

# OPEN RAN: DALLE SPECIFICHE AI TRIALS

Andrea Buldorini, Marco Caretti, Gian Michele Dell'Aera, Salvatore Scarpina

## Verso l'Open RAN

Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento esponenziale del traffico mobile a cui si è affiancata la domanda crescente di supporto di connessioni di tipo "always connected" e di terminali controllati da remoto (la cosiddetta *Internet of Things*). Questa rapida evoluzione

spinge gli operatori a cospicui investimenti al fine di aggiornare la rete per far fronte alle sempre crescenti richieste di capacità, a cui non corrisponde un analogo aumento dei profitti anche a causa della forte competizione in atto tra i diversi operatori. Queste dinamiche stanno spingendo gli operatori mobili a cercare nuove soluzioni architetture

rali che permettano da una parte di introdurre più velocemente nuovi servizi e nuove funzionalità per aumentare la capacità offerta dalla rete, e che dall'altra parte aiutino a rendere i costi di ampliamento e gestione della rete compatibili con lo scenario fortemente competitivo. Nel caso del segmento dell'accesso radio, visti i maggiori investimenti richiesti, si fa più pressante l'esigenza di ricercare nuove soluzioni ed approcci che permettano di realizzare un'architettura più flessibile, anche a supporto dell'introduzione delle nuove funzionalità legate al 5G. In quest'ottica si stanno affermando diverse iniziative che propongono, con diverse sfumature, il concetto di 'Open RAN', con l'obiettivo di introdurre una maggiore competizione nel segmento radio e favorire

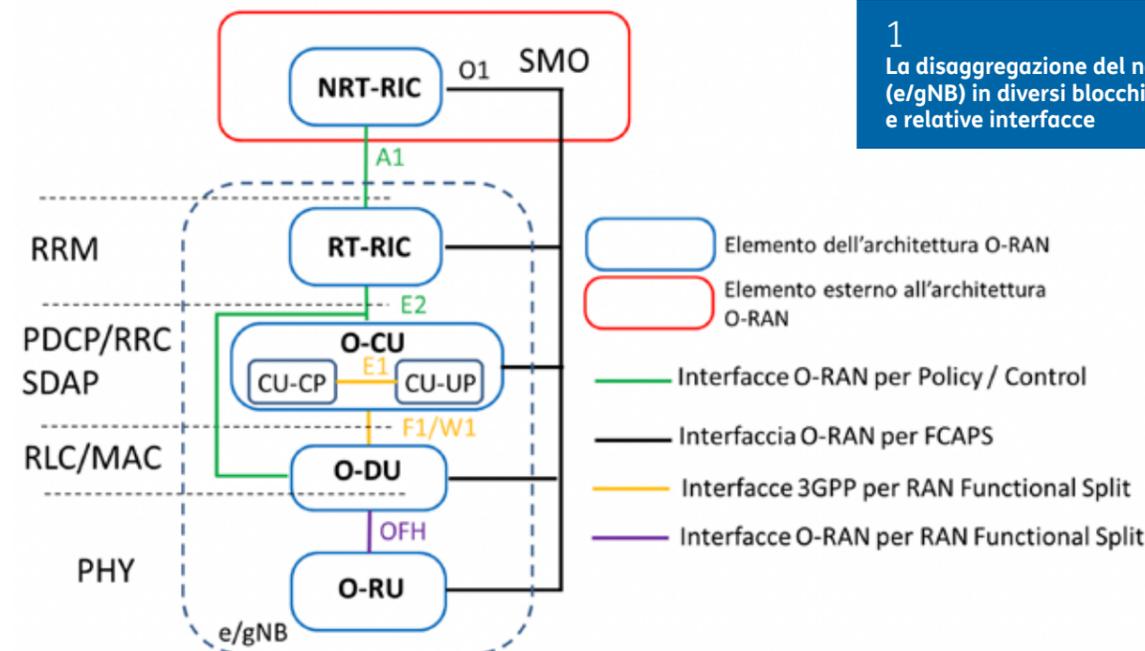
anche l'ingresso di nuovi attori. In particolare, è possibile individuare alcuni obiettivi comuni alle diverse iniziative:

- La possibilità di utilizzare dispositivi, apparati e applicativi da diversi fornitori, garantendo quindi l'interoperabilità tramite la definizione di interfacce standard aperte;
- L'utilizzo di hardware non specializzato su cui poter installare i moduli software (realizzati anche da fornitori differenti) che implementano le diverse funzionalità di rete;
- L'introduzione di maggiore intelligenza nel segmento radio, sfruttando anche tecniche di AI/ML (Artificial Intelligence/Machine Learning) al fine di automatizzare molte operazioni volte

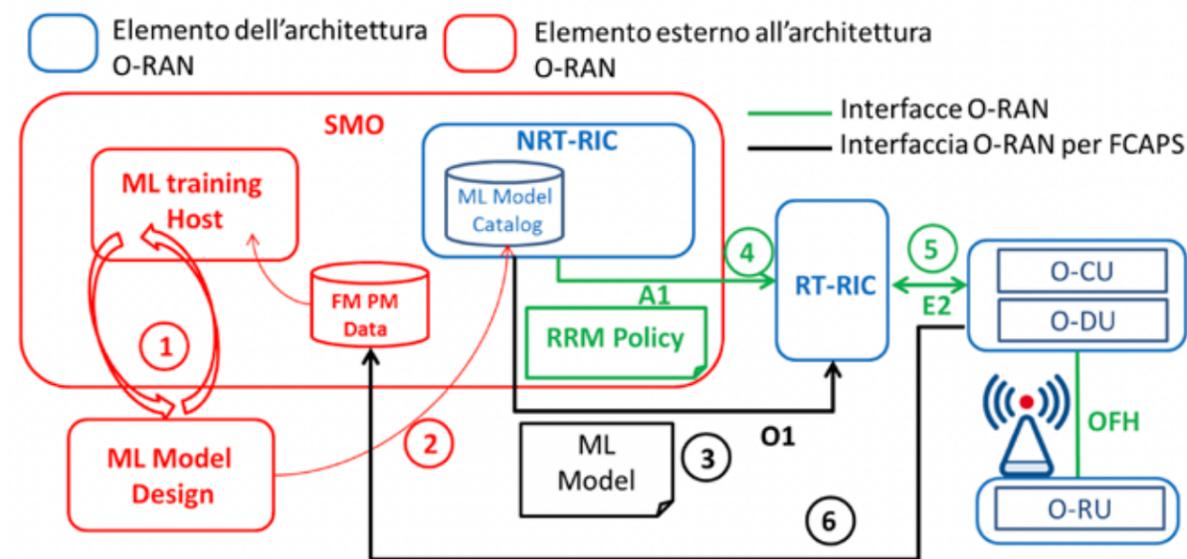
alla gestione, configurazione e ottimizzazione radio.

