notiziario tecnico

Trasformazione di rete

Full IP Network
Core & Access Evolution
IT Transformation
Virtualization

1/2016

TIM

Il **Notiziario Tecnico** è un **social webzine,** in cui è possibile discutere in realtime con gli autori i vari temi trattati negli articoli, restando in contatto su:

www.telecomitalia.com/notiziariotecnico

Proprietario ed editore
Gruppo Telecom Italia

Direttore responsabile
Michela Billotti

Comitato di direzione
Alessandro Bastoni
Francesco Cardamone
Sandro Dionisi
Daniele Franceschini
Gabriele Elia
Giuseppe Roberto Opilio
Gabriela Styf Sjoman

Art Director
Marco Nebiolo

Photo
123RF Archivio Fotografico
Archivio Fotografico TIM

Segreteria di redazione
Roberta Bonavita

Contatti
Via Reiss Romoli, 274
10148 Torino
Tel. 011 2285549
Fax 011 2285685
notiziariotecnico.redazione@telecomitalia.it

A questo numero hanno collaborato

Alessandro Amoroso
Mauro Antonelli
Fabrizio Bellezza
Nicola Bernasconi
Cagatay Buyukkoc
Andrea Calvi
Gianni Canal
Marco Caretti
Raffaella Casoria
Giuseppe Catalano
Carlo Cavazzoni
Paola Cinato
Axel Clauberg
Ivano Salvatore Collotta
Maria Adelaide Compagnucci
Maria Cristiana
Simone De Rose
Monica Di Pasquale
Umberto Eula
Paolo Fasano
Giuseppe Ferraris
Umberto Ferrero
Andrea Ferroni
Daniele Franceschini
Michele Gamberini
Salvatore Girauda
Guardini Ivano
Ivano Guardini
Luna Lazzarini
Lubiano Lucarini
Francesco Ludovico
Mario Madella
Antonio Manzalini
Pier Paolo Marzo
Maurizio Mastromattei
Bruno Melis
Roberto Mercinelli
Chiara Moriondo
Tommaso Muciaccia
Alessandra Pau
Alessandra Pavese
Larry Peterson
Luciano Petullà
Arianna Pezzulli
Giovanni Picciano
Sandro Pileri
Roberto Procopio
Marina Proietti
Giovanni Quaranta
Daniele Roffinella
Iacopo Romano
Angelo Santoro
Maria Cristina Strano
Mario Ullio
Francesco Vadalà
Gianluca Valecchi
Arturo Valenti
Maurizio Valvo
Vinicio Vercellone

Editoriale

Gli operatori di telecomunicazioni sono oggi di fronte ad un importante cambio di scenario di servizio, tecnologico e di business, cambiamento che ci pone di fronte ad importanti sfide. Da un lato quello di diventare sempre più efficienti nel business dei servizi tradizionali, voce e connettività, dall'altro quello di innovare, per consentire ai nostri clienti di beneficiare dell'evoluzione tecnologica ed infine quello di attuare una trasformazione profonda dei processi per essere più efficienti e veloci nella creazione e valorizzazione dei servizi digitali. In quest'ottica l'efficienza dei processi, legati ai servizi tradizionali, l'innovazione e una nuova trasformazione di rete non sono solo la naturale conseguenza di un'esigenza di mercato, ma le linee guida su cui si impernia il nostro percorso evolutivo per confermare a TIM il ruolo di leadership.

Impostando la nostra rotta su queste direttrici, potremo essere sempre più competitivi e portare la larga banda a casa di tutti gli Italiani, grazie anche all'impiego di tecnologiche all'avanguardia. Abbiamo, infatti, l'obiettivo, entro il 2018, di raggiungere in NGAN l'84% della popolazione (il 20% con soluzioni FTTH) e in 4G il 98%, investendo 4.8 Bilioni di euro, di cui 3.6 su fibra e 1.2 su LTE. Questa innovazione si fonda su un concreto piano di ammodernamento della rete esistente, come prerequisito all'introduzione delle nuove tecnologie e ad un relativo incremento dell'efficienza della rete; ne sono un esempio i piani di energy saving e quelli di decommissioning della rete di fonia fissa di prima generazione.

Ma se ci limitassimo a rinnovare facendo un semplice efficientamento, non potremmo attuare l'inevitabile trasformazione che il mercato ci chiede e diventare una Digital Telco, ovvero un'azienda che offre servizi per la Digital Life, mediante processi digitali gestiti anche dai clienti, attraverso lo sviluppo di piattaforme di rete in un ecosistema aperto. Per questo serve una nuova rete, con un'architettura All IP Cloud Based e con accessi UBB, quest'ultimo elemento distintivo per la qualità; una rete, quindi, capace di essere veloce, agile, flessibile, aperta, sicura e in grado di inseguire i tempi di sviluppo estremamente brevi dei servizi digitali.

Con quest'obiettivo stiamo investendo in nuovi scenari, per cambiare i nostri processi di business, che poggiano su altrettanto nuovi processi operativi e tecnologici; stiamo trasformando, cioè, la nostra rete, perché diventi non solo una piattaforma, ma un vero e proprio Servizio, di quelli con "la S" maiuscola, che possa essere utilizzato anche da terze parti, con cui, come TIM, sigliamo accordi di partnership.

In questo scenario si inserisce, ad esempio, la nostra offerta TIM Vision, che ci vede, insieme a Mediaset, Sky e Netflix offrire servizi di intrattenimento multimediale ad alta definizione, utilizzando piattaforme integrate per la fruizione di video su TV, smartphone e tablet.

La nostra nuova rete vede quindi l'ultrabroadband, la virtualizzazione, il Cloud, la IT Transformation e i Big Data come dei nuovi abilitatori che, implementati secondo la metodologia Agile, diventano fattori critici di successo nel mondo dei servizi digitali, perchè siano sempre più multiaccesso, multiservizio, multidevice e finalizzati a soddisfare a pieno la Quality of Experience dei nostri Clienti.

Network as a Service è pertanto il leitmotiv comune ai 10 articoli di cui si compone questo numero del Notiziario Tecnico, e attraverso i quali faremo un viaggio negli abilitatori chiave di questa trasformazione; nel contempo vedremo anche le testimonianze di altri Operatori, quali ATT e DT, che come noi sono impegnati in questa sfida e ascolteremo l'opinione di esperti della softwarizzazione delle funzioni di rete, alcuni dei quali sono docenti all'Università di Princeton ■

Giuseppe Roberto Opilio

Contents

Giuseppe Catalano, Daniele Franceschini, Alessandra Pavese, Daniele Roffinella

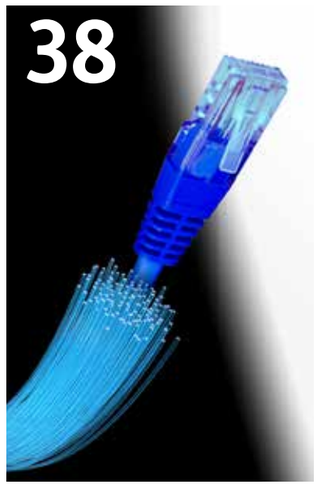
Il paradigma Full IP a supporto della ”Digital Telco Network

Da cosa è determinata la necessaria trasformazione di diventare Digital Telco? In questo articolo si tracciano le caratteristiche di questo paradigma oltre che dettagliare i fattori, non solo tecnologici, che si articolano in questo scenario competitivo e con nuovi modelli di business per gli Operatori.

Cagatay Buyukkoc, Antonio Manzalini, Larry Peterson

From CORD to the 5G era

Techno-economic drivers are radically changing Telecommunications and ICT scenarios. Network Operators will have to face unprecedented challenges posed, for example, by the impressive increase of video traffic, the wider and wider diffusion of smart phones, tablets, intelligent things and the emerging new promising service scenarios (e.g., Tactile Internet, Industry 4.0, Cloud Robotics).



Andrea Calvi, Giuseppe Ferraris

Integrazione fra la rete IP e la rete di trasporto ottica

L’integrazione della rete IP con la rete ottica non è un tema nuovo, se ne parla dalla fine degli anni ’90. Oggi però lo sviluppo dei concetti di Transport Software Defined Network offre nuovi strumenti che consentono di studiare questo tipo di integrazione da una prospettiva diversa.

Michele Gamberini, Mario Madella, Roberto Procopio

Evoluzione della Core Network di TIM

La Core Network di TIM sta evolvendo verso una rete multiaccesso, multiservizio e multidevice grazie alla quale il cliente potrà accedere a nuovi servizi godendo di una rinnovata user experience. Tale evoluzione sarà fortemente influenzata dalle tecnologie di NFV (Network Function Virtualization) che abiliteranno nuovi scenari di convergenza e che predisporranno la rete per l’arrivo del 5G.

Paolo Fasano, Mario Ullio, Vinicio Vercellone

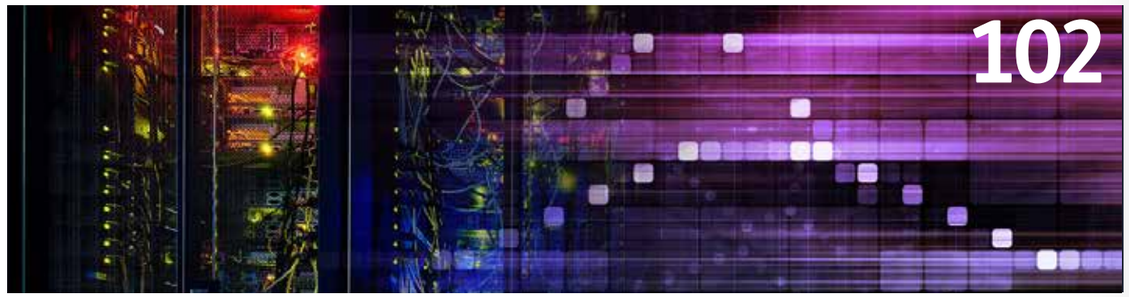
Le tecnologie per la rete del futuro

Mentre gli operatori di TLC sono chiamati a ripensare il proprio posizionamento nella catena del valore dei servizi offerti ai clienti, il panorama delle tecnologie di rete sta modificandosi rapidamente. Novità tecnologiche e rifocalizzazione degli investimenti in tecnologia stanno ponendo le basi per una nuova generazione di reti destinata a diventare matura con il prossimo avvento della quinta generazione dei sistemi cellulari.

Gianni Canal, Francesco Ludovico, Francesco Vadalà

Rete come piattaforma

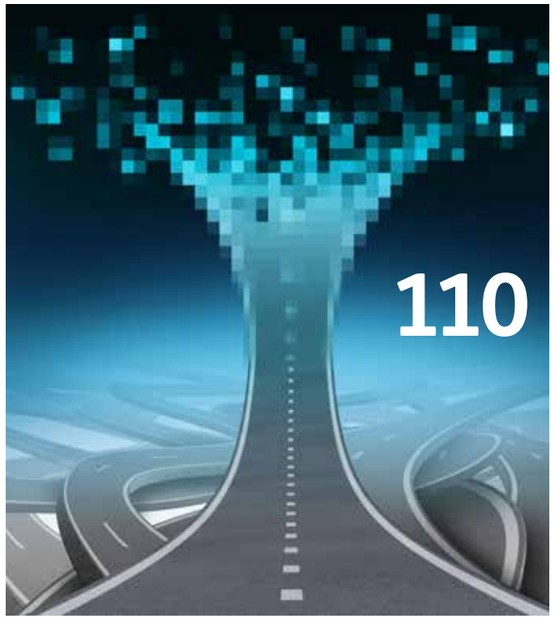
La competizione tra gli operatori è sempre più agguerrita e il consolidamento del fenomeno Over-The-Top “OTT” [nota 1] ha causato una significativa riduzione dei profitti: gli operatori devono essere “smart” e trovare nuovi flussi di ricavi, rivedendo i loro modelli di business in modo da essere non solo fornitori di pura connettività (connectivity provider).



Axel Clauberg

The software defined operator

Any prediction remains difficult, especially if it is about the future. But, predicting that Internet traffic will continue to grow exponentially seems to be a safe bet. We at Deutsche Telekom are committed to deliver the Best Network to our customers. In order to meet customer and investor expectations with the traffic demands of the future, network operators need to act - the old way of building networks and producing services will hardly scale for the future.



Tommaso Muciaccia, Sandro Pileri

Riconfigurabilità nelle reti di accesso e metro-access

Il concetto di “riconfigurabilità” si coniuga molto bene con un altro trend rilevante nell’evoluzione delle reti di accesso, ovvero l’integrazione tra i sistemi propriamente di accesso e quelli metro in un’unica architettura metro-access, che soddisfi quindi i requisiti di trasparenza e flessibilità richiesti dalle peculiarità emergenti delle nuove tipologie di traffico.

Fabrizio Bellezza, Lubiano Lucarini, Simone de Rose

Sparkle IT Transformation

Telecom Italia Sparkle agisce in un mercato internazionale caratterizzato da un’agguerrita concorrenza, in cui competono sia Communication Service Provider che operatori Over The Top, alcuni dei quali campioni del Digital Business.

In tale contesto diventa fondamentale ripensare l’azienda in ottica digitale; l’IT è quindi chiamato a una profonda trasformazione di ruolo: da automa dei processi a elemento di “intelligenza artificiale” dell’azienda, nel nome dell’IT “Factory” utilizzato come leva fondamentale per abilitare la «Digital Transformation» del Business.

Marco Caretti, Paola Cinato, Umberto Ferrero, Roberto Mercinelli

Evoluzione dell’accesso

L’articolo propone una sintesi delle architetture e delle tecnologie per le redi di accesso fissa e mobile. Partendo da una panoramica delle soluzioni attualmente in campo per l’accesso broadband, si descrivono le architetture e le tecnologie evolutive per entrambi i tipi di rete di accesso e se ne evidenzia la naturale convergenza in un’ottica di sinergia per le reti di nuova concezione 5G.

IL PARADIGMA FULL IP A SUPPORTO DELLA DIGITAL TELCO NETWORK

Giuseppe Catalano, Daniele Franceschini, Alessandra Pavese, Daniele Roffinella

Da cosa è determinata la necessaria trasformazione di diventare Digital Telco? In questo articolo si tracciano le caratteristiche di questo paradigma oltre che dettagliare i fattori, non solo tecnologici, che si articolano in questo scenario competitivo e con nuovi modelli di business per gli Operatori.

