto superiore a 20 Mb / s, il che potrebbe essere una prestazione accettabile per la maggior parte dei servizi comuni. Dopo 90 s è stato impostato un  $BER = 10^{-6}$  e il throughput e la ritrasmissione dei pacchetti ha assunto valori inaccettabili. La correlazione di Pearson tra throughput e segmenti di ritrasmissione [27] calcolata dal Reasoner, ha rivelato il

superamento di una soglia e ha innescato un allarme per il controller che ha permesso allo slice di passare su un altro collegamento GbE tra M1 e M2 senza alcuna perdita a  $t = 186$  s, ripristinando le condizioni prima dell'introduzione delle perdite di bit.

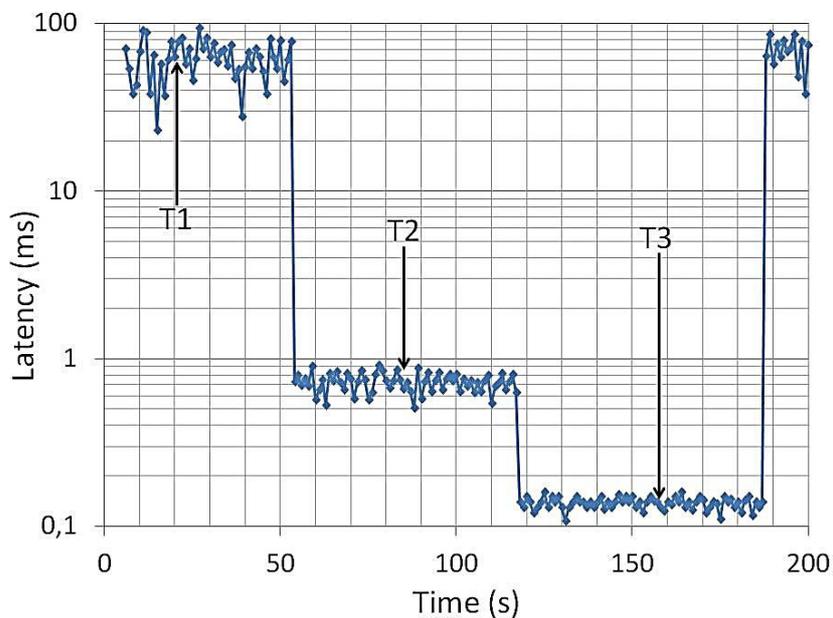


Figura 5. Andamento della latenza durante i cambiamenti di CoS.

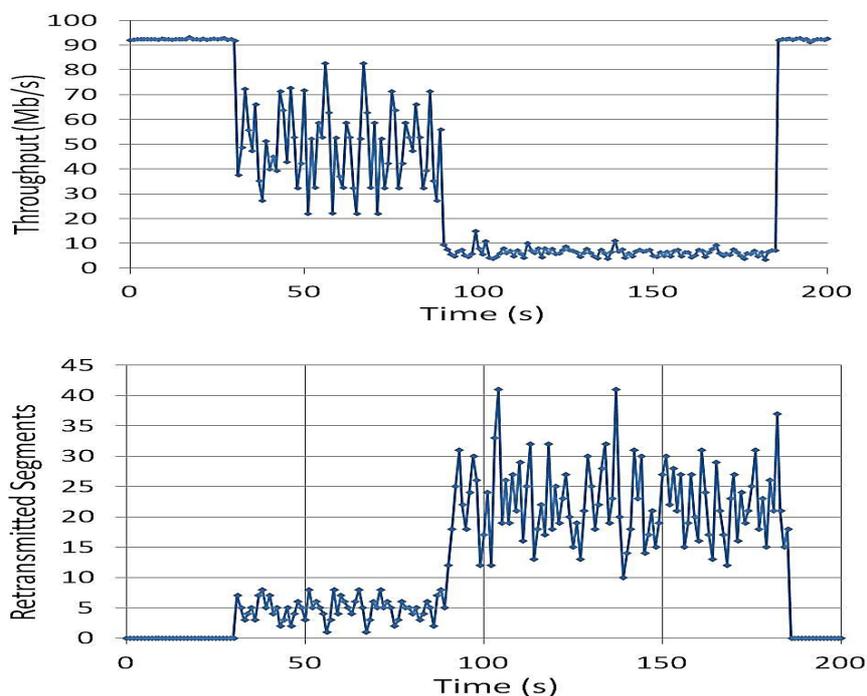


Figura 6. Throughput (sopra) e segmenti ritrasmessi (sotto) per lo slice 100 Mb/s EF (B).