Un approccio cloud, mediante l'impiego di opportune soluzioni di IaaS/PaaS per l'hosting anche delle funzioni radio è visto come un importante abilitatore per il raggiungimento degli obiettivi sopra elencati. Al fine di perseguire questi obiettivi TIM ha aderito a due consorzi internazionali, l'O-RAN Alliance [1] e il Telecom Infra Project (TIP) [2], rispettivamente sin dal 2018 e dal 2017.

L'O-RAN Alliance è un'iniziativa guidata da operatori e risultante dalla fusione tra xRAN Forum e C-RAN Alliance al fine di spingere verso una maggiore apertura delle interfacce nella rete di accesso radio dei sistemi mobili di futura generazione. Supportata da ope-



**1** La disaggregazione del nodo radio (e/gNB) in diversi blocchi funzionali e relative interfacce



**2** Possibile sequenza (da step 1 a step 5) per l'utilizzo di Modelli di ML in rete

ratori quali AT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, NTT DOCOMO, Orange, Verizon e TIM, persegue l'obiettivo di fare evolvere l'accesso radio secondo i paradigmi della disaggregazione delle funzionalità radio, virtualizzazione e disaccoppiamento hardware/software con utilizzo di hardware generico (cosiddetto whitebox), automazione e standardizzazione di interfacce aperte per abilitare una vera interoperabilità.

Il TIP è un'iniziativa patrocinata da Facebook, a cui partecipano operatori e costruttori, con un obiettivo più generale che può riassumersi con la frase 'connect the unconnected': supportare l'innovazione tramite lo sviluppo di Proof of Concept e trial al fine di sviluppare soluzioni cost-effective che per-

mettano di portare internet ovunque. Per il segmento radio questo obiettivo ha portato a considerare elementi comuni all'O-RAN: disaggregazione delle funzionalità, virtualizzazione e disaccoppiamento hardware/software con utilizzo di whitebox.

### O-RAN Alliance

Uno degli obiettivi dell'O-RAN Alliance è favorire la realizzazione di una RAN aperta, basata sulla disaggregazione del nodo di accesso radio secondo quanto previsto dall'architettura 3GPP, alla quale sono stati aggiunti ulteriori elementi funzionali e le relative interfacce. A tal fine è stata definita un'architettura

di riferimento (riportata in Figura 1) dove sono rappresentati diversi componenti associati alle varie funzionalità radio:

- O-RU (O-RAN Radio Unit):** La parte del nodo radio connessa alle antenne (o che le integra nel caso di sistemi di antenne attive) e responsabile della conversione del segnale da digitale ad analogico e a radiofrequenza in trasmissione e viceversa in ricezione. Il blocco contiene la parte bassa del livello protocollare fisico (Low-PHY).
- O-DU (O-RAN Distributed Unit):** La componente del nodo radio che contiene la parte alta del livello fisico (High-PHY) insieme ai livelli protocollari MAC e RLC. Questo blocco, contenendo sia lo scheduler che la codifica di canale, è quello che richiede il maggior carico computazionale. Al

# Open Fronthaul (FH)

bruno1.melis@telecomitalia.it

Le specifiche dell'interfaccia di fronthaul recentemente rilasciate dal WG4 dell'O-RAN nella versione 2.0 definiscono un'interfaccia standard fra gli apparati di banda base (O-DU) e le unità radio (O-RU) per LTE e NR nel caso di split funzionale 7-2 (secondo la classificazione 3GPP, [4]) all'interno del livello fisico (Low Layer Split, LLS), permettendo l'interoperabilità fra apparati di vendor diversi (a.k.a. multivendor RAN).

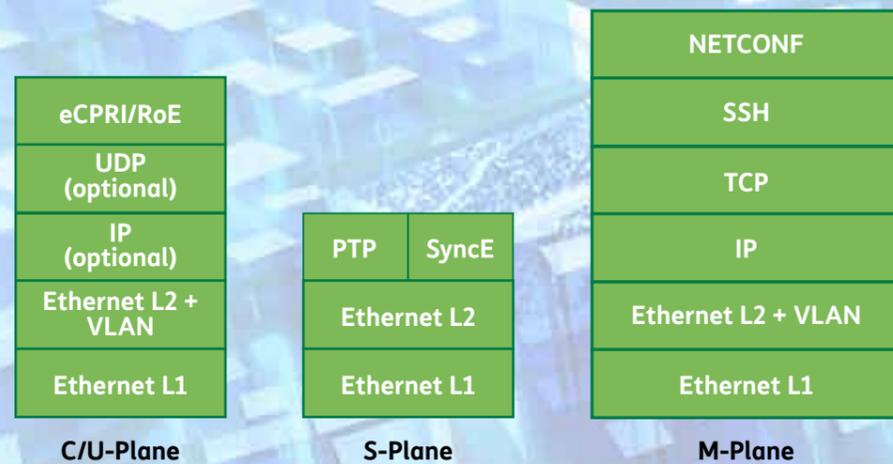
Il protocollo standardizzato da O-RAN, definisce il piano utente, controllo, sincronizzazione e management e si appoggia sul protocollo eCPRI (o in alternativa sul protocollo IEEE 1914.3, anche noto come Radio over Ethernet, RoE).

A livello 3 è previsto l'utilizzo opzionale del protocollo UDP/IP (Control/User plane) o TCP/IP (Management plane) che a sua volta si appoggia sul protocollo Ethernet per il trasporto a livello 1 e 2. La struttura dei protocolli su cui si appoggia il protocollo Open Fronthaul

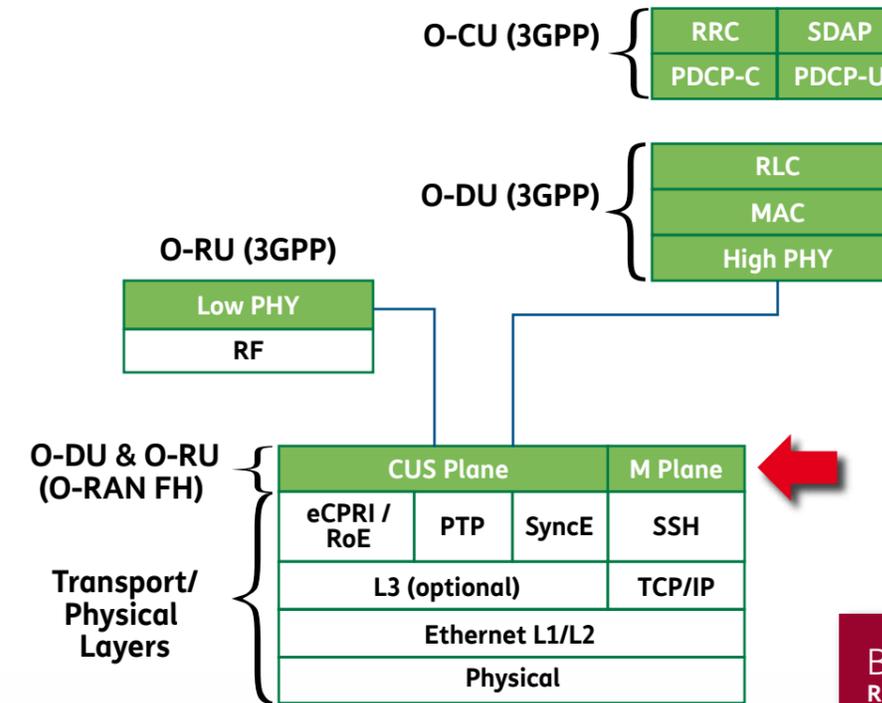
è illustrata in *Figura A* mentre la ripartizione dei protocolli fra i vari nodi che costituiscono l'architettura Open RAN è mostrata in *Figura B*.