Introduzione

È noto che oggi ci troviamo in un'epoca caratterizzata da grandi cambiamenti in atto a livello sociale, culturale, ambientale, demografico, tecnologico, e che si estendono a livello globale.
Ai fini della nostra analisi svolgono sicuramente un ruolo importante il Cambiamento Demografico, la Globalizzazione e la Global Connectivity, oltre che la sostenibilità e le GRIN Technologies (Genetic & persona-

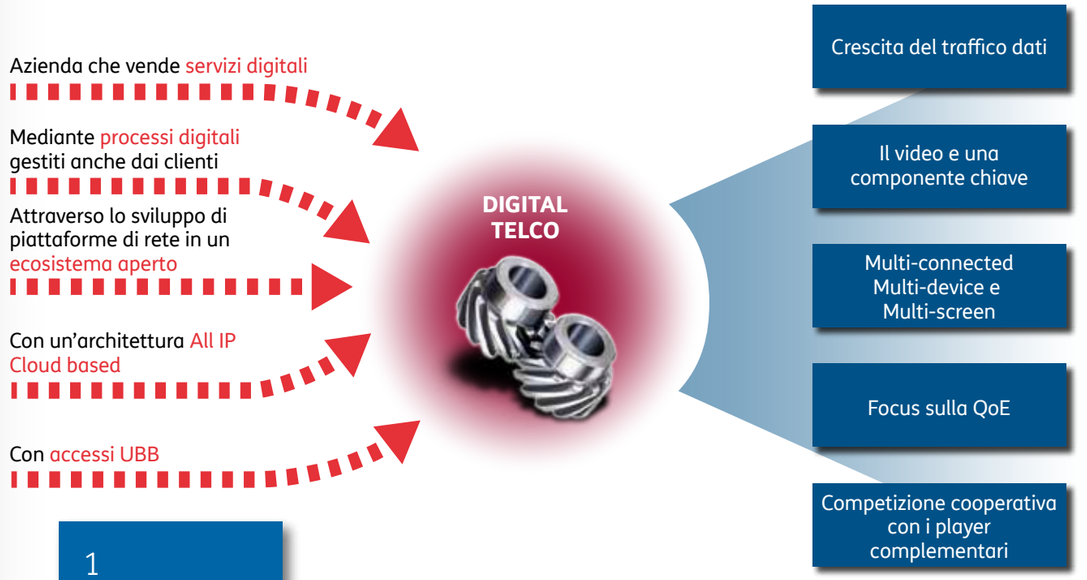
lized medicine, Robots in ambiti di sicurezza e assistenza, Internet sensoriale e intuitiva, Nano material). Vediamo come.
Il cambiamento demografico a livello mondiale pone in relazione alcuni temi tradizionalmente "sociali" : aumento della popolazione/crescita economica, gioventù/innovazione, invecchiamento/nuovi modelli comportamentali ed organizzativi, globalizzazione/fenomeni di localismo.
La Global Connectivity avrà quindi come conseguenza principale l'aumento della diffusione delle informazioni e questo impatterà sulle organizzazioni, sulle relazioni e sulle persone. Crescerà la "trasparenza" delle organizzazioni e dovranno essere gestite modalità sempre più diffuse di "online crowds", che porteranno alla gestione di nuovi modi di produrre innovazione (Open Innovation). Tutto questo, insieme al "sempre connesso", porterà alla destrutturazione dei concetti di privacy e di "confidential information" e sorgeranno "nuovi rischi" legati all'essere on line. In quest'ottica, la Cyber Security diverrà un elemento fondamentale per la gestione della vita digitale dell'individuo e nascerà il bisogno di ricavare un tempo per essere OFF-line.
In questo contesto, se ci spostiamo su un piano più tecnico, possiamo prevedere che le GRIN Technologies porteranno ad una maggiore crescita della virtualizzazione, dell'automazione e della realtà aumentata; il che comporterà un cambiamento radicale dei meccanismi lavorativi su scala globale, caratterizzati dalla disponibilità 24/7, dallo sviluppo delle smart machine e dalla necessità di acquisire nuove competenze da parte dei lavoratori.
Si può comprendere pertanto quali accelerazioni siano previste nei prossimi 10 anni e come, nell'azione correlata dei grandi assi di cambiamento, tutto il mondo delle telecomunicazioni abbia un ruolo centrale, non più solo per ciò che concerne la comunicazione tra persone, aziende ed "oggetti", ma per supportare ed affiancare i nuovi modelli sociali ed organizzativi, che si basano sulla condivisione ed elaborazione di informazioni in tempo reale.

Il paradigma Digital Telco

Oggi siamo di fronte ad un'importante trasformazione di business, che impone all'Operatore un "cambio di pelle" mediante una sfidante trasformazione di processi ed *operation*, per indirizzare le sfide e le esigenze del mercato dei servizi digitali di domani, e nel contempo continuare ad essere competitivo ed efficiente nel mercato della connettività, su cui è imperniato il business attuale.
L'Operatore deve essere capace di attuare una trasformazione passando da un ruolo di fornitore di linee di comunicazione ad abilitatore di esperienze digitali, fornite attraverso piattaforme proprie o altrui. Ciò che sembrava essere una minaccia, la cannibalizzazione a favore degli OTT, oggi è riconosciuta come occasione di opportunità interessanti, in particolare per quanto concerne quegli OTT posizionati su ambiti di business complementari a quelli dell'Operatore (pensiamo a Netflix, Amazon, Sky,...). La crescita del traffico, la necessità di connessione ovunque e sempre e, soprattutto, il bisogno di sicurezza accresceranno il ruolo per l'Operatore di rappresentare un "ponte" tra servizi digitali e cliente, in modo che quest'ultimo possa essere tutelato attraverso un accesso che garantisca protezione di identità e privacy.
E quindi cosa è un Digital Telco?
È un'azienda che offre servizi digitali, mediante processi digitali gestiti anche dai clienti, attraverso lo sviluppo di *piattaforme di rete* in un ecosistema aperto, con un'architettura All IP Cloud Based e con Accessi UBB, quest'ultimo elemento distintivo per la qualità.

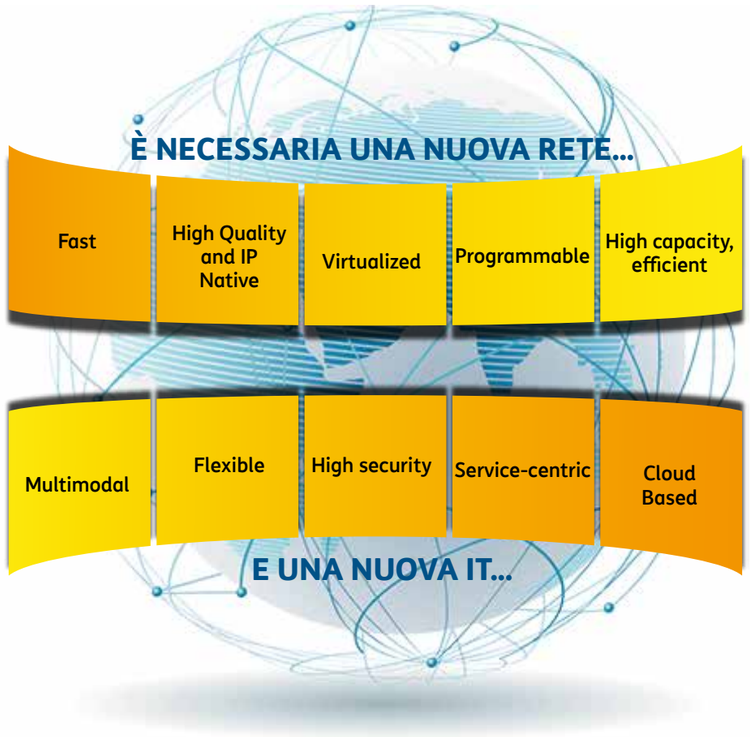
Le sfide per l'Operatore

Sicuramente l'Operatore deve riuscire a semplificare i propri processi e la propria rete, rendendola sempre di più IP e programmabile su base servizio, contesto ed esigenze di gestione e di traffico. Nel fare ciò si deve inoltre mantenere efficienza, evitando di portarsi dietro sedimentazioni di tecnologie e di servizi



1
Il paradigma Digital Telco

legacy e riuscendo a realizzare un processo di creazione del nuovo, che consenta un decommissioning continuo delle vecchie tecnologie. In questo contesto, la virtualizzazione ed il *Software Defined Networking* consentiranno di implementare una rete flessibile, creando un nuovo paradigma di Cloud Network agile, scalabile, affidabile e sicura, capace di inseguire sempre nuovi servizi non noti a priori e che saranno sviluppati mediante ecosistemi aperti con tempi di creation e delivery propri del mondo digitale, dove il "time to market" è basilare e strategico. L'esito finale è un nuovo paradigma di rete ed IT, che è alla base del Digital Telco con benefici tangibili soprattutto al cliente, al cittadino, al lavoratore, ovvero alle persone tutte, che avranno una specifica proiezione digitale dei diversi contesti della vita (**figura 2**).



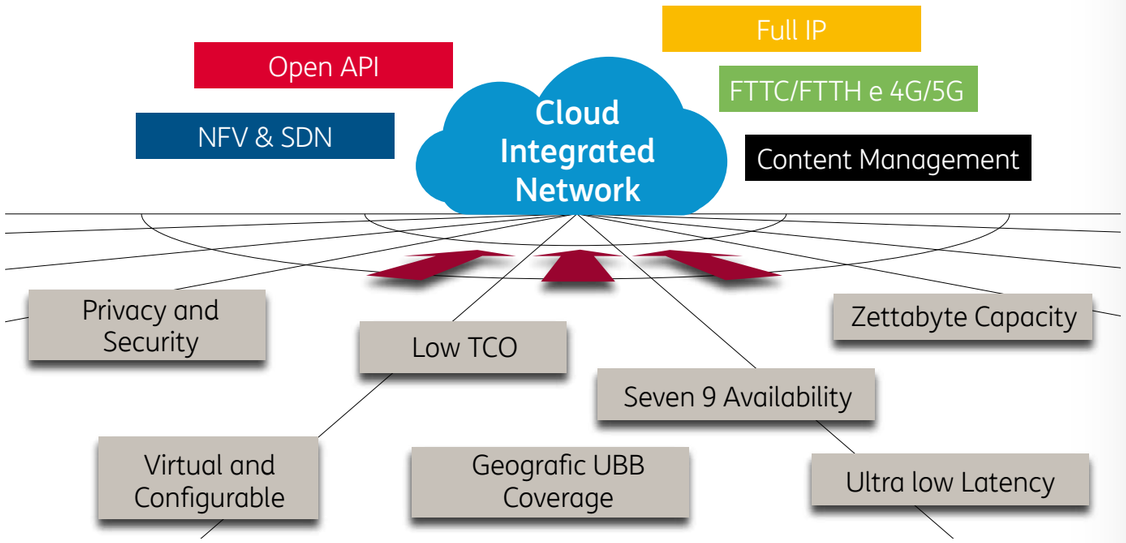
2
Paradigma della nuova Rete ed IT

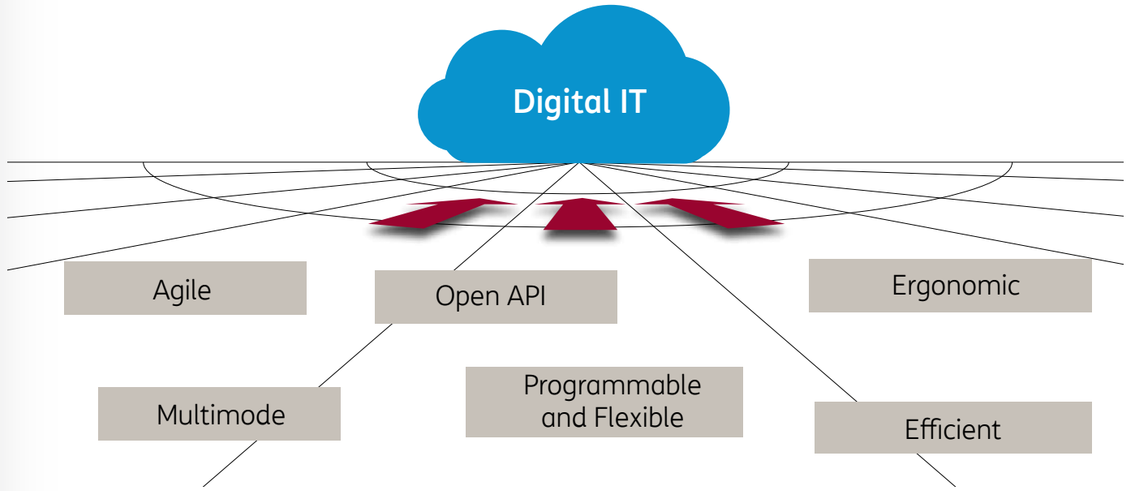
Ma ciò non basta e, per abilitare i nuovi stili di vita digitale, l'Operatore dovrà mettere le sue potenzialità a disposizione di terze parti, mantenendo il controllo di rete, in una logica di collaborazione competitiva, portando un enorme valore all'intero ecosistema. Mediante il paradigma della "Network as a Service" l'Operatore metterà a disposizione, in particolare degli sviluppatori e dei clienti, le capacità distintive della propria rete (ad es. identificazione sicura, meccanismi di pagamento, qualità ovunque e sempre, sicurezza ...) e mediante piattaforme di *Big Data* offrirà dati per la creazione di nuovi servizi utili alle persone.

L'insieme di tutti questi abilitatori tecnologici definisce una rete integrata nel Cloud (**figura 3**), che, a partire dagli accessi UBB di ultima generazione e dalle capability di gestione del traffico delle reti Full IP, è in grado di offrire servizi con caratteristiche profondamente diverse, tempi di dispiegamento e decommissioning brevi, eventualmente integrati con terze parti. Ma anche l'IT deve evolvere verso un nuovo paradigma di efficienza e programmabilità, anche da parte del cliente, che sarà primo attore della riconfigurazione del suo profilo in un ecosistema aperto ed integrato con l'esterno grazie al paradigma Cloud (**figura 4**).

Una funzionalità centrale in questo senso è il *Network Slicing*, che consente di dispiegare servizi e sistemi non attraverso sviluppi hardware e software dedicati, ma come reti virtuali parallele (slice) realizzate come integrazione end to end di VNF su un'unica infrastruttura hardware condivisa, la cui coesistenza, attivazione, gestione e rilascio è garantita dal sistema di orchestrazione. È così possibile dispiegare le catene di funzionalità necessarie a supportare servizi molto diversi dall'IoT, alle Smart Grid, ai servizi Veichular o alla Smart Life, il tutto integrato con i sistemi di terze parti attraverso API aperte e con l'agilità richiesta dallo scenario di servizio. È importante evidenziare come il 5G sia implicitamente inteso come un sistema basato sulla tecnologia della virtualizzazione sia in rete core sia in rete di accesso, dove il *Network Slicing* gioca un ruolo fondamentale per integrare nella medesima infrastruttura funzionalità e tecnologie radio diverse, dai nuovi accessi ad alta frequenza, alle soluzioni per l'IoT, alle evoluzioni di LTE. La visione globale su cui si appoggia il 5G, che prevede di integrare l'evoluzione del Mobile BB, l'Internet delle cose ed i servizi a bassissima latenza e mission critical, conferma la vista dell'evoluzione dei sistemi Telco come sistemi multiservizio su una gamma di servizi estremamente estesa.

3
Modello di rete integrata nel Cloud





4
Modello di sviluppo del Digital IT

Queste discontinuità tecnologiche, sia a livello di rete sia di IT, si integrano in un'unica rete, che sarà operata in modo virtuale e cloud su infrastrutture *Data Center Telco Grade*, ed integrata in modo flessibile con l'esterno mediante il paradigma delle API. Inoltre, la presenza su questa infrastruttura di sistemi Big Data e Data Analitycs consentirà di entrare appieno nel modo dei servizi digitali, mediante un modello di design, sviluppo, delivery e gestione di tipo *DevOps* con tempi di lancio molto veloci.

Il programma di Trasformazione di TIM

L'evoluzione di TIM verso il paradigma Digital Telco, caratterizzato dal modello di business "Smart Connectivity & Service and Platform Provider", implica il perseguimento di una strategia di copertura pervasiva dell'UBB fisso e mobile oltre che la capacità di trasformare e modernizzare le infrastrutture di Rete rendendole efficienti e efficaci.

L'accesso UBB, fisso e mobile, pervasivo e di elevata qualità sono per TIM asset distintivi, su cui impernia-re la strategia di Piano 2016-2018, sia per consolidare la posizione attuale sulla connettività, sia per rilanciare nel medio-lungo periodo un posizionamento forte come fornitore avanzato di piattaforme di rete, capaci di abilitare servizi digitali dell'Operatore Telco e di terze parti, anche in mercati adiacenti. **Questi fattori costituiscono la prima direttrice di cambiamento** per un Operatore, come TIM, che vuol diventare Digital Telco[1].