## 6. Conclusioni

I risultati ottenuti in questo articolo ci hanno permesso di fare una approfondita analisi sull'evoluzione delle architetture di rete fissa (accesso, metro e core), considerando le esigenze necessarie per le interconnessioni delle reti di tipo 5G e per la gestione automatica della QoS. E' stata quindi dimostrata sperimentalmente una procedura completa per l'implementazione di processi di slicing in una rete access-core che include GPON e NG-PON2, consentendo l'adozione di diverse CoS basate sull'instradamento di tipo VLAN / MPLS / PBB-TE. I requisiti di slice sono gestiti dalla nostra proposta del terminale SEP che può essere considerato come l'interfaccia tra i verticali e la rete. Il SEP e la gestione SDN si basano sull'architettura mPlane e in particolare il SEP è ottenuto mediante una evoluzione della sonda attiva mSLAcert, che consente di richiedere specifici indicatori di prestazioni per i suoi percorsi logici e fisici.

I risultati mostrano l'efficienza di questa procedura specie per la riduzione della latenza e la combinazione mPlane-SDN consente anche un efficiente ripristino in caso di eventi che producono forti degradazioni in alcuni percorsi della rete. Inoltre, i risultati confermano l'importanza delle reti NG-GPON2 per ridurre la latenza e la loro adattabilità ai processi di slicing.

## Bibliografia

- [1] Andrews, J., Buzzi, S. Choi, W., Hanly S. V., Lozano, A., Soon, A., Zhang, J. C., 2014 "What will 5G be?", IEEE Journal of Selected Area in Telecommunications, vol. 32, n.6, pp. 1065-82
- [2] Rost, P., Banchs, A., Berberania, I., Breibach, M., Doll, M., Droste, H., Manweiler, C., Puente, M. A., Samdanis, K., Sayadi, B., May 2016 "Mobile Network Architecture Evolution towards 5G", IEEE Comm. Magazine, pp. 84-91
- [3] "5G white paper" by NGMN Alliance, [https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf).
- [4] Zhou, Li, X., Chen, R., Zhang, H., May 2016" Network slicing as a Service: Enabling Enterprises' Own Software-Defined Cellular Networks" IEEE Communication Magazine, Vol. 54, n. 7, pp. 146-153.
- [5] J. O. Lucerna, P. Ameigeiras, D. Lopez, J. J. Ramos-Munoz, J. Lorca, J. Folgueira, "Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges," IEEE Comm. Magazine, Vol. 55, no. 5, p. 80 (2017).
- [6] Sezer, S.; Scott-Hayward, S.; Chouhan, P.K.; Fraser, B.; Lake, D.; Finnegan, J.; Viljoen, N.; Miller, M.; Rao, N., 2013 "Are we ready for SDN? Implementation challenges for software-defined networks, IEEE Communications Magazine, 51, (7) , pp. 36 – 43
- [7] Eramo V., Lavacca F. G. "Proposal and Investigation of a Reconfiguration Cost Aware Policy for Resource Allocation in Multi-Provider NFV Infrastructures interconnected by Elastic Optical Networks" IEEE Journal of Lightwave Technology, 6 June 2019
- [8] E. Tego, F. Idzikowski, L. Chiaraviglio, A. Coiro, F. Matera "Facing the reality: validation of energy saving mechanisms on a testbed" J. of Elect. and Comp. Engin., Hindawi, March (2014).
- [9] Tego, F. Matera, D. Del Buono, V. Attanasio, "Quality of Service Management based on Software Defined Networking Approach in wide GbE Networks" EuMed Telco 2014 Napoli, Novembre 201
- [10] S. Di Bartolo S., Pizzoleo A., Penna S., Tosi Beleffi G. M., Matera F., Pompei S. "Experimental demonstration of a GPON Free Space Optical Trunk for full duplex communications" Fotonica 2014, Napoli, May 12-14 2014.
- [11] Tego E., Matera F., Attanasio V., Nastri E. "A Measurement Plane to Monitor and Manage QoS in Optical Access Networks" IEEE Fiber Optics in Access Networks 2017 (FOAN 2017) Conference, Munich, Germany, November 7, 2017