I messaggi del piano utente dell'O-FH trasportano i campioni del segnale OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) nel dominio della frequenza, quantizzati ed eventualmente compressi mediante specifici algoritmi standardizzati dalla specifica O-RAN.

I messaggi del C-Plane inviati dalla O-DU alla O-RU trasportano invece informazioni di controllo associate ai dati trasportati sul piano utente, quali ad esempio le risorse tempo/frequenza (i.e. scheduling) su cui si mappano i dati e le informazioni di supporto al beamforming (es. l'indice del beam i cui pesi sono pre-caricati nella O-RU o alternativamente i pesi di beamforming calcolati nella O-DU da applicare nella O-RU ai dati). La specifica O-FH standardizza diversi metodi per lo scambio delle informazioni di controllo legate al be-



**A**  
Struttura dei protocolli su cui si appoggia Open Fronthaul



**B**  
Ripartizione dei protocolli fra i nodi che costituiscono l'Open RAN

amforming rendendo quindi possibile l'interoperabilità fra O-DU ed O-RU di vendor diversi.

Il throughput dell'interfaccia O-FH è un elemento importante da cui dipendono le scelte di dispiegamento e l'opportuno dimensionamento della rete di trasporto. Caratteristica dello split funzionale 7-2 è che il throughput sul fronthaul, a differenza dell'interfaccia CPRI (Common Public Radio Interface), scala in proporzione al carico sull'interfaccia radio rappresentato essenzialmente dal numero di Resource Block (RB) utilizzati. Questa caratteristica permette la moltiplicazione statistica nel caso di aggregazione del traffico generato/ricevuto da molteplici O-RU, aumentando l'efficienza della rete di trasporto e permettendo di effettuare un dimensionamento di tipo statistico non vincolato al valore di picco come nel caso dell'interfaccia CPRI. Per quanto riguarda il MIMO, poiché il beamforming digitale e/o analogico con l'applicazione dei relativi pesi è effettuato nella O-RU, il throughput del piano utente scala proporzionalmente al numero di layer/stream

MIMO trasmessi e non in funzione del numero di antenne (come nel caso della CPRI), rendendo possibile l'utilizzo di antenne con un numero elevato di elementi radianti (a.k.a. massive MIMO) mantenendo requisiti sul trasporto ragionevoli. A titolo di esempio, la *Figura C* mostra una stima ottenuta per via analitica del throughput di picco generato in downlink da una O-DU sull'interfaccia O-FH nel caso di una portante NR, in funzione della larghezza di banda della portante e del numero di layers trasmessi (ottenibili in NR anche con meccanismi di trasmissione MU-MIMO). Il calcolo è effettuato supponendo un utilizzo completo di tutte le risorse disponibili in termini di Resource Blocks (carico massimo sull'interfaccia radio), spaziatura delle sottoportanti OFDM di 30 kHz ed una quantizzazione su 8 bit dei segnali I/Q trasmessi. Il throughput sul piano dati dipende oltre che dal numero di risorse utilizzate (RB) e dal numero di layer trasmessi (quindi indirettamente dal numero di utenti serviti) anche dal livello di quantizzazione che a sua volta è legato allo schema di com-

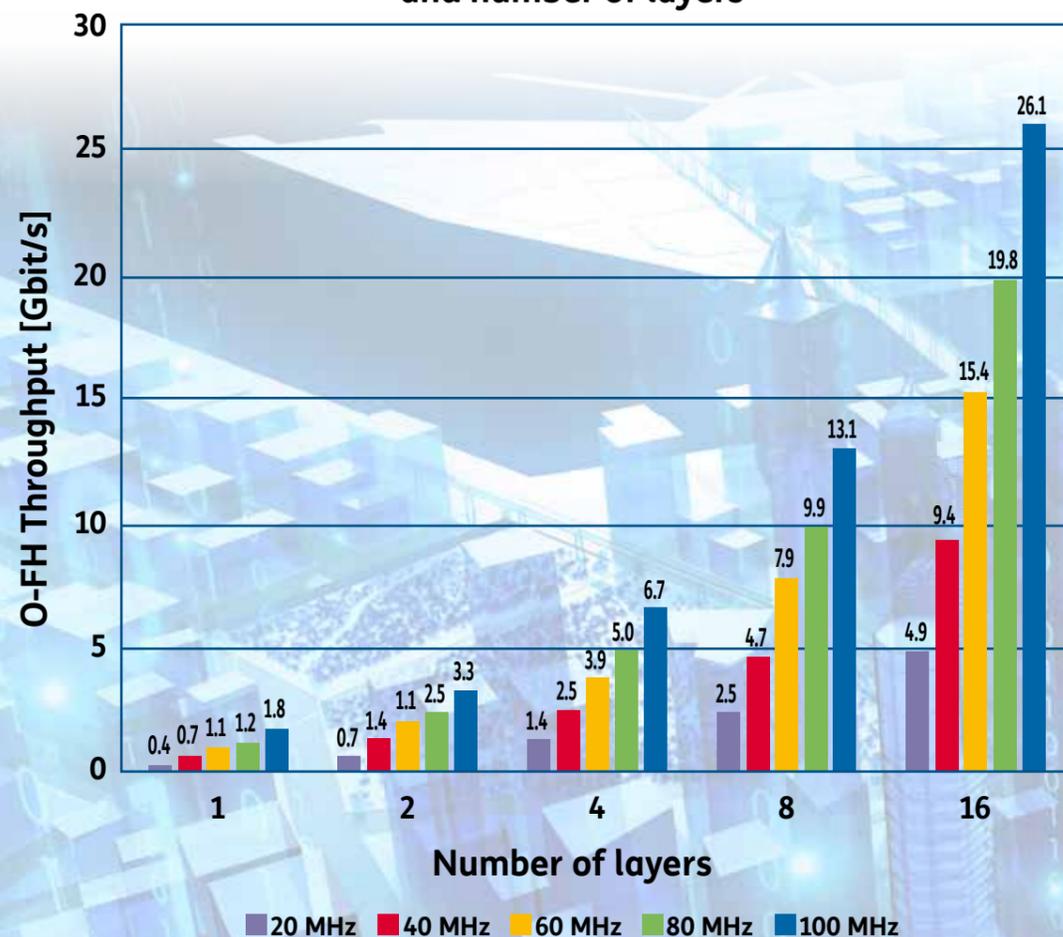
pressione utilizzato. Al throughput generato sul piano utente è stato sommato il throughput generato sul piano di controllo che in una situazione media è stato stimato pari al 5% del throughput sul piano utente. Il throughput sul piano di controllo dipende principalmente dal numero di utenti serviti simultaneamente e dallo schema di beamforming utilizzato (ad es. dal periodo con cui sono ricalcolati e trasmessi i coefficienti di beamforming).