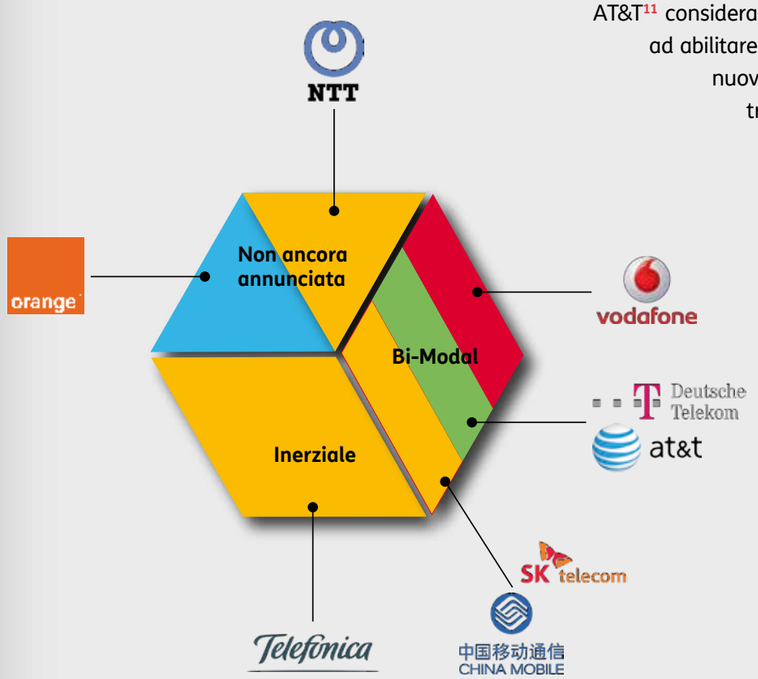
La seconda direttrice è rappresentata dall'efficienza continua nel business attuale. Il Piano 2016-2018 conferma e rafforza anche il programma di modernizzazione delle architetture e dei modelli operativi, che renderanno la rete, oltre che più capace in termini di copertura UBB ed intensità di traffico gestibile, più moderna ed efficiente nella gestione operativa, con risparmi rilevanti lato energy, maintenance e delivery/

IL SOFTWARE È LA CHIAVE

La crescita esponenziale delle capacità IT di processing e memorizzazione, accompagnate dal contemporaneo abbattimento dei costi, la progressiva diffusione dell'ultra-broadband fisso e mobile, i terminali sempre più potenti, stanno creando le condizioni per una ridefinizione "disruptive" delle piattaforme di rete e servizi. Questo trasformazione è già da oggi al centro di una forte attenzione accademica ed industriale, evidente sia nei forum e negli enti che trattano tecnologie come SDN (*Software Defined Networks*), Cloud, Edge e Fog Computing, NFV (*Network Function Virtualization*), etc., sia nei movimenti di mercato. Gli Operatori di Telecomunicazioni dovranno affrontare dei rischi, ma avranno anche l'opportunità di trasformare il loro business, non solo ottimizzando il loro processi di operations (con conseguenti riduzioni costi, rapidità di de-commisioning, riduzione time to market, ecc), ma anche arricchendo il loro portafoglio servizi. In estrema sintesi gli Operatori si stanno orientando secondo due principali strategie di trasformazione digitale del loro business: "inerziale" e "bi-modal".

La strategia inerziale consiste in una graduale e progressiva introduzione dei sistemi SDN-NFV nelle attuali infrastrutture legacy. Telefonica sembra muoversi in questa direzione. La strategia bi-modal, disruptive, è orientata allo sviluppo e messa in campo di una vera e propria infrastruttura parallela, basata su un radicale delayering architetturale ed una ridefinizione dei sistemi di OSS/BSS capace di gestire il dinamismo e la complessità portata dai paradigmi SDN ed NFV.
La migrazione dall'infrastruttura legacy a quella parallela avviene su base servizio, fino al completo "spegnimento" della prima. Questa strategia trova limpida espressione nelle iniziative di DT (infrastruttura Terastream), AT&T (ingegnerizzazione delle Centrali secondo il modello CORD) e Korea Telecom.
L'aspetto forse più critico in questa trasformazione digitale del business è il radicale cambio di "cultura aziendale" richiesto all'Operatore, che implica sviluppo di nuove competenze (a cavallo fra IT e rete). Infatti:
è diffusa la convinzione dell'importanza strategica per l'Operatore di sviluppare delle competenze sul "software", elemento chiave di questa trasformazione, spesso chiamata "Softwarizzazione delle Telecomunicazioni". La rapida diffusione di soluzioni software Open Source per SDN-NFV sta creando opportunità (ad esempio in termini di riduzione costi), ma anche il rischio di una mancanza di allineamento e convergenza verso modelli di riferimento ed interfacce standards.
Questa trasformazione digitale del business dell'Operatore troverà una prima concreta espressione nell'infrastruttura 5G, che sarà profondamente diversa dalle attuali reti 4G. Non si tratterà, infatti, solo di un aumento di banda, di migliori prestazioni e di una maggiore affidabilità: il 5G assumerà dunque le caratteristiche di un'infrastruttura altamente distribuita, capace da una parte di portare a convergenza, grazie a SDN e NFV, l'accesso fisso e mobile e dall'altro di integrare capacità di processing, storage e networking nei PoP (che diventeranno dei mini-DC). In particolare, con il disaccoppiamento dei sistemi hardware dal software e con la virtualizzazione di tutte le funzionalità di rete (non solo le cosiddette middle-box, ma anche i livelli 2 e 3 di rete), sarà abilitato il modello X-as-a-Service, dove il servizio diventa un'unità di orchestrazione (multi-livello e multi-dominio). Gli Operatori dovranno essere preparati a cogliere le opportunità offerte dalla flessibilità e programmabilità (attraverso API) del 5G: queste caratteristiche permetteranno infatti di abilitare nuovi scenari di servizi. Ad esempio AT&T[11] considera il 5G un'infrastruttura integrata volta ad abilitare una vasta gamma di nuovi servizi: da nuovi paradigmi di comunicazione al controllo di sistemi di robotica avanzata per applicazioni sia industriali/agricole sia per contesti puramente sociali.
Una trasformazione delle Telecomunicazione che consentirà agli attuali Operatori possibili risparmi e maggiore efficienza, ma determinerà anche l'abbassamento della soglia di ingresso per nuovi Operatori e Fornitori di Servizi: infatti SDN e NFV stanno già attuando lo spostamento della competizione verso modelli di tipo Opex. In questo senso il regolatorio avrà un'importanza chiave nella definizione dei nuovi equilibri dei futuri ecosistemi ■

A
Strategie adottate da alcuni Operatori nella trasformazione digital del loro business.



- Sviluppo collaborativo e sperimentazioni delle tecnologie chiave in test-bed/field-trials
- Forte impegno nella creazione di ecosistemi con Vendor e Start-up
- Sviluppo in-source od open-source delle tecnologie chiave (es. RT-OSS, OS)
- Sviluppo interno di soluzioni software (es. sistemi di orchestrazione)

Antonio Manzalini
antonio.manzalini@telecomitalia.it

assurance. In tale ambito s'inquadra l'ampio tema del decommissioning PSTN[2], che va inteso come parte di percorso di razionalizzazione ed evoluzione delle Reti, con l'obiettivo di evolvere integralmente dal paradigma TDM verso un modello di rete Full-IP, superando i limiti che caratterizzano alcune piattaforme ormai obsolete e nel contempo migliorare l'efficienza grazie a minori costi operativi e una maggiore flessibilità gestionale. Nel mondo del mobile proseguirà la condivisione delle infrastrutture dei siti mobili associata a una politica di valorizzazione dei siti stessi. In quest'ottica, TIM, valutato che l'infrastruttura "sito" rappresenta un elemento chiave nell'ambito della competizione del mobile, ha creato una Tower company allo scopo di presidiare in modo adeguato le opportunità di mercato legate a questo aspetto.

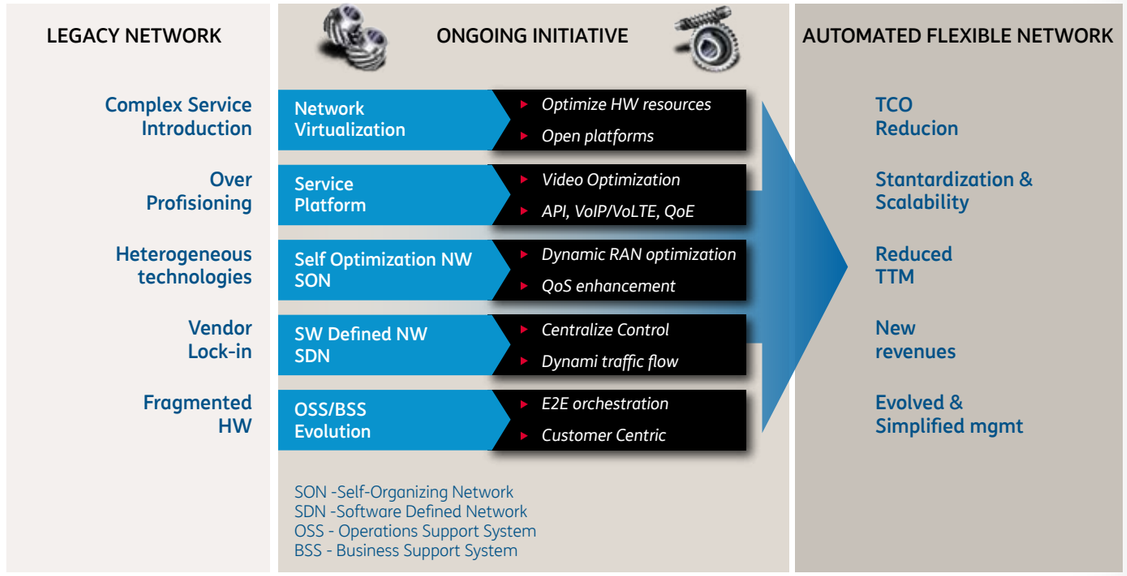
La terza direttrice su cui ci focalizziamo è la trasformazione digitale. Le tecnologie riportate in **figura 5** sono gli elementi essenziali alla base del nuovo concetto di *Cloud Network* di TIM che consentirà di ridurre il *Total Cost of Ownership* e, soprattutto, di aumentare la scalabilità e la velocità nella messa a terra di nuovi servizi digitali.

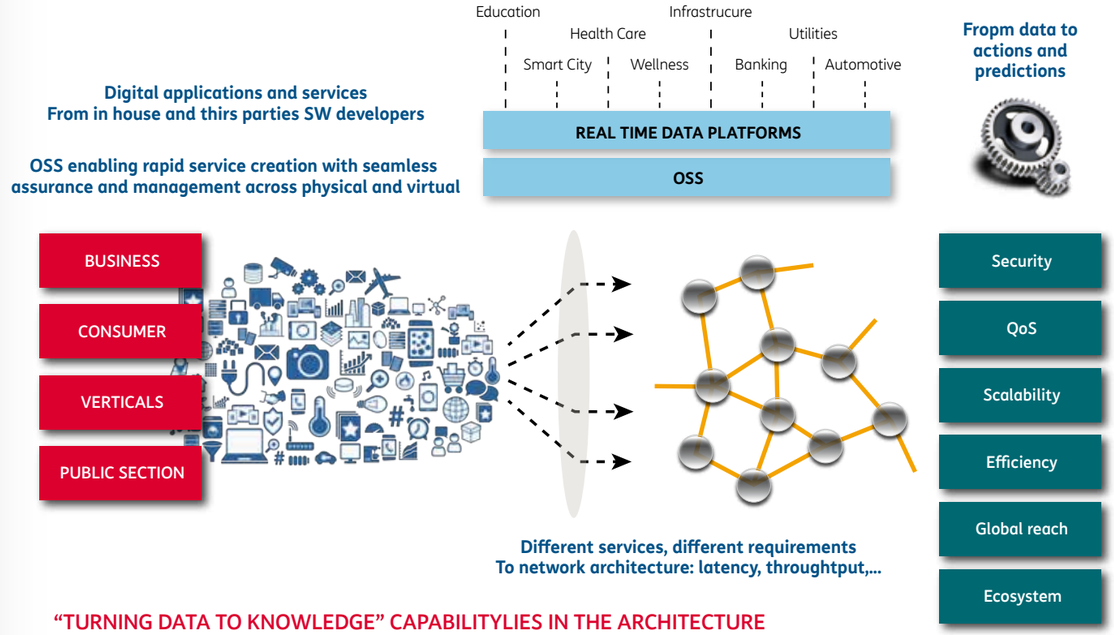
In particolare TIM ha già iniziato il percorso di introduzione della virtualizzazione e del Software Defined Networking. Tali abilitatori tecnologici, grazie ad un sofisticato meccanismo di "service orchestration", unitamente ad una trasformazione degli elementi di gestione di rete e del cliente, porteranno a nuovi processi di creation, delivery e assurance del servizio gestibili in modo automatico ed in tempo reale. Su tale infrastruttura si appoggeranno piattaforme di servizio capaci di mettere a disposizione mediante API[3] le capability di rete, per lo sviluppo di nuovi servizi dell'operatore Telco e di terze parti.

Infine, i paradigmi della Network Automation e del Big Data consentiranno di tradurre i dati processati in conoscenza diffusa nella rete,

5
Tecnologie chiave alla base della Cloud Network

NETWORK EVOLUTION TOWARDS VIRTUALIZATION & AUTOMATION





6
Modello di Rete come Piattaforma per la creazione dei servizi Digitali

conoscenza, che consentirà di realizzare la rete come piattaforma capace di divenire la fucina per la creazione di servizi digitali sempre nuovi[4], in modo veloce, flessibile e scalabile (vedi **figura 6**).

I nuovi paradigmi di rete descritti si fondano su un'infrastruttura che dall'accesso, alla rete metro e al backbone[5] sfrutta al massimo il paradigma Full IP. Nel seguito ci focalizzeremo sull'architettura Full IP di TIM.

La rete Full IP

È quindi in corso un'evoluzione verso uno scenario "All-IP", in cui la totalità dei servizi e delle applicazioni utilizzate dagli End Users e dalle Aziende, attraverso terminali fissi e mobili, saranno basate su IP (Internet Protocol [1, 2]), e la totalità del traffico nelle reti di telecomunicazione sarà costituito da pacchetti IP; ciò ha conseguenze importanti per le scelte architetturali e tecnologiche degli operatori Telco. Infatti le reti attuali sono il frutto di un pluridecennale processo di "stratificazione" ed "affiancamento" di architetture e tecnologie alquanto eterogenee, nate per trattare servizi e comunicazioni che originariamente non erano basate su IP, ma su traffico "a circuito". Inoltre, alle reti che offrivano servizi solo verso terminazioni "fisse", si sono successivamente affiancate reti concepite per connettere terminali mobili; nel tempo sono progressivamente aumentate le "parti in comune" fra reti fisse e reti mobili (ad es. molte infrastrutture di trasmissione, e la "rete dorsale - backbone" che trasporta il traffico fisso e mobile a livello interregionale). Anche se ancora oggi coesistono soluzioni specializzate per "il fisso" e per "il mobile", l'evoluzione dei servizisi sta velocemente spostando verso il concetto dell'*access independent*, ossia i servizi sempre più sono richiesti e fruiti da qualunque tipo di accesso e su qua-

lunque tipo di *device*. Le tipologie di servizio diventano sempre più variegate, sempre più digitali e sempre più risiedono nel Cloud, A riprova di ciò citiamo alcuni esempi:

- emergono i servizi IoT, sempre più spesso gestiti da applicazioni in Cloud, che permettono la comunicazione tra le cose; e ciò impone requisiti diversi alla rete IP;
- gli End Users comunicano e condividono sempre più informazioni di tipologie diverse, dai messaggi, alle foto, ai video, che risiedono nel cCoud e che sono fruibili da device personali diversi;
- la distribuzione dei servizi video a più utenti nello stesso tempo si sta trasformando nella distribuzione per il singolo End User nel momento da lui scelto.