- [12] Tego E., S., Matera, F., Rea, L., Attanasio V., Nastri E., 2018 "Role of a Measurement Plane to Monitor and Manage QoS in Optical Access Network " *Fiber and Integrated Optics*, Taylor & Francis, Vol. 37, n.5, pp. 239-255
- [13] S. Pompei et al "Verso il LAB ISCTI 5G: Il segmento XHAUL" *La Comunicazione* 2018  
<http://www.isticom.it/index.php/divulgazione/la-rivista/rivista20172018>
- [14] M. Mellia, S. Traverso, E. Tego, A. Rufini, A. Valenti, F. Matera, M. Scarpino, A. Kahveci, F. Invernizzi "Quality of Service monitoring adopting correlation among active and passive measurements" 17th International Network Strategy and Planning Symposium-Network 2016, Montreal September 26-28, 2016.
- [15] L. Costantini et al, "Polynomial Regress Model to explain the relationship between Network and Service Key Performance Indicators" *IET Networks* 2017.
- [16] Md. F. Bari, S. R. Chowdhury, R. Ahmed, R. Boutaba, B. Mathieu, "A Survey of Naming and Routing in Information-Centric Networks" *IEEE Communication Magazine* December 2012, pp. 44-53.
- [17] Matera F., Nastri E. "Optical Network Design in Content Centric Network Scenario" *Fotonica* 2017, Padova, May 3-5, 2017
- [18] Lavacca F.G., Salvo P., Costantini L., Mammi E., Pompei S., Rea L., Teodori M. "Studying and Simulation of a NS3 Framework Towards a 5G Complete Network Platform" *FOAN* 2019, 2-4 September 2019, Sarajevo, Bosnia & Herzegovina
- [19] Mitchel, J. E., 2014 "Integrated Wireless Backhaul Over Optical Access Networks", *J. of Lightwave Technology* Vol. 32, n. 20, pp. 3373-3382.
- [20] F. Matera, A. Penza "Architectures for 5G: cooperation among wireline and wireless networks" *CTTE&FITCE* 2019, 25-27 settembre 2019, Ghent, Belgium
- [21] F Carciofi C., Grazioso P., Matera F. "Power Consumption in Mobile HetNets" *AEIT International Annual Conference* 2017, Cagliari, September 20/22, 2017
- [22] Carciofi C., Grazioso P., Matera F., Nastri E., Restuccia E. Fronthauling-Backhauling Contributions to Power Consumption in 5G Optical Links *Fotonica* 2018 *AEIT*, Lecce, 23-25 maggio 2018
- [23] Flavio Bonomi et al., Fog computing and its role in the internet of things., in *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*. ACM, 2012

- [24] P. Casas, et al., "Unveiling network and service performance degradation in the wild with mplane" *IEEE Comm. Magazine*, Vol. 54, no. 3, p. 71 (2016).
- [25] <https://www.ict-mplane.eu/public/mslacert-active-probe>
- [26] E. Tego, F. Matera, V. Attanasio, E. Nastri, "Experimental Verification on a Slicing Management Based on the mPlane Monitoring Plane With GPON Comparison " *Fiber and Integrated Optics*, online July 2019.
- [27] M. Mellia, S. Traverso, E. Tego, A. Rufini, A. Valenti, F. Matera, M. Scarpino, A. Kahveci, F. Invernizzi "Quality of Service monitoring adopting correlation among active and passive measurements" *17th International Network Strategy and Planning Symposium-Network 2016*, Montreal September 26-28, 2016.
- [28] Tego E., Carciofi C., Grazioso P., Petrini V., Pompei S., Matera F., Attanasio V., Nastri E., Restuccia E. 2017 "A Measurement Plane for Optical Networks to Manage Emergency Events" *Fiber and Integrated Optics*, Vol. 36, n.1, pp. 1-15.
- [29] Coiro, A. Valenti, S. Pompei, F. Matera, P. Testa, M. Settembre, "Network Evolution towards Carrier-Grade Ethernet Transport Network", *Fiber and Integrated Optics*, vol. 28, n. 6, pp. 393-411.
- [30] M. Giuntini, P. Grazioso, F. Matera, A. Valenti, V. Attanasio, S. Di Bartolo, and E. Nastri: "Enabling Optical Network Test Bed for 5G Tests", *Fiber and Integrated Optics*, published online Dec. 14th, 2016, Taylor & Francis
- [31] De la Oliva, F. Cavaliere, P. Iovanna et al. "Xhaul: toward an integrated fronthaul/backhaul architecture in 5G networks". *IEEE Wireless Communications*, 22(5), pp. 32- 40, October 2015.