Altro elemento importante da considerare per le opportune scelte di dispiegamento di una soluzione O-RAN è la massima latenza supportata da quest'interfaccia. I valori considerati nella prima versione della specifica sono dell'ordine delle centinaia di microsecondi. Nella

seconda versione è stato introdotto il supporto anche di valori superiori, sulla scorta di quanto svolto nell'ambito del progetto vRAN Fronthaul del TIP (vedere il box di approfondimento "Non ideal Fronthaul e attività TIM nell'ambito del TIP") ■

**C**  
Throughput sull'interfaccia O-FH sul piano utente nel caso di portante NR

**O-RAN Fronthaul Throughput vs. Channel Bandwidth and number of layers**



fine di perseguire un approccio cloud anche per la componente RAN l'idea è virtualizzare anche questa componente e centralizzarla in un opportuno data centre consentendo l'abilitazione di algoritmi di coordinamento quali Carrier Aggregation e CoMP. In tal caso, visti gli elevati requisiti in termini di processing e esigenze real time, al fine di avere una soluzione più efficiente, è prevedibile l'impiego di soluzioni di accelerazione hardware (quali FPGA o GPU) in aggiunta a hardware non specializzato (tipicamente basato su architetture x86).

**O-CU (O-RAN Central Unit):**

questo elemento è standardizzato anche in 3GPP e viene ulteriormente composto da una parte che gestisce lo User Plane (contenente il protocollo PDCP e il protocollo SDAP) e una parte di Control Plane (contenente il protocollo RRC). Facendo riferimento agli split funzionali analizzati in 3GPP (si veda [4]), l'interfaccia tra la O-CU e la O-DU (indicata con F1 per NR e W1 per LTE) è basata pertanto sull'opzione 2. Anche tenendo conto delle prime soluzioni di virtual RAN, la virtualizzazione di questo elemento è fattibile impiegando unicamente hardware non specializzato.

**RT-RIC (Real Time Radio Intelligence Controller):**

è l'elemento funzionale in cui vengono centralizzate alcune procedure di RRM (Radio Resource Management) quali ad esempio l'Admission Control, l'Handover e il Measurement Report, permettendo anche l'utilizzo di implementazioni fornite da terze parti e l'impiego di tecniche di AI/ML.

**NRT-RIC (Non Real Time Radio Intelligence Controller):**

è l'elemento funzionale presente all'interno del layer di Service Management and Orchestration (SMO) che permette il controllo del nodo RAN attraverso l'invio di Policy e monitorando le informazioni FCAPS (Fault, Configurations, Alarms, Performance and Security) provenienti dai vari blocchi dell'architettura.

Per favorire l'apertura dell'ecosistema dell'accesso radio a diversi player, l'O-RAN si è posto l'obiettivo di assicurare l'effettiva interoperabilità tra i diversi elementi di rete. Per questo, a partire dalle specifiche standard già definite in 3GPP, vengono definiti opportuni profili ottenuti selezionando sottoinsiemi delle opzioni previste dallo standard. Essendo tuttavia presenti nuovi elementi nell'architettura, l'O-RAN specifica anche nuove interfacce:

- L'interfaccia **O-FH (Open Fronthaul)** è l'interfaccia tra la O-DU e la O-RU, che abilita l'interoperabilità tra O-DU (che può essere installata presso il sito radio o presso un data centre) e O-RU (installata vicino alle antenne) e che possono essere fornite da costruttori differenti. Facendo riferimento agli split funzionali analizzati in 3GPP (si veda [4]), per tale interfaccia è stata selezionata l'opzione 7-2.
- Le interfacce A1 e E2, che consentono il monitoraggio e la riconfigurazione della rete in modo dinamico e automatico in funzione delle esigenze di servi-

zio/copertura, applicando anche tecniche di AI/ML. Come si vede nell'esempio in *Figura 2* l'interfaccia O1 permette di passare al RT-RIC un ML Model (step 3). Il Modello passato verrà usato dal RT-RIC per ottimizzare le decisioni da applicare in rete attraverso input e output sulle interfacce A1 e E2 (step 4 e 5). I contatori di rete vengono poi collezionati nel SMO (step 6) e vengono usati per fare il training di nuovi modelli ML (step 1), i modelli ritenuti validi vengono caricati come quelli utilizzabili dal NRT-RIC (step 2) pronti per aggiornare quelli esistenti nei RT-RIC.

L'attività O-RAN è organizzata in *Working Group* che hanno lo scopo di definire le interfacce descritte in *Figura 1*.

**WG1:** è il gruppo che si occupa di standardizzare l'interfaccia O1 che corrisponde all'interfaccia di OAM (Operation & Maintenance). Le informazioni FCAPS provenienti dai vari blocchi vengono catturate da questa interfaccia, che allo stesso tempo può essere usata per la configurazione del nodo.

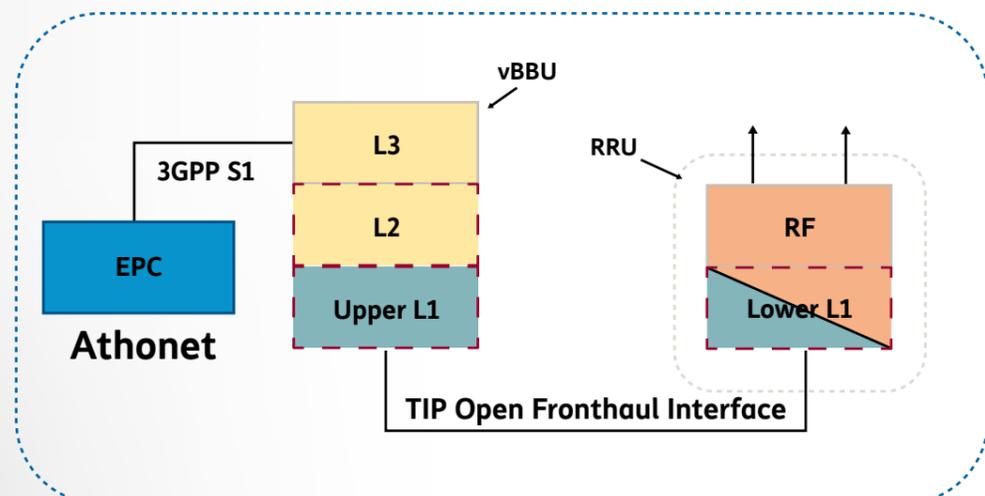
**WG2:** è il gruppo che si occupa di standardizzare l'interfaccia A1, il cui scopo è inviare informazioni relative alle policy con cui la RAN deve gestire gli utenti o i servizi legati ai diversi utenti. La stessa interfaccia può essere usata per trasmettere alla RAN modelli di Machine Learning (ML) e/o Enrichment Information (EI) al fine di migliorare la gestione delle procedure Radio per