Tutte queste nuove richieste del mercato impongono nuovi requisiti e necessitano di una rete IP che abbia maggiore flessibilità e dinamicità, che di fatto necessita:

- di portare nel Cloud le funzioni di Edge della rete IP, per creare un Edge IP[6] di nuova generazione in grado di fornire al meglio i servizi digitali, ottimizzando le nuove caratteristiche di performance e latenza e garantendone la dinamicità attraverso una infrastruttura IP semplice e flessibile;
- di abilitare un networking IP automatico tra le diverse funzioni che concatenate insieme forniscono il servizio (realizzando il "*Service Chaining*" automatico) attraverso l'adozione di tecnologie IP riconfigurabili;
- di garantire la convergenza dei servizi sulle diverse tipologie di accesso, su un'infrastruttura IP il più possibile scalabile e semplice, dall'accesso al backbone;
- di essere gestibile, grazie ad interfacce Netconfg e Yang, da controllori e orchestratori in grado di modificare e gestire il "life-cycle" dei servizi digitali in modo dinamico.

L'evoluzione verso l'All-IP è caratterizzata da un altro cambiamento fondamentale. In passato i "servizi" di telecomunicazione erano sostanzialmente offerti "nella" rete; il servizio telefonico (inclusa la molteplicità dei cosiddetti "servizi supplementari") era fruito attraverso terminali molto semplici ed uniformi, e realizzato direttamente dagli apparati esistenti nelle centrali; di fatto, il servizio *coincideva* con la rete. Con l'ALL-IP, l'End User utilizza invece, attraverso terminali sempre più sofisticati, applicazioni disponibili su Internet, realizzate da Server che sono "fuori" dalla rete (e che, tipicamente, sono gestiti da soggetti diversi dai Telco). Ciò determina, nella attuale fase di transizione, la coesistenza di soluzioni che realizzano ancora servizi "nella" rete (come la telefonia classica) e di soluzioni che trasportano traffico IP per servizi che sono realizzati "fuori" dalla rete (come le comunicazioni vocali di Applicazioni quali Skype, GoogleVoice...); analogamente, al momento coesistono la messaggistica SMS, realizzata "nella" rete mobile, con la messaggistica che utilizza IP ed è realizzata "fuori" dalla rete (es. WhatsApp e la moltitudine di servizi di messaggistica nelle applicazioni "Social" [4, 5]).

In una rete "Full-IP", un'infrastruttura unica, condivisa tra tutti i flussi di traffico che la attraversano, tratta indistintamente, a livello di protocollo IPqualsiasi tipo di traffico (video, posta elettronica, browsing, ...), come richiesto dalle regole definite per **Net Neutrality/Open Internet** [6]. Gli End Users tipicamente scambiano traffico IP con "Server" accessibili sulla Internet Globale, e le prestazioni fornite dall'IP dipendono essenzialmente dalla topologia della rete (numero di router attraversati) e dal tipo di router. Ne consegue che per alcuni servizi le prestazioni offerte dal puro trasporto IP non sono in grado di garantire i livelli di qualità richiesti dai servizi e dalle applicazioni degli End Users (QoE – Quality of Experience). Infatti, per migliorare la QoE non è sufficiente avere alti "bit-rate" nei diversi segmenti della rete (accesso, raccolta, backbone) ed utilizzare tecniche di traffic management, ma è necessario migliorare:

- il ***Throughput* a livello applicativo** cioè l'**effettiva velocità** di trasferimento delle informazioni quando l'utente finale utilizza un'applicazione o accede ad un contenuto sul WEB[7]. Il throughput dipende principalmente dalla latenzae dalla perdita di pacchetti. Latenza e perdita di pacchetti aumentano con la distanza tra il sito web e l'utente finale, poiché con la distanza aumentano i tempi di trasmissione, il numero di router e i collegamenti attraversati dai pacchetti IP;
- Il "**Download Time**", cioè il **tempo** necessario per accedere e scaricare le "informazioni" da Internet;questa grandezza dipende dall'efficienza della completa suite protocollare utilizzata.

Nello scenario All-IP, quando le prestazioni di una rete non sono più sufficienti per garantire i livelli di QoE richiesti da nuovi Servizi/Applicazioni, un Telco ha due possibilità:

- può costruire una "nuova" rete, in sovrapposizione a quella esistente (rete di *overlay*); questo è quanto è stato fatto in passato, quando, ad esempio per fornire il servizio *video streaming*, sono state costruite nuove infrastrutture di rete per la "IPTV" ;
- può migliorare le prestazioni (aumentare il *throughput* e ridurre il *download time*) della rete esistente, utilizzando soluzioni sempre più basate su SW che operano "al di sopra" del livello IP.

La prima strada è evidentemente costosa e non è praticabile quando le nuove applicazioni proliferano, perché porterebbe ad una molteplicità di reti sovrapposte, complesse e costose da gestire e da far evolvere. Il secondo approccio [7] è coerente con l'obiettivo di evolvere verso un'unica rete Full-IP, in cui gli apparati e le funzioni di rete che realizzano il livello IP (ed i livelli inferiori della suite protocollare, come i sistemi di trasmissione) vengono effettivamente condivisi da tutto il traffico (ottimizzando il TCO), mentre "sopra" questo livello di rete vengono realizzate le "funzioni per il miglioramento della QoE" (*CDN, transparent cache, WEB accelerators*, ...) che:

- *incrementano il throughput* riducendo latenza e perdita di pacchetti, poiché avvicinano i contenuti agli utenti finali attraverso la replicazione di contenuti (Piattaforme di *Caching*: "*Transparent Caching*" e "*Content Delivery Network*") [8];
- *riducono il download time* migliorando lo scambio di informazioni tra sito WEB ed i terminali dell'utente finale (ad es. attraverso tecniche di *Protocol Optimization*, utilizzate nelle piattaforme per *Web Acceleration*) [9][8].

L'efficacia delle funzioni che migliorano la QoE dipende dalla "posizione topologica" nella rete in cui tali funzioni vengono realizzate[9]; anche per questo, l'infrastruttura che realizza le funzioni ed i protocolli dei livelli 1-3 (sino al livello IP) deve essere non solo efficiente, affidabile, robusta, ma anche "flessibile", e configurabile con facilità, rapidamente ed economicamente.

Un aspetto architetturale chiave, per garantire la flessibilità richiesta al livello IP, è la creazione di una infrastruttura IP che consente di scegliere e determinare in modo dinamico, in funzione della tipologia dei servizi e della presenza degli End Users, la collocazione delle "funzioni IP-Edge". Nella trasformazione Full IP, l'Edge diventa una funzione di rete convergente (per ogni tipo di accesso fisso e mobile). Tipicamente fra l'End User e l'IP Edge il flusso di pacchetti IP viaggia "incapsulato" in canali logici; soltanto all' IP Edge il protocollo IP diventa "attivo". Normalmente cache, acceleratori TCP, ottimizzatori WEB sono collocati "a monte" dell'IP Edge (lungo il percorso fra l'IP Edge e server accessibili in Internet). Per garantire il livello di QoE desiderato, garantire le giuste performance di latenza ad ogni servizio, ottimizzare l'utilizzo di banda in rete può risultare vantaggioso e necessario distribuire le funzionalità di IP Edge alla periferia della rete e più vicino al cliente[10].

Un aiuto importante per ottenere, nella rete Full-IP, la necessaria flessibilità nell'allocazione delle funzioni IP Edge e delle funzioni per il miglioramento della QoE, sarà dato dalla progressiva adozione dei paradigmi e delle soluzioni di virtualizzazione di rete.

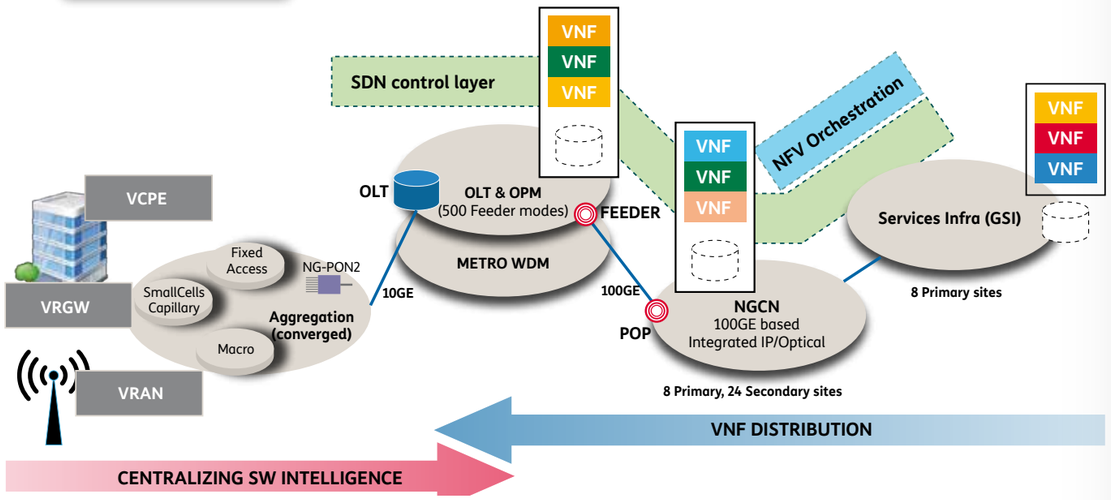
Infatti in una rete in cui queste funzioni fossero virtualizzate e realizzate in SW, esse potrebbero venire istanziate e attivate potenzialmente in qualunque punto della rete; ecco che il sito in rete in cui è presente l'IP Edge, diventa il sito di un Mini Data Center, in cui le funzioni di edge IP sono virtualizzate e portate in Cloud. Questo processo faciliterà anche un processo di convergenza orizzontale, abilitando la distribuzione delle funzioni di Edge dal POP verso i mini Data Center della periferia, dove potranno convergere, nell'ottica di centralizzazione, anche funzioni

virtualizzate dell'accesso, come per esempio la virtualizzazione di CPE per applicazioni business o Home-Gateway residenziali. Lo sviluppo del Software Defined Networking,in cui lo "strato di controllo" è disaccoppiato da quello "di forwarding", congiuntamente allo sviluppo dell'NFV, potrà permettere alla rete Full-IP di diventare completamente programmabile e configurabile, per soddisfare al meglio le esigenze e gli sviluppi dei servizi digitali, rendendo al contempo possibili modelli di business con cui l'Operatore potrà monetizzare la rete e le sue funzioni. La **figura 7** mostra come l'evoluzione della rete IP debba realizzare il principio della flessibilità, creando un'architettura che renda possibile un'allocazione fluida e dinamica delle funzioni di rete; in funzione dei diversi servizi, relative performance e modelli di business, può essere necessario distribuire funzioni di rete dal POP verso le periferie o al contrario centralizzare capacità e intelligenze dai "device" in accesso all'interno della rete.

Conclusioni

Le opportunità di business che accompagnano i cambiamenti in atto nella società e nelle tecnologie richiedono agli Operatori di affrontare una profonda trasformazione a tutti i livelli. La rete ed i sistemi evolvono verso nuovi paradigmi basati sulla virtualizzazione ed il Cloud, l'apertura delle piattaforme a terze parti, l'integrazione di molteplici accessi e tipologie di device, la capacità di lanciare nuovi servizi con tempi di dispiegamento e decommissioning brevi. I nuovi abilitatori sono caratterizzati dal comune denominatore della flessibilità e dell'agilità e consentono di affrontare il cambiamento non più attraverso dispiegamenti verticali overlay, ma come sistemi virtuali dispiegati su una'nfrastruttura hardware condivisa e controllati dinamicamente da sistemi di orchestrazione e gestione evoluti.
Analogamente il processo di trasformazione impone nuovi requisiti in termini di una rete All IP che porta nel cCoud le funzioni di Edge, ottimizzando le caratteristiche di performance e latenza; che abilita un networking IP automatico tra le

7
Visione architetturale dell'evoluzione di rete full IP



funzioni che forniscono il servizio (realizzando il "*Service Chaining*" automatico) attraverso l'adozione di tecnologie IP riconfigurabili; che garantisce la convergenza dei servizi sulle diverse tipologie di accesso, su un'infrastruttura IP il più possibile scalabile e semplice, dall'accesso al backbone.
TIM ha intrapreso questo percorso di evoluzione, che si sviluppa nelle direttrici di una sempre maggiore capillarità dell'accesso UltraBroadBand fisso e mobile, della efficienza continua nel business attuale, ed infine della trasformazione digitale, i cui benefici saranno tangibili soprattutto dalle persone, che avranno una specifica proiezione digitale di tutti i diversi contesti della loro vita ■

Note

1 "*L'evoluzione dell'accesso*" Notiziario Tecnico, n. 1-2016 pagg.142-159
2 "*Il come e il perchè del decommissioning*" Notiziario Tecnico, n. 2-2014 pagg.4-13
3 "*Rete come piattaforma*" Notiziario Tecnico, n. 1-2016 pagg.84-99
4 "*Rete come piattaforma*" Notiziario Tecnico, n. 1-2016 pagg.84-99
5 "*Integrazione fra la rete IP e la rete di trasporto ottica*" Notiziario Tecnico, n. 1-2016 pagg.36-47
6 L'IP EDGE è il primo punto nella rete in cui viene effettuato il trattamento dell'Internet Protocol dei flussi di traffico dell'End Users [12].
7 Ad esempio i business dell'intrattenimento video on-line non sono possibili se il throughput scende sotto certi valori-soglia: uno streaming 4K richiede da 20 a 35 Mbit/s di throughput. Il throughput è una grandezza diversa e sempre inferiore al "bit-rate" della linea di accesso (fissa o mobile). Analizzando i valori di throughput e di bit-rate in diversi paesi, si scopre che nelle aree in cui lo sviluppo della larga banda in accesso è più avanzato (e quindi i bit-rate sono più alti), il rapporto fra throughput e bit-rate è più basso (cioè: miglioramenti nel bit-rate non si traducono in equivalenti miglioramenti del throughput) [10].
8 Va rilevato che l'utilizzo di soluzioni per il miglioramento della QoE permette anche, in molti casi, saving nei costi di rete; ad esempio inserendo in rete delle cache si riduce il traffico in tutti i segmenti di rete che sono "a monte" della cache stessa, e si possono quindi ridurre o ritardare nel tempo interventi di incremento della capacità degli apparati di rete (router, infrastrutture di trasmissione, ...).
9 Il miglioramento di throughput ottenibile con una cache è maggiore quando essa è "vicina" all' EndUser; mentre gli acceleratori TCP sono più efficaci quando sono collocati in posizioni "intermedie" fra il Server e l'End User che lo utilizza [11].
10 In ambito ETSI si sta lavorando alla definizione di standard (MEC – Mobile Edge Computing) in cui i flussi informativi da/verso i terminali mobili possono essere trattati già nel segmento di accesso radio (RAN – Radio Access Network).
11 http://about.att.com/story/unveils_5g_roadmap_including_trials.html.