# Non ideal Fronthaul e attività TIM nell'ambito del TIP

antonio.orlando@telecomitalia.it;  
alessandro.torielli@telecomitalia.it

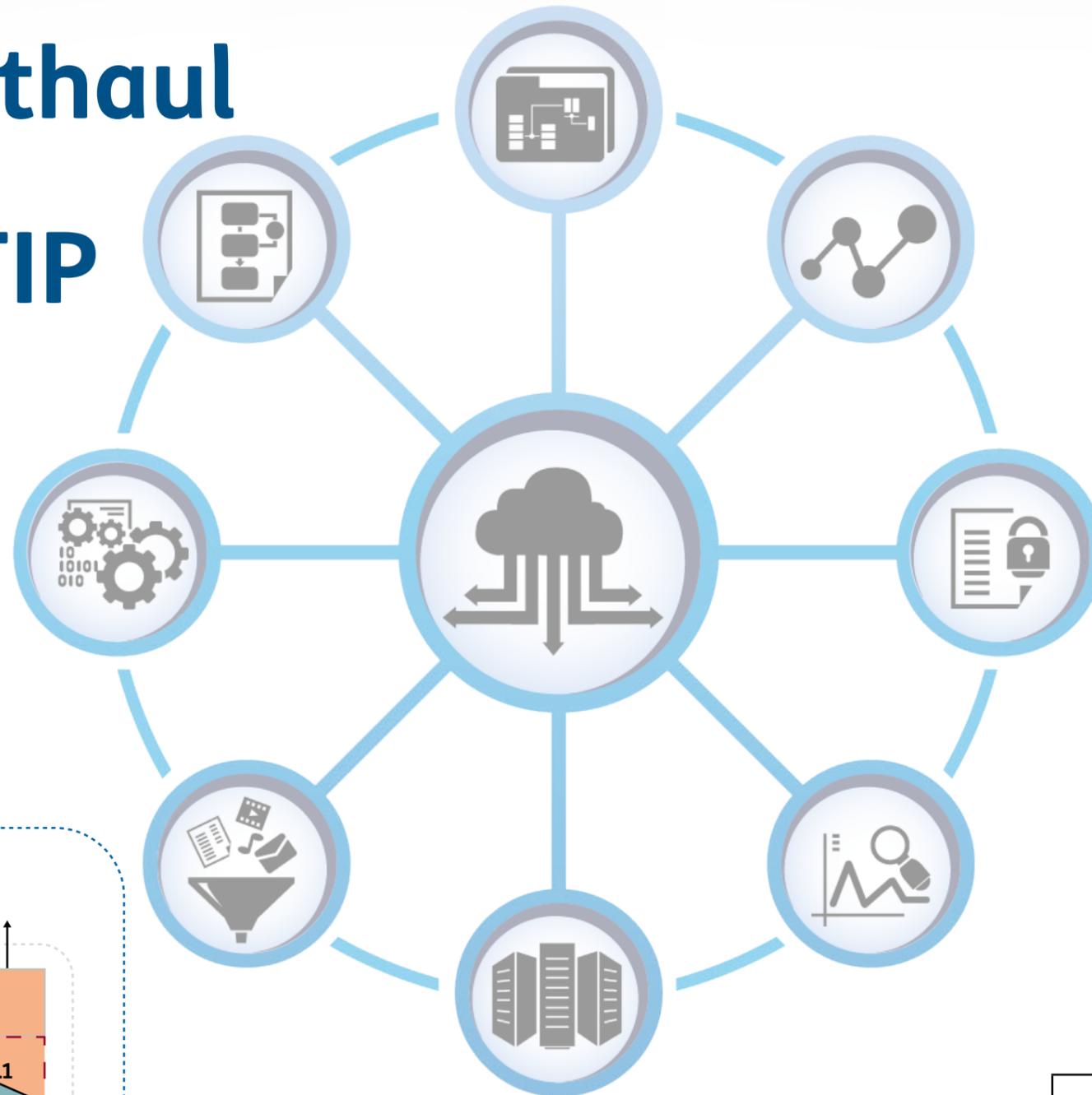
La soluzione di accesso mobile sperimentata nel TIP Community Lab di TIM a Torino è una soluzione multi vendor volta a verificare il comportamento del sistema nel caso di un FH non ideale trasportato su una rete a pacchetto. Differenti fornitori hanno contribuito alla sua realizzazione, in particolare:

- Phluido ha fornito l'Upper Layer 1 della BBU (funzionalmente corrispondente all'insieme O-CU + O-DU definiti in O-RAN) e il Lower Layer 1 installato sulla FPGA della RRU (funzionalmente corrispondente alla O-RU definita in O-RAN);



Phluido
Radisys
Baicells
Requires split-specific enhancements

**D**  
Eco-sistema multi vendor realizzato nel TIP CL di TIM



- Radisys ha fornito Layer 2 e Layer 3 della BBU;
- Baicells ha fornito la RRU, costituita da una small cell indoor;
- Athonet ha messo a disposizione una core LTE carrier grade;
- Tech Mahindra insieme a TIM ha svolto il compito di System Integrator ed ha avuto la responsabilità dell'esecuzione dei test previsti, con analisi dei risultati ottenuti e generazione del report finale dell'attività svolta.

Nella *Figura D* si riporta uno schema a blocchi con le connessioni logiche

È importante segnalare che, sebbene uno degli obiettivi iniziali del progetto fosse quello di specificare un'interfaccia open per il fronthaul, le attività del gruppo si siano limitate poi alla realizzazione del PoC.

La soluzione implementata sul FH è pertanto proprietaria e non allineata alle specifiche O-RAN, anche se è stata considerata la stessa opzione di functional split 7-2. Le attività sperimentali condotte nel TIP Community Lab di TIM sono state focalizzate sulla caratterizzazione del Sistema in configurazione RRU singola e multipla (abilitando anche algoritmi CoMP) secondo quanto riportato nella figura precedente (*Figura D*).

Nel seguito si riportano alcuni risultati ottenuti in configurazione singolo vendor (*Phase 0* del progetto, in cui tutto lo stack protocollare è stato fornito da Phluido).

Il sistema è stato testato considerando la configurazione LTE MIMO 2x2. Un primo risultato interessante è la banda misurata sul FH in corrispondenza di un singolo utente connesso (single user peak throughput) in grado di generare quindi 150Mbps in Downlink e 50Mbps in Uplink sulla

	Downlink	Uplink
Option 2	150Mbps	75 Mbps
Option 7-2	1.08 Gbps	1.08 Gbps
Option 8 (CPRI)	2.46 Gbps	2.46 Gbps
TIP solution measured in lab	175 Mbps	210 Mbps

**T1**  
Fronthaul peak throughput per differenti functional splits

tratta radio, che mette in evidenza l'efficienza dell'algoritmo di compressione implementato.