Bibliografia

[1] http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet

[2] http://www.cisco.com/en/US/docs/security/vpn5000/manager/reference/guide/appA.html

[3] https://ripe68.ripe.net/presentations/181-NETCONF-YANG-tutorial-43.pdf

[4] http://www.etsi.org/deliver/etsi_i_ets/300100_300199/30010201/01_60/ets_30010201e01p.pdf

[5] https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/public-consultation-regulatory-environment-platforms-online-intermediaries-data-and-cloud

[6] http://www.agcom.it/-/avvio-di-un-indagine-conoscitiva-concernente-lo-sviluppo-delle-piattaforme-digitali-e-dei-servizi-di-comunicazione-elettronica-delibera-n-357-15-cons-

[7] https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/new-rules-roaming-charges-and-open-internet

[8] http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Innovazione/MnisitoNotiziario/2014/2-2014/capitolo-3/Verso%20la%20rete%20dei%20contenuti.pdf

[9] http://docplayer.it/3420810-La-content-delivery-network-di-telecom-italia.html

[10] http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Innovazione/NotiziarioTecnico/2013/n2-2013/08.pdf

[11] http://www.telecomitalia.com/tit/it/notiziariotecnico/edizioni-2015/2015-3/capitolo-3.html

[12] http://www.ecs.umass.edu/ece/wolf/pubs/comcom2009.pdf

[13] http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Innovazione/NotiziarioTecnico/2012/n2-2012/capitolo7.pdf

[14] http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/mobile-edge-computing

[15] http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf

Letture consigliate

(1) http://toptrends.nowandnext.com/2009/12/30/2010-trends-a-roadmap-for-the-future/

(2) http://tedxtalks.ted.com/video/TEDxMunich-Richard-Watson-2;search%3Atag%3A%22TEDxMunich%22

(3) http://www.att.com/Common/about_us/pdf/AT&T%20Domain%202.0%20Vision%20White%20Paper.pdf

(4) http://www.verizonenterprise.com/resources/white-papers/wp_network-2020-connecting-everyone-to-everything_en_xg.pdf

(5) http://www.youtube.com/watch?v=XB0CORT1k9w

(6) https://www.google.it/search?hl=it&source=hp&q=future+work+skills+2020+pdf&gbv=2&oq=future+workskill&gs_l=heirloom-hp.3.1.0i13l2j0i13i30l8.5616.9969.0.15351.16.11.0.0.0.0.374.2479.2-6j3.9.0....0...1ac.1.34.heirloom-hp..7.9.2479.WT--04wkEmI

(7) https://www.youtube.com/watch?v=aML-IbTkaLs&list=PLWQ9Pw-fGGymB2925UHKQenE0mGrys9fA&index=1

Giuseppe Catalano *giuseppe.catalano@telecomitalia.it*

Ingegnere delle Telecomunicazioni, è in Telecom Italia dal 1998, dove si è occupato principalmente di tecnologie radiomobili, dapprima nella Direzione Cliente Finale (modelli di QoE) e successivamente in TILAB nelle funzioni di Innovation sia Core Mobile sia Wireless Access. Ha successivamente fatto parte della Direzione Strategy, per approdare, infine, nel gruppo Planning&Operations Evolution. Si è occupato di progetti di ricerca e sviluppo, di attività di supporto al dispiegamento di nuove tecnologie, sia in Italia sia in ambito internazionale, di testing e di standard, con una partecipazione decennale in 3GPP (RAN WG3). Ha svolto una lunga attività di disseminationcome docente presso la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli e nell'ambito di Master coordinati con le Università (Politecnico di Torino, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa) e nel processo di diffusione del Piano Tecnologico. È stato curatore e autore del libro "GPRS, accesso radio, architettura di rete, protocolli e servizi" edito da Telecom Italia. ■

Daniele Franceschini *daniele.franceschini@telecomitalia.it*

ingegnere in telecomunicazioni, in Azienda dal 1997 dove ha partecipato al processo di standardizzazione dell'UMTS, come membro del gruppo ETSI. Nel 2000 passa in Omnitel per occuparsi del dispiegamento della rete 3G. Nel 2001 rientra nel Gruppo Telecom Italia per seguire tematiche relative all'UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network), al Radio Resource Management, ai protocolli radio ed all'evoluzione dell'UMTS. Nel 2006 è nominato responsabile dell'Area Wireless Access Innovation in Telecom Italia Lab; poi è stato responsabile delle attività strategiche su Next Generation Mobile con particolare enfasi al Mobile Bradband verso LTE.
Attualmente è responsabile dell'area Technology Development Plans & Cost Analysis ■

Alessandra Pavese *alessandra.pavese@telecomitalia.it*

ingegnere opto-elettronico, in TIM da Dicembre 2015 come Responsabile dell'Evoluzione di Rete nell'organizzazione di Innovation e Ingegneria. Prima di entrare in TIM, Alessandra ha lavorato in Alcatel e poi Alcatelel-Lucent dove ha ricoperto diversi ruoli; nella divisione di sviluppo di apparati di trasporto ha svolto ruoli in R&D e assunto diverse responsabilità come Product e Network Strategy. In seguito ha acquisito la responsabilità del Business dell'Accesso Fisso in Italia e nelle regione del mediterraneo, sviluppando insieme a TIM il progetto FTTCab. In seguito è stata nominata Chief Technology Office di Alcatel-Lucent prima per Telecom Italia e poi per l'Italia e la regione del Sud-Est Europa ■

Daniele Roffinella *daniele.roffinella@telecomitalia.it*

ingegnere in telecomunicazioni, attualmente responsabile Next Generation Network, nella Direzione Global Advisory Services - Technology. Nella sua trentennale esperienza professionale nel settore telecomunicazioni, ha svolto attività in ambiti di strategia, innovazione, normativa, ingegneria, pianificazione, con responsabilità di funzioni aziendali e progetti relativi a reti metropolitane e geografiche, sistemi di commutazione, rete intelligente, reti Broadband Wireless. Ha guidato attività di Industrial Analysis a livello Gruppo TI, ha operato come Technical Support della Direzione Technology&Operations ed è stato responsabile per l'Evoluzione Tecnologica in Next Generation Access Networks & Partnership, nella Direzione Strategy del Gruppo TI. È membro IEEE Society ■

FROM CORD TO THE 5G ERA

Cagatay Buyukkoc, Antonio Manzalini, Larry Peterson

Techno-economic drivers are radically changing Telecommunications and ICT scenarios. Network Operators will have to face unprecedented challenges posed, for example, by the impressive increase of video traffic, the wider and wider diffusion of smart phones, tablets, intelligent things and the emerging new promising service scenarios (e.g., Tactile Internet, Industry 4.0, Cloud Robotics).

In order to face these challenges, Network operators aim at make their networks efficient, programmable, elastic and agile to meet the challenges of user bandwidth demands, as well as to create new revenue streams. They want to benefit from both the economies of scale and the agility that cloud providers enjoy today.

In this context, SDN and NFV are two enabling technologies of an overall systemic transformation called “Softwarization” which is steering the evolution not only of Networks, but also of Service Platforms (e.g., Cloud and Edge Computing architectures) and even future terminals, machines and smart things.

Network Operators are adopting different strategies (e.g., bi-modal, inertial, etc.) to pursue a digital business transformation. Key technological directions concern the architectural delayering and simplifications and the optimization of the operational processes (e.g., through orchestrators and new paradigms of OSS/BSS capable of managing the complexity and heterogeneity of SDN and NFV infrastructures). If mastering the software is recognized a must for a successful digital business transformation, nevertheless, standardization of open source software solutions and interfaces is still felt to be a hot issue. Importantly, Telco Operators argue that the ongoing digital business transformation implies a radical cultural change and adaptation: workforce needs to be completely retrained in this new environment, and new skills have to be developed. Eventually SDN and NFV are lowering the thresholds for new Players to enter in the Telecommunications and ICT ecosystems, so it is likely that Telcos Operators’ strategies will be more and more influenced by the dynamics of new Competitors (even Start-ups) ente-

ring their business segments, the analogous transformation of the Technology Providers, as well as the regulation rules.
This paper describes CORD (*Central Office Re-engineered as Data center*) and OMEC (*Open Mobile Edge Cloud*). CORD - a collaborative effort between AT&T and the Open Networking Lab -is proposing a response to the above challenges by re-architecting the Central Office as a datacenter; OMEC is an long term architectural approach paving the way to the 5G era.

CORD

The basic approach of CORD centers on unifying the following three related but distinct threads:

- The first is **SDN**, which is about separating the network's control and data planes. This makes the control plane open and programmable, and that can lead to increased innovation. It also allows for simplification of forwarding devices that can be built using merchant silicon, resulting in less expensive white-box switches.
- The second is **NFV**, which is about moving the data plane from hardware appliances to virtual machines. This reduces CAPEX costs (through server consolidation and replacing high-margin devices with commodity hardware) and OPEX costs (through software-based orchestration). It also has the potential to improve operator agility and increases the opportunity for innovation.
- The third is the **Cloud**, which defines the state-of-the-art in building scalable services-leveraging software-based solutions, micro-service architecture, virtualized commodity platforms, elastic scaling, and service composition, to enable network operators to rapidly innovate.

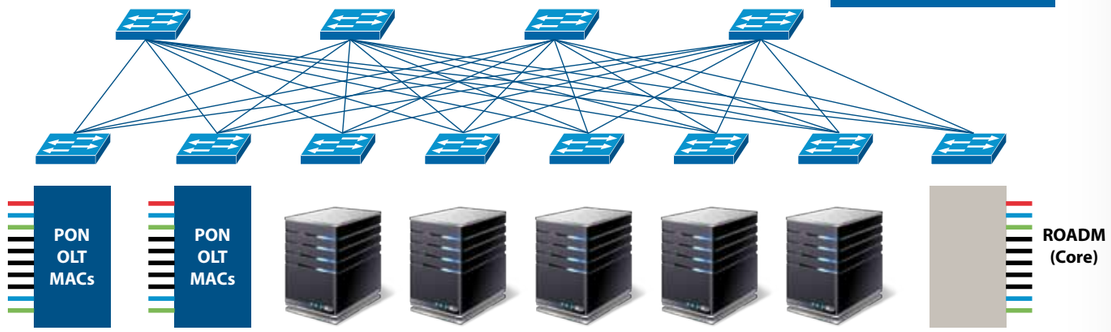
The goal of CORD is not only to replace today's purpose-built hardware devices with their more agile software-based counterparts, but also to make the CO an integral part of every Telco's larger cloud strategy and to enable them to support more attractive and meaningful networking services.

Commodity Hardware

The target hardware for CORD consists of a collection of commodity servers and storage, interconnected by a leaf-spine fabric constructed from white-box switches. An illustrative example is shown **in figure 1**.
Although similar in design (albeit on a smaller scale) to a conventional datacenter, there are two unique aspects to this hardware configuration:

- The switching fabric-organized as a *leaf-spine* topology-is optimized for traffic flowing east-to-west, between the access network that connects customers to the CO and the upstream links that connects the CO to the operator's backbone. There is no north-south traffic in the conventional sense.
- The racks of GPON OLT MACS commoditize connectivity to the access network. They replace proprietary and closed hardware that connects millions of subscribers to the Internet with an open, software-defined solution. (GPON is the example access technology in the reference implementation of CORD, but the same argument applies to other access technologies as well.) In fact the argument for OMEC below is to unify all these approaches in a common framework.

1
Target hardware, constructed from commodity servers, storage, and switches



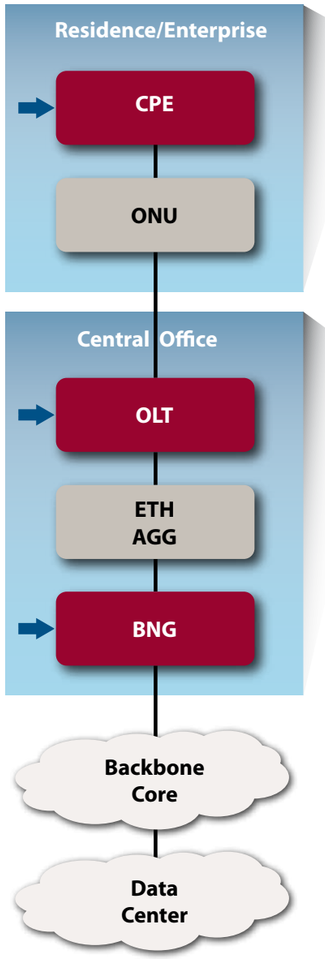
Software Building Blocks

With respect to software, our reference implementation of CORD exploits three open source projects:

- **OpenStack** is the cluster management platform. It provides the core IaaS capability, and is responsible for creating and provisioning VMs (*Virtual Machines*) and VNs (*Virtual Networks*).
- **ONOS** is the network operating system that manages the underlying white-box switching fabric. It also hosts a collection of control applications that implement services on behalf of Telco subscribers. ONOS is also responsible for embedding virtual networks in the underlying fabric, which is in turn accessed via OpenStack's Neutron API.
- XOS is a service abstraction layer that unifies infrastructure services (provided by OpenStack), control plane services (provided by ONOS. It provides explicit support for multi-tenant services, making it possible to create, name, operationalize, manage and compose services as first-class operations.

Virtualizing Legacy Devices

The first step is to virtualize the existing hardware devices, transforming each device into its software service counterpart and running it on commodity hardware. In the process, functionality is likely disaggregated and re-packaged in new ways. **Figure 2** shows the devices that CORD virtualizes. They include OLT (*Optical Line Termination*), CPE (*Customer Premises Equipment*), and BNG (*Broadband Network Gateways*).
Due to space limitations, this overview focuses on GPON technology and virtualizing the OLT to produce vOLT; there are also virtualized counterparts to the CPE (vCPE) and BNG (vBNG).
The first challenge is to create a commodity I/O Blade. AT&T has developed an open specification for a GPON MAC 1RU "pizza box," as shown in **figure 3**. This board includes the essential GPON MAC (*Media Access Control*) chip under control of a remote control program via OpenFlow. This replaces an existing closed and proprietary OLT chas-



2
Legacy CO, including three physical devices to be virtualized

3
GPON OLT IO Blade

sis (not shown) that integrates this GPON MAC chip with GPON protocol management, 802.1ad-compliant VLAN bridge, and Ethernet MAC functions.
The end result is to bring the access network interface under the same SDN-based control paradigm as the white-box based switching fabric. In other words, vOLT (*virtual OLT*), is implemented as a combination of: (1) Merchant Silicon (i.e., commodity GPON interface boards) and (2) an SDN control function that sets up and manages control plane functions of an OLT (e.g., 802.1X, IGMP Snooping, and OAM).

The vOLT control application running on top of ONOS facilitates attachment and authentication (AAA), establishes and manages VLANs connecting consumer devices (see next section) and the CO switching fabric on a per-subscriber basis, and manages other control plane functions of the OLT.

Service Orchestration

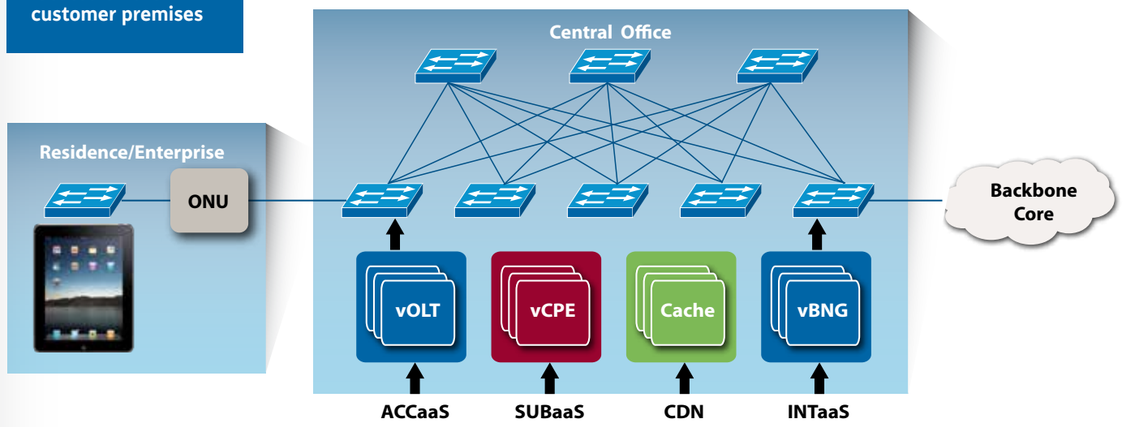
Replacing hardware devices with software running in virtual machines is a necessary first step, but is not by itself sufficient. Just as all the devices in a hardware-based CO must be wired together in a meaningful way, their software counterparts must also be managed as a collective. This process is often called service orchestration, but if network operators are to enjoy the same agility as cloud providers, the abstractions that underlie the orchestration framework must fully embrace (1) the elastic scale-out of the resulting virtualized functionality, and (2) the composition of the resulting disaggregated (unbundled) functionality. A model that simply "chains" VMs together as though it is operating on their hardware-based counterparts will not achieve either goal.
Our approach is to adopt Everything-as-a-Service (XaaS) as a unifying

principle. This brings the disparate functionality introduced by virtualizing the hardware devices under a single coherent model. The control functions run as scalable services (these functions run on top of ONOS), the data plane functions run as scalable services (these functions scale across a set of VMs), the commodity infrastructure is itself managed as a service (commonly known by the generic name IaaS), and various other global cloud services running in the CO are also managed as scalable services. No matter the role it plays in the overall CORD architecture, each service is structured in exactly the same way: it supports a logically centralized interface, called a service controller; it is elastically scale across a set of service instances (corresponding to VMs and OpenFlow switches); and it is multi-tenant with an associated tenant abstraction.
While vOLT, vCPE, and vBNG refer to the virtualized counterpart of the three physical devices, they are not complete and "pluggable" elements in CORD until they are packaged as services-each includes a multi-tenant service controller, and each scales independently across a set of service instances. Because, the new architecture no longer requires functionality to be bundled along the same boundaries as before, it is more intuitive to think of the virtualization process as resulting in three generic, multi-tenant services:

- **ACCaaS** (*Access-as-a-Service*): Implemented by a vOLT control application running on ONOS, where each tenant corresponds to a *Subscriber VLAN*.
- **SUBaaS** (*Subscriber-as-a-Service*): Implemented by a vCPE data plane function scaled across a set of containers, where each tenant corresponds to a *Subscriber Bundle*.
- **INTaaS** (*Internet-as-a-Service*): Implemented by a vBNG control application running on ONOS, where each tenant corresponds to a *Routable Subnet*.

If a CDN (*Content Distribution Network*) - itself a scalable cloud service deployed throughout the operator's network, including caches in the CO-is added to these three new services, we have an example of the three kinds of services outlined in the Introduction: a cloud service (CDN), a data plane service (Subscriber-as-a-Service), and two control plane services (Access-as-a-Service, Internet-as-a-Service). This results in the legacy CO depicted in figure 2 being re-architected into the datacenter version shown in **figure 4**.
In summary, CORD is a significant milestone in bringing cost effectiveness and agility to Telco Central Of-

4
Four scalable services running in a CO, with a bare-metal switch located on the customer premises



fices. The plan is to build a fully functional reference implementation, followed by validating the architecture through lab trials and eventually field trials, and hardening the system along the way based on trial data. Taken as a whole, the goal is to bring CORD close to readiness for commercial deployments in operator networks. Moving towards 5G era networks, many extensions of this work need to be completed, some of those require a Wireless network OS that operate in realtime as opposed to ONOS above. In the OMEC proposal below, SoftRAN OS[1] is used for this purpose, in addition, new reconstruction of functions traditionally residing in core networks must be pushed towards the "edge", mobility has to be completely redefined as a service that can be attached in a more distributed way to new services etc.

Towards the 5G era

5G era is a new vision that is shaping up in the industry and academia and is an E2E vision. It includes an eRAN (*evolved RAN*), a ubiquitous and responsive mobile-broadband network that will not only carry the (future) Internet traffic but also enable new applications and services, a NG core, and a management/control plane that extends UE to Core and beyond. It is not just an air interface where people sometimes equate 5G to. It includes both evolutionary components of current generations of mobile networks (under a unifying umbrella), and revolutionary components that will enable efficiently (energy and spectral), a new resilient framework (i.e., responsive, auto-manageable QoS/QoE, secure, survivable, traffic and disruption tolerant) services to everyone and everything (applications and machines). Many new drivers, "Immersive Experience", "Tactile Internet" enriched by "Context Information", and "X as a Service", will be adopted and devices such as significant large amount of IoTs be introduced beyond the current "client-server" models, in which the network infrastructure is reduced to simplistic pipes.

This vision requires a complete revamping of the E2E architecture, services and service capabilities of the new infrastructures, and a rethinking of interfaces, management and control frameworks, access and non-access protocols and related procedures, functions, and advanced algorithms (e.g., AAA, auto- maintenance and management of services and any type resources (both physical and virtual).

Several challenges still are in the process of being addressed to meet stringent performance targets as set out by the 5G community (x1000 higher mobile data volume per area, x10 to x100 higher typical user data rate, x10 to x100 higher number of connected devices, x10 longer battery life for low power devices, x5 times reduced End-to-End (E2E) latency), coverage (seamless experience), E2E QoS, etc[2]. Moreover, the infrastructure needs to be largely flexible and scalable thus meeting foreseen and unknown requirements, and resiliency and responsiveness is built into the design. The complexity is a big issue that needs to be measured and evaluated as part of this comprehensive redesign. Service Providers and Network Operators currently are deploying transformative approaches to provide network functions in appropriate infrastructures (utilizing both centralized and distributed flexible architectural concepts) and thus providing flexible and scalable capabilities according to required use cases and their traffic demands. This flexibility will be achieved using a software defined ecosystem and NFV technologies as well as data path programmability; target architecture has to be cost efficient and resource efficient as well as automanaged and flexible for new innovations.

A large adoption of cloud computing, software defined networks and network functions virtualization require new thinking in various key areas to be able to fully utilize and monetize the capabilities presented: e.g., distributed system architecture, provide minimum "state" information, elastic and scalable systems in a consistent way, loosely coupling and necessary event handling etc. Automanagement and control of mobile networks using new and innovative paradigms would be crucial.

In particular, many aspects, such as context management (e.g., related to service, network, and device information), a Control, Orchestration, Management and Policy (COMP)[3] details related to eRAN, spectrum management, E2E resilient service composition, mobility management, low power-long range & various MTC, D2D services, RRM, and modular radio interfaces and a new protocol independent layering require new and innovative work. Similarly, a new set of devices would also have modular capabilities developed around context, interference and RAT management, since end devices would be an integral part of eRAN.

Most of the research and innovation efforts need to be in place in the next few years so that with large field trials and testing can take place for early deployments to take place in 2020. This can be realized only through a global collaboration and investments in key technologies and related fields. Since the required set of capabilities is very broad, establishing ecosystems (both mobile and wireline) that will allow global participation through open frameworks are needed.

Open Mobile Edge Cloud (OMEC) Vision

As mentioned earlier, various research and standardization bodies have identified that 5G systems should achieve system capacity growth by 1000 fold, energy efficiency gains in the order of 10.

Various efforts are ongoing in the RAN and Core areas to address the architectural principles outlined above. In the RAN space, one of the promising architectures towards that goal was identified as CRAN (various flavors) as it provides a transition path to the cloud computing based architecture. CRAN architectures have been in trials in various countries and research labs for the past few years to determine the major benefits, challenges and solutions to those. The major challenges are fronthaul requirements (e.g., delay, jitter, cost, technology) and the ability of centralized BBUs to provide adequate signal processing in performance targets. These basically determine the spectral and energy efficiencies targeted.

Several variants of CRAN is proposed to address the fronthaul restrictions, one of the promising architectural direction is to decouple user and control planes and progress using the SDN strategy. This also allows a major rethinking of the mobility edge (and subsequently the converged wireline/wireless edge). In this framework, basically a deconstruction of basic functions of RAN and core networks are proposed, as a next step using the deconstructed functions new architectural elements are proposed. One key area of this exercise is the introduction of a new functional node as an intersection point of these functions to be able to create a future proof architecture. This functional node, basically envisioned an "Open" node is called, Open Mobile Edge Cloud node will be deployed to provide seamless coverage and execute various control plane functions as well as some of the "core functions" currently placed in various nodes of EPC. More functionalities related to Compute and Storage will be added to enable truly cloud capabilities in iser proximities. Since many location based applications are on the rise, social, analytics, video etc. fronthaul load will be considerably higher in the future and requirements on local storage, compute and networking processing of "edge" services almost forces a new architectural direction.

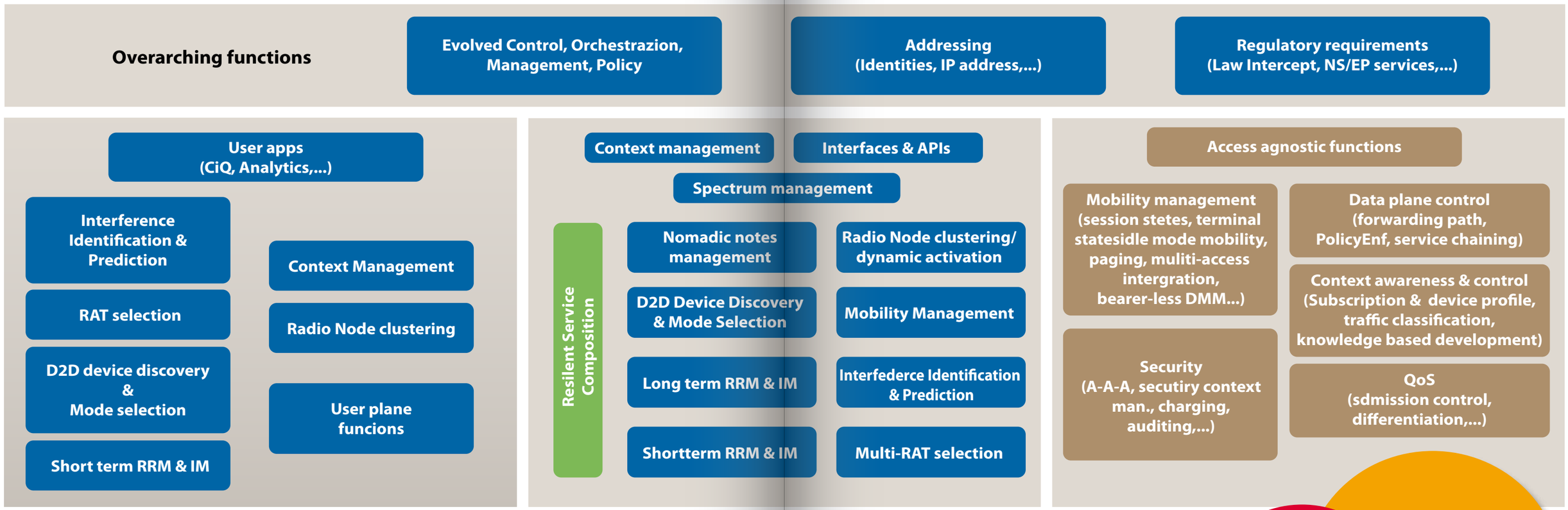
ETSI/MEC[4] and "Fog computing[5]" are efforts in this direction; trying to address similar issues and identified that a substantial amount of storage, communication, control, configuration, measurement and management should be placed at the "edge" of a network, in addition to the current cloud paradigms. This idea is based on the premise to certain extensions of cloud computing architectures to the network edge. **Figure 5** is a functional decomposition of NG UE, RAN and core functions for an E2E architecture of mobile networks in the 5G era. All these are related approaches but much more needs to be done, and a proposed framework will be provided in summary below.

5
The functional decomposition of NG UE, RAN, core and E2E functions

The deconstruction of functions is a prelude to reconstruction and optimal placement of functionalities much more than networking, to refactored nodes to address all the considerations outlined above. It is envisioned that NG Mobile edge (subsequently converged edge) will be the center of all 5G era networks with compute and storage functionalities attached, as will be described below briefly. OMEC is an architectural paradigm based on this framework.

There are multiple variants of this key idea that essentially pushes some applications, analytics and computing, content and storage to the edge (including the edge devices); what is being done in the networking space, should converge with similar ideas on Compute, Storage dimensions. To include the UE's and other CPEs part of this methodology require many new collaboration capabilities to be developed to execute the traditional RAN functions (e.g., RRM) as well as some others such as mobility management, security etc. in this architectural framework as well as content delivery, storage and compute functionalities.

Several edge initiatives are already focusing on different aspects of this framework in the 5G related work; i.e Tactile Internet, fog networks, ETSI/MEC etc. The purpose of this note is to propose a collaboration to bring all these activities under a unifying umbrella.



"Edge" definition and how does it fit to 5G era networks

Given the vision outlined above, and the strategic role it would play as an intersection of NG Core and RAN functions, the edge needs to be properly defined. In the IEEE workshop that took place in November 2015[6] on OMEC (*Open Mobile Edge Cloud*), it was defined as:

An open cloud platform that uses some end-user clients and located at the "mobile edge" to carry out a substantial amount of storage (rather than stored primarily in cloud data centers) and computation (including edge analytics, rather than relying on cloud data centers) in real time, communication (rather than routed over backbone networks), and control, policy and management (rather than controlled primarily by network gateways such as those in the LTE core).

Note that this definition substantially re-architects the whole network. Key components are an application delivery framework on a cloud based system with key functionalities refactored from NG RAN and Core.

The broad set of use cases outlined in various research and standards bodies points to new set of applications that are limited by human Physiology and Psychology[7].

What differentiates the 5G era networks is the ability to address varying degrees of requirements (in delay, throughput, types and quantities of devices, etc.) concurrently with a unified framework. This almost dictates a new architectural component that is in close proximity to end users/devices with at most 10km distance to provide the new control and steering applications brought by new use cases.

This requirement are already known very well within the industry and there are these approaches within the 5G community to address those. All Architectural work should be based on a set of NFR (*Nonfunctional Requirements*) on Technology, Business, and Quality. These are the high level requirements and constraints that determine the evolution direction. Then the architecture becomes the functional implementation of these requirements based on these constraints. The strategic NFR might be:

- Technology: e.g., use this vs that hypervisor
- Business: e.g., create ROI on almost everything, create monetization at the edge, future proof everything etc.
- Quality: e.g., provide Resiliency as a key architectural principle, Look at QoE in addition to QoS, do complexity/robustness analysis on services and infrastructure, etc.

Key questions that needs to be answered for the architecture of OMEC is to determine how to merge various activities at the edge on a common platform based on the NFR constraints.