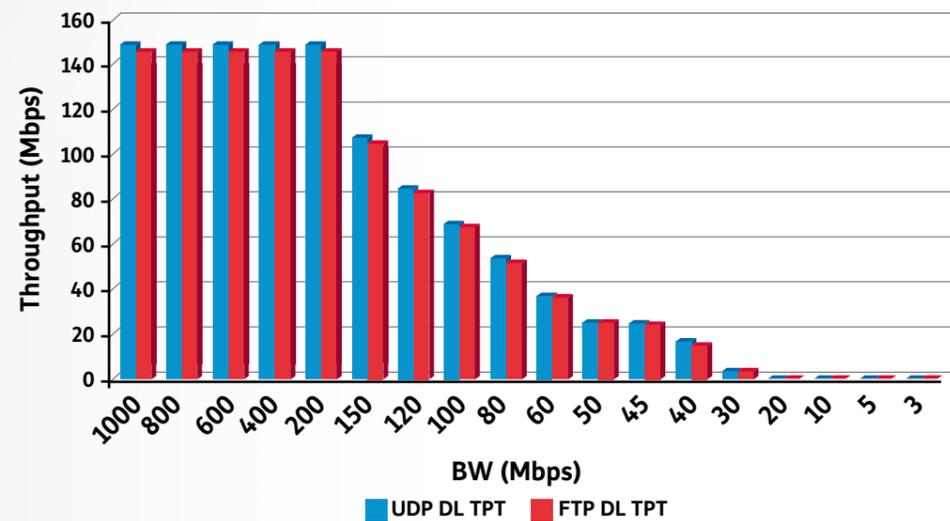
I valori misurati sul fronthaul sono confrontati nella tabella (Tabella T1) con i valori teorici di alcuni degli split analizzati in 3GPP (si veda [4]), calcolati in assenza di algoritmi di compressione.

Un altro risultato interessante è ottenuto confrontando il throughput singolo utente sulla tratta radio con la banda corrispondente misurata sul FH nel caso di limitazione

della banda disponibile sul trasporto (si veda Figura E). Dai dati misurati è possibile non solo stimare l'overhead del FH ma soprattutto evidenziare come il sistema sia in grado di lavorare in caso di reti di trasporto congestionate anche se con una degradazione nelle prestazioni massime raggiungibili.

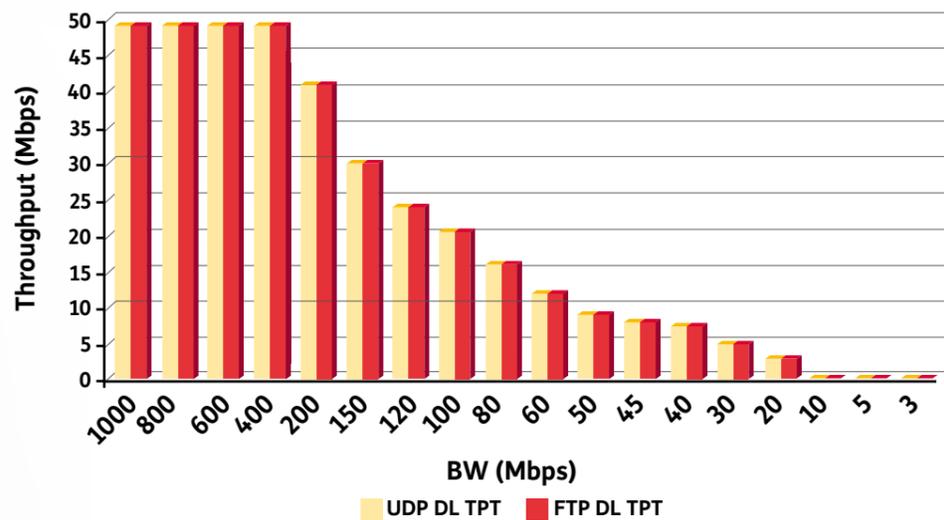
Al fine di valutare la robustezza del sistema alla presenza di possibili delay in rete di trasporto è stata introdotta della latenza aggiuntiva sulla connessione di FH (si veda