Compute, Storage and Communication needs in a holistic way

Storage: Cloud-based services has originated with Storage and Compute to leverage economies of scale of these common tasks on common (inexpensive) components, and provide high level functions such as resilience through architectural means (SDN/NFV, etc.). However, to address the use cases covered under initiatives such as fog networks, where there are lots of "under-utilized storage" resources in the edge devices, one should create pooling mechanisms and control and management of those. Depending on use case, "ad-hoc" storage networks consisting of enterprise workstations, home servers, local CDN servers, TV set-top boxes, etc. can be pooled to create user slices. Resilience (security, reliability, performance etc.) can be provided by the OMEC infrastructure using variety of methods (Reed-Solomon coding to provide additional reliability for example.

Compute: Computing at the edge with user devices included are already playing important roles. Edge analytics is a rapidly growing field to process and make use of local traffic in ms latencies. There is also a broad set of new requirements coming from 5G use cases such as Tactile Internet, realtime video traffic optimization etc. Various industry initiatives are creating environments where Application programs such as Analytics are easily pluggable into the OMEC. Furthermore, additional resources obtained from edge networks (e.g., fog networks) that are time-critical and client-centric tasks should be placed in close proximity to the users. For example, congestion (both data and actual traffic) are easily detectable if the intelligence to process the data is built into the system. Similar to storage, tasks that require additional computation can be moved back and forth on OMEC platforms to increase efficiency in distributed computation and also add more compute power to intensive requirements. There is a project called SETI within UC Berkeley that allows millions of users to participate massive computation needed. Think of OMEC as a smaller and realtime SETI.

Communication Cellular, Wi-Fi, wireline, ad-hoc networks use a great many devices and edge components as communications infrastructure. 5G era will include a communication infrastructure quite different than what LTE networks currently provide. The cellular networks provide a data plane that extends all the way to the mobile core, it is totally centralized. The control plane is a distributed infrastructure consisting of MMEs, S=gateways, P-gateways, etc. a very distributed system. What we have learned in the study of SDN/NFV frameworks that is being eployed in effect is exact opposite: the 5G era will have a quite centralized control plane and a distributed data plane. The desegregated network functions view outlined in Figure 1 gives us a new opportunity to implement this vision. The necessary additional control, configuration and establishment of reachability through the underlying OMEC mechanisms will help provide a new no-cell approach (or create your cell as needed) for all users (e.g.,Wi-Fi , sensory, and ad-hoc networks) currently relying different approaches. Fog networking architecture will be part of the overall communication infrastructure through APIs for new functionalities including network measurement, control, configuration and service definition. Since the future edge devices are much more powerful and diverse, the advanced functionalities can be easily implemented in the edge devices with the benefits of being closer to the network edge. However, some of the networking tasks that require global connectivity and visibility of the network should be still carried out in the OMEC. Some additional helper nodes, such as NG access points will be part of the overall vision.

5G era networks would be reconstructed from the deconstructed functions that are shown in figure 1. A possible template to address this with NFRs is shown in figure 3. Modular functions are used in defining and programming of data plane functions as data plane is envisioned a concatenation of connectivity substrates and processing units depending on the location and purpose. Control plane similarly requires a set of modular functions that can be used to program the underlying data planes. The modularity is essential to compose (e.g., service chaining) and create an instance of a network where functional requirements are based on service requirements, user subscriptions, device type etc. This will also prevent vendor lockins and allow flexibility for future proofing the network.

In Cloud based systems compute, storage and networking components are key to deploying a system that could address the applications we could deploy. There are key questions of how to mix the C, S and N components to deliver a set of applications. This is similar to determination of "eigenvalues", that is, scaling factors, and "eigenvectors", that is, fundamental composition of C, S and N. Initially cloud based systems were deployed to have compute and storage components only, however bringing a broad set of networking applications and combining them with compute and storage is the right approach in creating systems that will benefit most of future applications envisioned. Many questions should be addressed quickly through sets of Proof of Concept studies to answer some of these quickly and through global collaborations. There are a great many organizations, groups, research bodies that are addressing the "cloud" based service architectu-

res: IEEE (Open Mobile Edge Cloud), ETSI MEC, IETF, different protocols to address the networking issues, 3GPP on radio interface and control plane/user plane separation, local traffic issues, ITU-T FG on IMT 2020 on fundamental gaps etc. Now is a good time to bring together some of these ideas and put the weight of all industry to specific key areas to make meaningful progress ■

Note

1 See for example: *http://platformlab.stanford.edu/Presentations/scalable-control-plane.pdf*
2 See METIS documents for a comprehensive set of requirements, architectural options: *https://www.metis2020.com/documents/publications/*
3 **COMP**: many SP's have example implementations of Control, Orchestration, Management & Policy frameworks that are part of a larger ecosystem that specifies standardized abstractions and interfaces that enable efficient interoperation of the ecosystem components. They are collections of software components which collectively are responsible for the efficient control, operation and management of capabilities and functions.
4 *http://sdn.ieee.org/pre-industrial*
5 See various work on Tactile Internet, e.g., *http://eandt.theiet.org/magazine/2015/03/tactile-internet-5g.cfm*
6 *http://sdn.ieee.org/pre-industrial*
7 See various work on Tactile Internet, e.g., *http://eandt.theiet.org/magazine/2015/03/tactile-internet-5g.cfm*

Cagatay Buyukkoc *cb143k@att.com*

works for AT&T Architecture and Design organization as a Lead MTS, leading efforts on SDN/NFV strategies and RAN evolution target architecture. He is also the co-lead of IEEE SDN initiative preindustrial committee. Cagatay graduated from METU, with EE BS and MS degrees and a PhD degree from University of California, Berkeley in EECS. He also obtained an Executive MBA on International Business from Wharton. He held various technical and management positions in AT&T Bell Labs, Lucent Technologies, ZTE, Cisco and AT&T. ■

Antonio Manzalini *antonio.manzalini@telecomitalia.it*

received the M. Sc. Degree in Electronic Engineering from the Politecnico of Turin. In '90 he joined CSELT, which then became part of Telecom Italia, where he started working on RT&D activities for transport networks (SDH, OTN). In this avenue, his achievements have been published in more than 100 papers and a book on SDH Network Synchronization. He was also active in Standardization Bodies, and as Chair of ITU-T Questions, in charge of the development of the main ITU-T Recommendations on transport networks. Since 2000, he took leading roles in several EURESCOM and European Project in future networks and services. In 2008 he was awarded with the International Certification of Project Manager by PMI. In 2013 and 2015 he led two projects on Software Defined Networks (SDN) funded by EIT – Digital. He is currently Senior Manager at the Strategy & Innovation Dept. (Future Centre) of Telecom Italia. His main interests are concerning innovative architectures and services enabled by SDN and NFV, primarily for 5G. He is General Chair of the IEEE initiative on SDN ■

Larry Peterson *llp@cs.princeton.edu*

is the Robert E. Kahn Professor of Computer Science, Emeritus at Princeton University, where he served as Chair from 2003-2009. He is a co-author of the best selling networking textbook Computer Networks: A Systems Approach (5e). His research focuses on the design, implementation, and deployment of Internet-scale distributed systems, including the widely used PlanetLab and MeasurementLab platforms. He is currently working on a new cloud operating system, called XOS.
Since transitioning to Emeritus status at Princeton, Peterson has diversified his employment: He has a faculty appointment at theUniversity of Arizona, is a strategic consultant for Akamai (which acquired CoBlitz LLC, a CDN technology startup spun out of Princeton in 2008), and is Chief Architect of the Open Networking Lab (a non-profit that builds open source software designed to open Cloud and Internet infrastructure to innovation). He also continues to direct the Princeton-hosted PlanetLab Consortium.
Professor Peterson is a former Editor-in-Chief of the ACM Transactions on Computer Systems, and served as program chair for SOSP, NSDI, and HotNets. He is a member of the National Academy of Engineering, a Fellow of the ACM and the IEEE, the 2010 recipient of the IEEE Kobayashi Computer and Communication Award, and the 2013 recipient of the ACM SIGCOMM Award. He received his Ph.D. degree from Purdue University in 1985 ■

INTEGRAZIONE FRA LA RETE IP E LA RETE DI TRASPORTO OTTICA

Andrea Calvi, Giuseppe Ferraris

L'integrazione della rete IP con la rete ottica non è un tema nuovo, se ne parla dalla fine degli anni '90. Oggi però lo sviluppo dei concetti di Transport Software Defined Network offre nuovi strumenti che consentono di studiare questo tipo di integrazione da una prospettiva diversa. L'articolo confronta le diverse opzioni disponibili per l'integrazione fra rete IP e rete ottica e fornisce una proposta di evoluzione della rete basata su Transport SDN.

La rete IP e la rete di trasporto ottica oggi

Nel corso degli ultimi anni si sono verificati due fenomeni che stanno portando ad una trasformazione della rete. Da un lato, il protocollo IP si sta affermando come l'unico protocollo utilizzato sia per la rete fissa che per quella mobile, per tutti i tipi di servizio (voce, video, dati, ecc.) e per tutti i tipi di clientela (residenziale business e wholesale). Dall'altro, la continua crescita del traffico richiede una rete in grado di fornire sempre più capacità a costi contenuti.

La rete geografica (Wide Area Network, WAN) che costituisce l'infrastruttura di connessione della rete multi-servizio, ha una struttura gerarchica e risulta composta da due segmenti distinti:

- il segmento metro/regionale che aggrega il traffico proveniente dalla rete di accesso verso i PoP nei quali sono presenti i nodi di servizio;
- la rete di lunga distanza (backbone) che collega i PoP fra loro e ai gateway internazionali verso Internet.

La progressiva convergenza di tutti i servizi su IP sta portando ad una semplificazione della WAN che, a tendere, sarà costituita essenzialmente da due livelli:

- uno strato a pacchetto, con lo scopo di effettuare una aggregazione efficiente del traffico;
- uno strato ottico che ottimizza l'uso della fibra ottica, fornendo una serie di connessioni a banda molto elevata mediante la multiplazione a divisione di lunghezza d'onda (WDM).

Infatti, già oggi la rete backbone di TIM è costituita da uno strato IP/MPLS, chiamato OPB, che si appoggia sulla rete ottica Kaleidon. Analogamente, nelle zone metropolitane a più alta densità di traffico, esiste uno strato IP/MPLS, chiamato OPM, che si appoggia, almeno in parte, su reti Metro WDM.

La decisa crescita del traffico prevista nei prossimi anni richiede che la capacità della rete OPB e delle MAN OPM riesca a scalare progressivamente con un livello di investimenti sostenibile.

Per quanto riguarda OPM si è avviato un processo di semplificazione che porterà alla progressiva eliminazione di un livello di rete, quello dei Remote Feeder, con la connessione diretta dei nodi di accesso ai Feeder connessi, a loro volta, ai nodi Metro con collegamenti ottici a 10 Gbit/s.

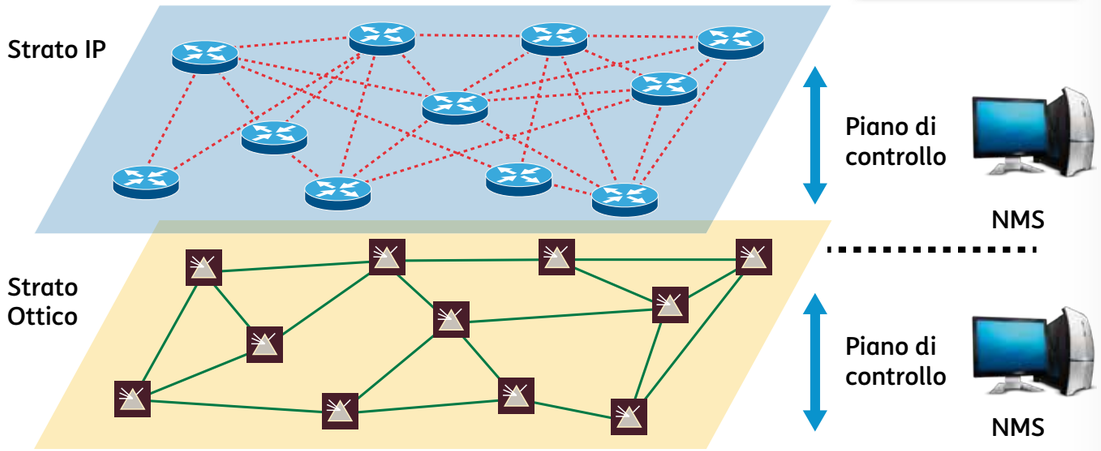
Su OPB è invece stato avviato un processo di rinnovamento, denominato Next Generation Core Network, che porterà a un'architettura gerarchica costituita da PoP Principali e PoP Secondari. I PoP Principali, scelti fra quelli che generano più traffico, saranno equipaggiati con una nuova generazione di router e collegati fra loro con canali ottici a 100 Gbit/s, mentre i PoP Secondari

subiranno una semplificazione architetturale.
Questa trasformazione del livello IP è accompagnata da cambiamenti anche nel livello ottico: l'introduzione di lunghezze d'onda a 100 Gbit/s su Kaleidon per supportare le interconnessioni fra i PoP primari di NGCN e una progressiva introduzione di apparati ROADM, analoghi a quelli già presenti su Kaleidon, anche sulle reti Metro WDM per aumentarne la flessibilità.
Allo stato attuale nella rete di TIM, come in quelle dei principali operatori, lo strato IP e quello Ottico sono separati fra loro nel senso che fra essi esiste una relazione di tipo client/server, ma non esiste alcuna interazione a livello di controllo e gestione, come mostrato nello schema di principio di **figura 1**.
I router dello strato IP sono connessi fra loro da link secondo una certa topologia logica, che dipende essenzialmente dalle principali direttrici di traffico e dalla necessità di avere percorsi alternativi che consentano la sopravvivenza in caso di guasto. Ciascun link è ottenuto mediante un canale ottico fornito dalla rete WDM sottostante.
La topologia della rete WDM è invece di tipo fisico, perché dipende strettamente dalla disposizione dei cavi. Essa è quindi diversa dalla topologia dello strato IP.
Ciascuno dei due strati dispone di un proprio piano di controllo e di propri sistemi OSS per la gestione di rete, ma non c'è comunicazione fra i piani di controllo e gli OSS dei due strati.
La separazione fra i due strati di rete esiste anche a livello di processi aziendali. Infatti, la pianificazione delle due reti avviene in modo separato e l'unico legame è costituito dal fatto che i link della rete IP sono un input alla pianificazione della rete ottica.
Analogamente, l'esercizio delle due reti avviene in modo indipendente e con metodologie diverse. Per lo strato IP è fondamentale la presenza del piano di controllo che automatizza le funzioni di instradamento.
Per lo strato ottico, invece è fondamentale l'uso del sistema di gestione centralizzato per svolgere tutte le attività di creation, provisioning ed assurance, mentre il piano di controllo GMPLS ha un ruolo meno importante.