BW Reduction - DL Throughput

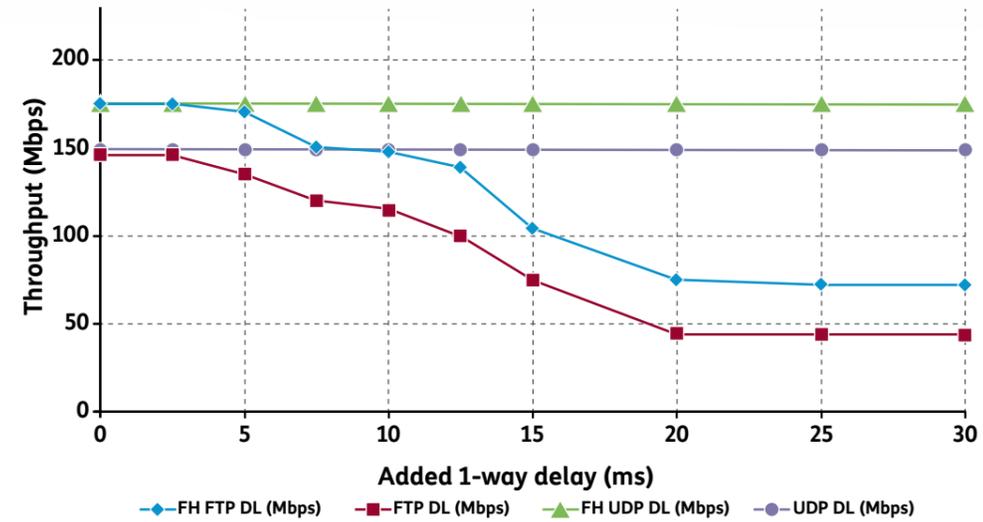


E Throughput Downlink e Uplink vs banda limitata sul fronthaul

BW Reduction - UL Throughput



DL Throughput - 20 MHz BW - Std Latency



F Throughput in Downlink e Uplink vs Latenza sul fronthaul

UL Throughput - 20 MHz BW - Std Latency

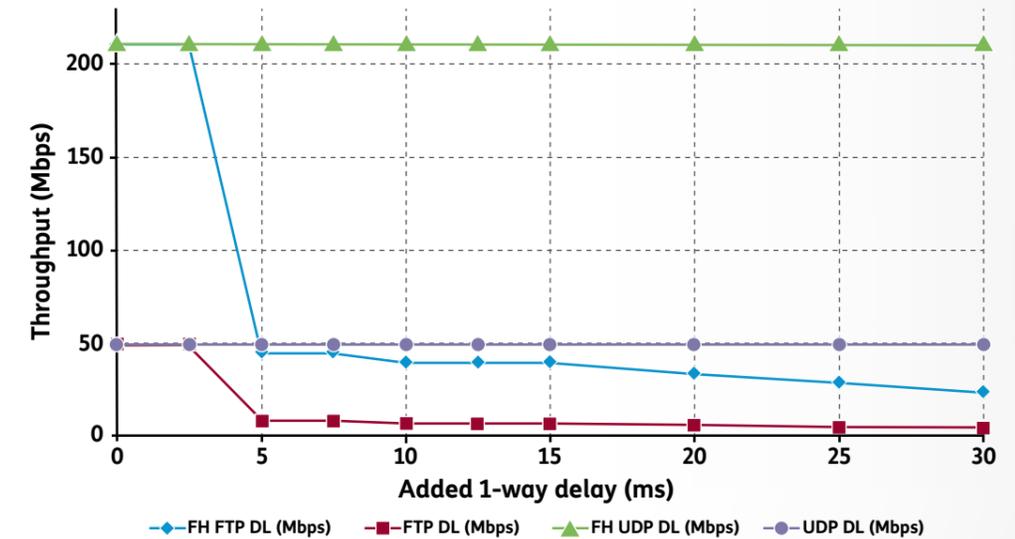


Figura F). Il throughput TCP mostra una degradazione delle prestazioni per valori di latenza superiori ai 5 ms (dovuti alla mancanza di ottimizzazione degli algoritmi di controllo del TCP) mentre il traffico UDP mostra un buon comportamento anche per valori di latenza estremamente alti. I risultati ottenuti sono tanto più interessanti se confrontati con quanto previsto in letteratura e nella specifica di O-FH O-RAN (almeno nella versione 1.0), dove si parla di valori massimi dell'ordine delle centinaia di microsecondi. Le soluzioni adottate per gestire questi elevati valori di

latenza possono comportare una riduzione di prestazione in alcuni scenari; in altre situazioni, tipicamente caratterizzate da bassa mobilità e da una bassa densità di utenti, ci si aspetta una degradazione delle prestazioni trascurabile se non nulla (si veda l'annex L in [5] per approfondimenti). L'implementazione di soluzioni di questo tipo consentirebbe pertanto una maggiore flessibilità per l'operatore nell'implementazione di una soluzione RAN in ottica cloud e il supporto di alcuni scenari quali small cell e FWA (Fixed Wireless Access) con impatti limitati sul trasporto ■

raggiungere l'obiettivo prefissato a livello di SMO.

**WG3:** è il gruppo che si occupa di definire l'interfaccia E2, il cui compito è quello gestire le procedure radio del nodo in real-time (RT). Per fare questo deve comunicare con i moduli che gestiscono il C-Plane nel nodo radio ovvero: RRC della O-CU e lo scheduler a livello MAC che risiede nella O-DU.

**WG4:** è il gruppo che si occupa di definire l'interfaccia O-FH che collega la O-DU alla O-RU. Il gruppo definisce anche le specifiche dell'interfaccia di gestione della O-RU e di conformance test e di interoperabilità dell'interfaccia O-FH

**WG5:** è il gruppo che si occupa delle interfacce tra O-DU e O-CU (F1/W1), tra C-Plane e U-Plane (E1) e anche delle interfacce tra altri nodi radio (X2/Xn). Essendo queste interfacce oggetto di standardizzazione in 3GPP, il compito di questo gruppo è assicurarsene l'effettiva interoperabilità andando a ridurre le opzioni e gli aspetti lasciati all'implementazione.

Il compito di O-RAN non si limita solo alla definizione di interfacce logiche tra funzionalità radio: nel consorzio sono presenti ulteriori working group con l'obiettivo di promuovere l'implementazione di soluzioni O-RAN in ottica cloud, al fine di disaccoppiare l'hardware dal software e permettere l'utilizzo di hardware non specializzato:

**WG6:** è il gruppo che si occupa di definire l'architettura cloud per il nodo RAN, in funzione delle di-

verse ipotesi di dispiegamento. L'attività comprende la definizione di modalità per l'utilizzo di piattaforme di accelerazione hardware (come FPGA/DSP/ASIC/GPU) necessarie per alcune delle funzioni radio più onerose dal punto di vista computazionale.

**WG7:** è il gruppo che si occupa della definizione di un reference design per l'hardware di una "white box" in grado di implementare il nodo radio (in particolare per la componente O-DU ed O-RU)

**WG8:** è il gruppo che si occupa della definizione di un reference design del software che implementa il nodo radio.

Un passo ulteriore verso la realizzazione di RAN multivendor consiste nella possibilità di certificare il livello di conformance allo standard e l'interoperabilità delle soluzioni sviluppate. Per questo è stato istituito il **TIFG** (*Test and Interoperability Focus Group*) il cui compito è definire un processo di test e di certificazione delle diverse interfacce al fine di validare la bontà delle soluzioni proposte dai diversi vendor. A tal fine il gruppo prevede la costituzione di diversi laboratori **OTIC** (*O-RAN test and integration certification*) responsabili della certificazione di apparati O-RAN compliant. Il gruppo si occupa anche dell'organizzazione di *plugfest*, eventi nei quali i vari fornitori possono verificare il livello di interoperabilità raggiunto delle proprie soluzioni con quelle sviluppate da altri fornitori. Infine, è importante segnalare l'intento di promuovere lo

sviluppo open source dei moduli che compongono l'architettura O-RAN. Per questo è stata stabilita una relazione con la Linux Foundation dove è stata istituita la **OSC** (*O-RAN Software Community*) il cui compito è fornire un'implementazione open source dei vari moduli, partendo in particolare dalle piattaforme di NRT-RIC e RT-RIC e da altri moduli del Service Management and Orchestration basati sulla piattaforma ONAP e opportunamente specializzati per le applicazioni in ambito RAN.

## Telecom Infra Project

Nell'ambito del TIP, TIM ha partecipato sin dalla sua costituzione al progetto vRAN Fronthaul [3]. Il progetto, nato nel 2017, ha l'obiettivo di sviluppare una soluzione di RAN virtualizzata multi vendor in grado di poter essere dispiegata in presenza anche di soluzioni di trasporto per il fronthaul cosiddette non ideali, ovvero in scenari dove non è sempre disponibile la fibra e le tecnologie di trasporto sono caratterizzate da una banda limitata e latenze anche superiori al millisecondo. All'interno del progetto sono stati selezionati 4 laboratori (*Community Labs*) sponsorizzati da altrettanti operatori, dove diverse soluzioni prototipali multi-vendor sono state sviluppate al fine di supportare diversi use case:

- CableLabs: La sperimentazione in questo caso è focalizzata a misurare l'efficienza di compressio-

ne della banda e di robustezza a elevati valori di latenza sul fronthaul tali da permettere il dispiegamento della soluzione vRAN sulla rete DOCSIS esistente. Gli scenari di dispiegamento considerano quindi femto celle indoor e small cell in ambito urbano.

- BT: nel caso di BT l'interesse è per soluzioni di vRAN con fronthaul efficiente in grado di essere trasportato su reti ethernet (quali quelle presenti in campus universitari o grandi aziende), G.Fast e ponti radio. Gli scenari di interesse in tal caso considerano anche funzionalità multi-operatore/neutral host.
- Airtel: anche nel caso dello use case considerato da Airtel l'efficienza e robustezza alla latenza sono importanti in quanto si

prevede l'utilizzo di ponti radio multi-hop per il trasporto del fronthauling.

- TIM: Lo use case considerato da TIM indirizza un utilizzo efficiente della fibra già dispiegata, dove le capacità di compressione della banda è la prima priorità per assicurare lo sfruttamento adeguato degli asset in fibra e loro evoluzione. In tal caso lo scenario considerato è quello a supporto del dispiegamento di small cell con utilizzo di tecnologia PON (*Passive Optical Network*) e sue evoluzioni per il trasporto del fronthauling. Pensando ai meccanismi di allocazione della banda in questi sistemi punto-multipunto, anche la robustezza nei confronti della latenza è un fattore importante.

Un dettaglio sulle attività svolte nell'ambito del Community Lab di TIM è illustrato nel box di approfondimento "Non ideal Fronthaul e attività TIM nell'ambito del TIP". È importante segnalare come le varie aziende che hanno partecipato al progetto vRAN Fronthaul hanno poi proposto un work item in O-RAN per estendere le specifiche dell'**O-FH**, al fine di considerare anche latenze tipiche di questi scenari "non ideal". Questa estensione è stata approvata nella release 2.0. In aggiunta, al fine di permettere il supporto da parte dell'**O-FH** di tecnologie di trasporto quali DOCSIS e PON è stato avviato un altro work item in O-RAN (*CTI, Cooperative Transport Interface*) tutt'ora in corso ■

## References

- [1] <https://www.o-ran.org/>
- [2] <https://telecominfraproject.com/>
- [3] <https://vran.telecominfraproject.com/>
- [4] 3GPP TR 38.801, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (Release 14).
- [5] ORAN-WG4.CUS.0-v02.00, O-RAN Fronthaul Working Group, Control User and Synchronization Plane Specification.
- [6] O-RAN A1 interface: General Aspects and Principles Version 1.0 - October 2019 (ORAN-WG2.A1.GA&P-v01.00)
- [7] O-RAN NR U-plane profile for EN-DC Version 1.0 - June, 2019 (ORAN-WG5.U.0-v1.00)
- [8] O-RAN NR C-plane profile for EN-DC Version 1.0 - June, 2019 (ORAN-WG5.C.1-v1.00)
- [9] O-RAN Cloud Architecture and Deployment Scenarios for O-RAN Virtualized RAN Version 1.0 - October 2019 (O-RAN-WG6.CAD-V01.00.00)
- [10] O-RAN Operations and Maintenance Architecture Version 1.0 - July 2019 (O-RAN-WG1.OAM Architecture -v01.00)
- [11] O-RAN Operations and Maintenance Interface Version 1.0 - July 2019 (O-RAN-WG1.OAM Interface Specification-v1.0)

## Acronimi

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BBU	Baseband Unit
CoMP	Coordinated Multi Point
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSP	Digital Signal Processor
eCPRI	enhanced CPRI
FPGA	Field Programmable Gate Array
GPU	Graphics Processing Unit
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	Multi User MIMO
NR	New Radio
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
RAN	Radio Access Network
RLC	Radio Link Control
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio resource Management
RRU	Radio Remote Unit
SDAP	Service Data Adaptation Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol



**Andrea Buldorini** [andrea.buldorini@telecomitalia.it](mailto:andrea.buldorini@telecomitalia.it)

Ingegnere elettronico, indirizzo telecomunicazioni, entra in Azienda nel 1997 e partecipa ad attività di ricerca sui sistemi radiomobili. Attualmente è nella funzione Technology Innovation. Si è occupato di tematiche relative alle tecnologie radio, rappresentando Telecom Italia in vari enti di normativa internazionale (3GPP, O-RAN, NGMN, ETSI) - E' delegato TIM in O-RAN Alliance e in 3GPP RAN WG3, il gruppo tecnico responsabile della standardizzazione dei protocolli di rete di accesso radio 4G e 5G. Si occupa di aspetti di ottimizzazione di rete, Self-Organizing Networks, RAN Management and Orchestration ■



**Marco Caretti** [marco.caretti@telecomitalia.it](mailto:marco.caretti@telecomitalia.it)

Ingegnere elettronico, è entrato nel 2000 in Azienda per occuparsi di analisi delle prestazioni tramite simulazione e di tematiche di dimensionamento e pianificazione di sistemi radiomobili 2G/3G/4G. In ambito standard ha seguito i lavori del gruppo TSG RAN WG1 e successivamente del WG4 del 3GPP. Attualmente lavora all'analisi di prestazioni del sistema 4G/5G e segue le attività di sperimentazione e prototipazione di sistemi di accesso radio in architettura Cloud e Virtual RAN. In quest'ambito segue le attività in O-RAN Alliance (principalmente WG4 e WG6) e il progetto vRAN Fronthaul nel Telecom Infra Project (TIP) ■



**Gian Michele Dell'Aera** [gianmichele.dellaera@telecomitalia.it](mailto:gianmichele.dellaera@telecomitalia.it)

Laureato al Politecnico di Torino in ingegneria delle Telecomunicazioni nel 2006 con una tesi sui ricevitori multi antenna. Entra in azienda nel 2007 per occuparsi di simulazioni di link per la rete radio mobile 4G. Ha seguito lo standard 3GPP WG1 dal 2012 al 2016. Dal 2016 ad oggi segue gli sviluppi dall'accesso Radio verso il 5G. Attualmente è delegato per TIM della O-RAN Alliance ■



**Salvatore Scarpina** [salvatore.scarpina@telecomitalia.it](mailto:salvatore.scarpina@telecomitalia.it)

Laureato in ingegneria elettronica presso Polito, lavora in TIM dal 2005 nell'ambito dell'innovazione e della ricerca. Inizialmente focalizzato sullo sviluppo di tecnologie sui terminali mobili, successivamente si è orientato allo sviluppo di servizi web ottimizzati per diverse tipologie di terminali (mobili e non); in questo contesto ha sviluppato competenze in ambito di project management e di ambienti cloud riapplicate successivamente in ambito Accesso Mobile (nel quale lavora dalla fine del 2017), insieme a nuove skill in ambito Management di reti mobili, Machine Learning applicato al SON, accelerazione hardware, Edge Computing. Fin dal 2007 partecipa ad attività di standardizzazione presso diversi enti, tra cui OMA DM (chair), ETSI MEC e O-RAN ■