L'integrazione della rete IP con la rete ottica

In passato la rete di trasporto ottica aveva il compito di fornire connettività a più reti client diverse e

1
Relazione fra lo strato IP e lo strato ottico



ciascuna di esse richiedeva connessioni a velocità nettamente inferiori rispetto a quelle delle lunghezze d'onda presenti sui sistemi WDM. L'adattamento fra la velocità delle connessioni richieste dalle reti client (ad esempio 1 o 2.5 Gbit/s) su lunghezze d'onda a più alta velocità (ad es. 40 o 100 Gbit/s) veniva ottenuto mediante multiplazione TDM.
La veloce crescita del traffico IP ha cambiato radicalmente questa situazione. Oggi, infatti, la rete IP è il client principale della rete ottica e le porte dei router operano a velocità comprese fra 10 e 100 Gbit/s, le stesse delle lunghezze d'onda presenti sulla rete ottica. Si tende quindi ad avere sempre più una corrispondenza uno a uno fra i link dello strato IP e le lunghezze d'onda dello strato ottico.
Diventa, quindi, sempre più importante progettare la rete ottica in modo da ottimizzare il suo client principale che è la rete IP. Questa tendenza ha portato allo studio dei possibili benefici derivanti da una progressiva integrazione fra questi due strati che, in generale, può essere ottenuta in modi diversi: a livello di piano dati, di piano di controllo e/o di piano di gestione.
I principali benefici attesi da questa integrazione rientrano nelle seguenti categorie:

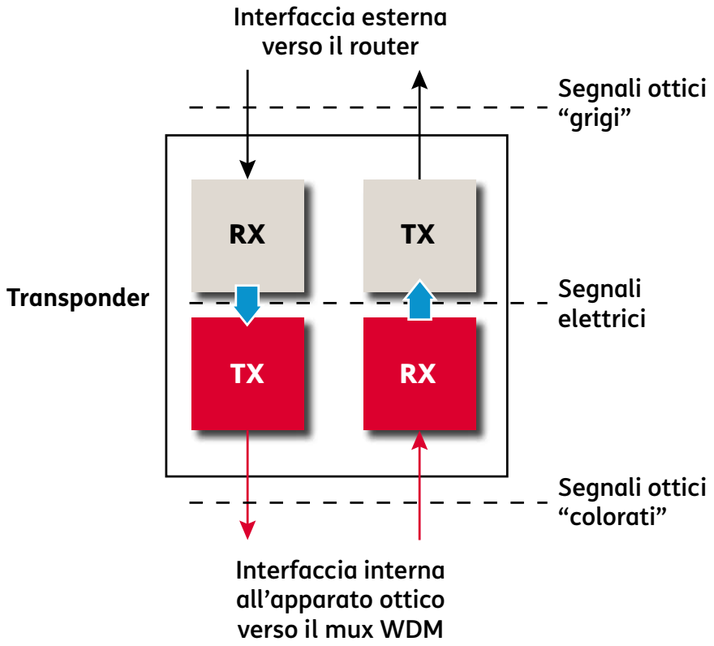
- riduzione dei costi complessivi derivante da una ottimizzazione congiunta delle risorse di rete sui due strati;
- automazione del set-up di nuove lunghezze d'onda fra i router;
- miglioramento delle prestazioni per alcune categorie di servizi attraverso una scelta ottimizzata dell'instradamento;
- miglioramento dell'affidabilità per i servizi basati su IP attraverso instradamenti che tengono conto della topologia fisica dello strato ottico e tecniche di multi-layer resilience.

Impiego di interfacce ottiche colorate sui router

Le reti ottiche si basano sulla multiplazione WDM, cioè sul concetto di trasmettere più canali su di una stessa fibra, associandoli a diverse lunghezza d'onda.
Le prestazioni trasmissive di un sistema WDM vengono sinteticamente indicate da tre parametri: il numero di canali utilizzabili, la massima velocità (bit rate) di ciascun canale e la massima distanza raggiungibile senza necessità di rigenerazione (per un certo bit rate e per una certa tipologia di fibra).
Attualmente gli standard relativi alle reti ottiche regolano il tipo di interfacce disponibili fra il sistema WDM e gli apparati client, ad esempio router, in modo da garantire un'interoperabilità fra costruttori diversi. Il segnale ottico su questa interfaccia è detto "grigio", poiché lo standard non specifica un particolare "colore", cioè una lunghezza d'onda precisa.
Per garantire questa interoperabilità, ciascun canale di un sistema WDM è dotato di un dispositivo, detto trasponder, che esegue una conversione ottico/elettrico/ottica (OEO).
Lo schema di principio di un trasponder è mostrato in **figura 2**. Esso riceve in ingresso il segnale grigio dell'apparato client, lo riporta in formato elettrico e poi genera un nuovo segnale ottico colorato, avente la lunghezza d'onda, il formato di modulazione e tutte le altre caratteristiche necessarie per essere multiplato e trasmesso con le prestazioni volute lungo la linea.
A livello di linea, invece, ciascun costruttore è libero di agire come meglio crede sui parametri fisici dei segnali ottici:

- formato di modulazione;
- livello di potenza;
- codice correttore di errori (FEC),

in modo da ottimizzarne le prestazioni. Questo impedisce l'interoperabilità fra sistemi WDM forniti da costruttori diversi.
In ITU si sta lavorando ad un nuovo standard che consenta l'interoperabilità anche a livello di linea, ma questo può comportare una riduzione delle prestazioni del sistema, perché si riducono i gradi di libertà a disposizione del costruttore per ottimizzare le prestazioni complessive. Quindi è ragionevole che questo tipo di interoperabilità sarà possibile solo per i sistemi Metro WDM, per i quali la massima distanza raggiungibile senza rigenerazione non è un parametro troppo importante, men-



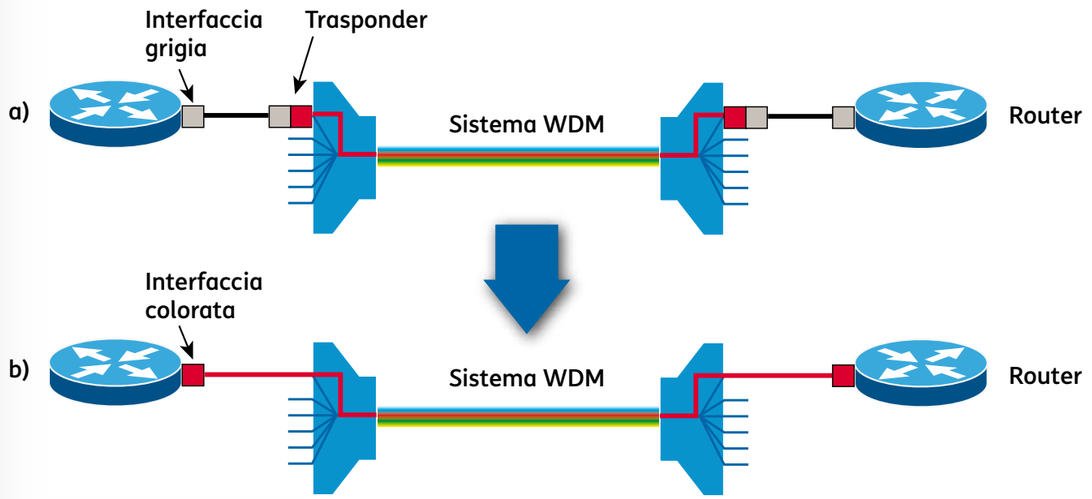
2
Schema di principio di un trasponder

tre l’interoperabilità non verrà garantita per i sistemi long haul, che devono proprio essere ottimizzati per raggiungere grandi distanze.
In **figura 3** è visibile uno schema semplificato dell’interconnessione fra una coppia di router ottenuta attraverso un sistema WDM. La **figura 3a** mostra la situazione attuale, che prevede l’utilizzo del trasponder per adattare ogni segnale ottico che entra nel sistema WDM: per ogni link fra due router sono necessari due trasponder.

Il tipo di integrazione IP/Ottico concettualmente più semplice consiste nell’inserire l’interfaccia colorata direttamente sulle porte dei router, eliminando la necessità di usare i trasponder sul sistema WDM, come mostrato in **figura 3b**. Il vantaggio di questa soluzione è il risparmio di una coppia di trasponder, che si traduce sia in un minore investimento per l’acquisto di hardware sia in un risparmio di consumi elettrici e di spazi.
Questa soluzione presenta però alcuni problemi:

- l’interoperabilità fra le interfacce colorate di router forniti da costruttori diversi non è garantita per l’assenza di standard a livello di linea;
- la rete ottica perde le funzionalità di performance monitoring su questa lunghezza d’onda perché queste funzioni sono localizzate all’interno dei ricevitori che ora si trovano nei router, al di fuori della rete ottica; per questo motivo una lunghezza d’onda di questo tipo viene anche detta “alien wavelenght”.

Il problema del performance monitoring è stato affrontato da alcuni costruttori con l’introduzione di tecniche analogiche, basate sulla misura del rapporto segnale rumore, oppure con l’inserimento di una modulazione aggiuntiva del segnale ottico introdotta da un’apposita scheda all’ingresso del sistema WDM.
Altri costruttori hanno proposto soluzioni a livello gestionale per fare in modo che il Network Manager della rete ottica possa leggere le informazioni di performance ricavate dai ricevitori presenti nelle porte dei router.
In generale, oggi la soluzione di integrazione IP/Ottico mediante interfacce colorate sul router funziona bene in un ambiente mono-vendor, nel quale tutti i router e gli apparati ottici sono forniti dallo stesso costruttore. La sua applicazione ad un ambiente multi-vendor verrà favorita dai nuovi standard ITU sull’interoperabilità a livello di linea di un sistema WDM, almeno nel caso di reti ottiche di piccole dimensioni come quelle Metro WDM.
La disponibilità delle informazioni di performance trasmissive sulla porta del router consente, d’altra parte, di mettere in atto strategie di proac-



3
Schema di interconnessione dei router alla rete ottica con trasponder (a) e senza trasponder (b)

tive protection nelle quali lo strato IP/MPLS re-instradi rapidamente il traffico non appena rilevi un degrado delle prestazioni del link, in modo da minimizzare l’impatto sui servizi.
L’efficacia delle tecniche di proactive protection è stata dimostrata in laboratorio, ma non esiste ancora una evidenza della sua reale utilità in un ambiente di rete complesso.

Integrazione a livello di piano di controllo con GMPLS UNI

Un altro tipo di integrazione fra strato IP e strato ottico è quello a livello di piano di controllo ottenuto mediante l’interfaccia GMPLS UNI.
Lo strato IP ha un proprio piano di controllo basato sull’impiego di un insieme di protocolli di instradamento e segnalazione definiti da IETF ed indicati sinteticamente come piano di controllo IP/MPLS.
IETF ha generalizzato i protocolli del piano di controllo IP/MPLS per renderli adatti anche a reti di trasporto basate su multiplazione di tipo TDM e WDM. È nato così il piano di controllo GMPLS.
È poi stata definita un’interfaccia di segnalazione fra i due piani di controllo che consente allo strato IP/MPLS di richiedere l’attivazione automatica di una nuova connessione (lunghezza d’onda) fra le porte di due router. Questa interfaccia è detta User Network Interface, perché consente allo uno strato client (user) di chiedere alla rete ottica (network) una funzione di provisioning automatico.
L’interfaccia UNI è limitata perché non consente di specificare caratteristiche importanti della nuova connessione. Ad esempio, non è possibile richiedere che la nuova connessione abbia un percorso fisicamente separato da quello di un’altra connessione già esistente, requisito molto importante per garantire che i meccanismi di recovery del livello IP/MPLS funzionino correttamente quando si verifica un guasto a livello di rete ottica.
Per colmare questo vuoto, vari costruttori hanno sviluppato estensioni proprietarie dell’interfaccia UNI che non sono mai state standardizzate. In particolare, quelle più interessanti dal punto di vista dell’integrazione IP/Ottico sono:

- estensioni che consentono alla rete ottica di comunicare al piano

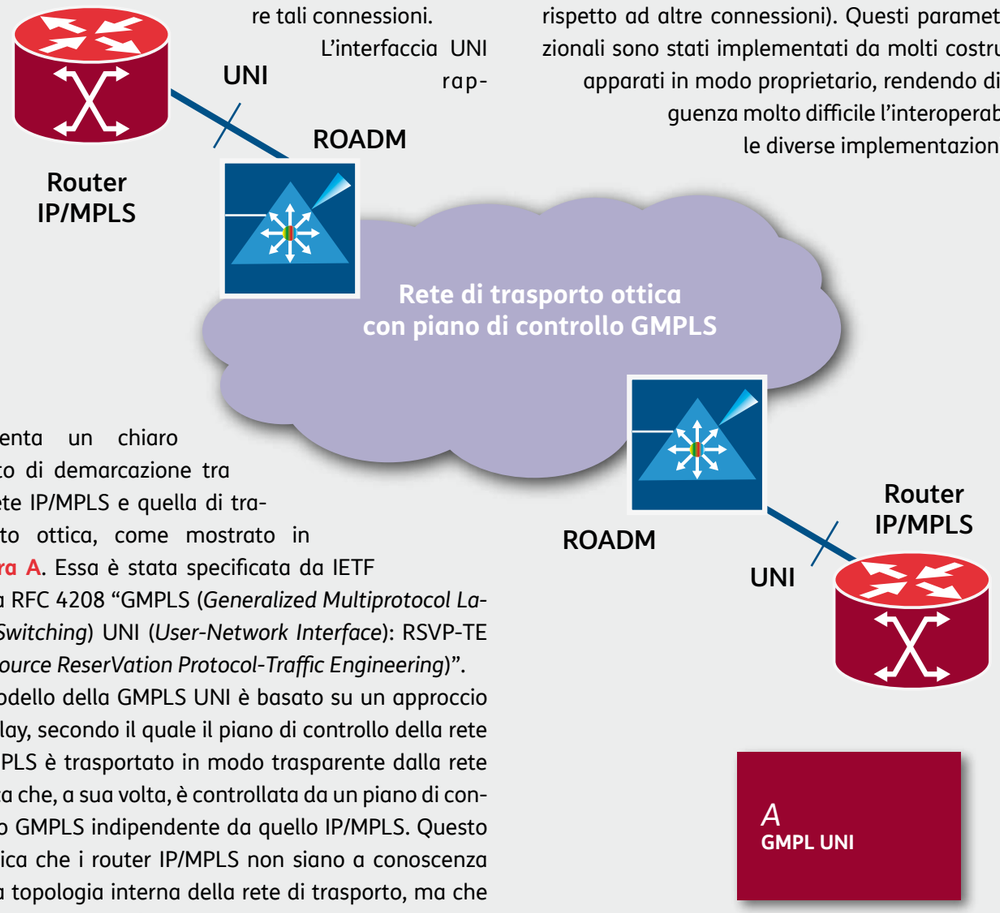
L'interfaccia GMPS UNI

La GMPLS UNI (*Generalized Multi-Protocol Label Switching User to Network Interface*) permette il provisioning automatico di connessioni tra router IP/MPLS attraverso una rete ottica di trasporto ed è stata definita con l'obiettivo di fornire uno strumento per ridurre i tempi ed i costi necessari per realizzare tali connessioni.

L'interfaccia UNI rappresenta un chiaro punto di demarcazione tra la rete IP/MPLS e quella di trasporto ottica, come mostrato in **figura A**. Essa è stata specificata da IETF nella RFC 4208 "GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) UNI (*User-Network Interface*): RSVP-TE (*Resource ReserVation Protocol-Traffic Engineering*)".

Il modello della GMPLS UNI è basato su un approccio overlay, secondo il quale il piano di controllo della rete IP/MPLS è trasportato in modo trasparente dalla rete ottica che, a sua volta, è controllata da un piano di controllo GMPLS indipendente da quello IP/MPLS. Questo implica che i router IP/MPLS non siano a conoscenza della topologia interna della rete di trasporto, ma che possano essere informati circa la raggiungibilità degli altri router attestati alla rete ottica.

La specifica RFC 4208 definisce i messaggi attraverso i quali un router può richiedere alla rete ottica l'instaurazione di una connessione, ma non definisce in dettaglio alcuni importanti parametri addizionali che possono caratterizzare una connessione (ad es.: la banda, la priorità, il tipo di protezione o la diversità di percorso rispetto ad altre connessioni). Questi parametri addizionali sono stati implementati da molti costruttori di apparati in modo proprietario, rendendo di conseguenza molto difficile l'interoperabilità tra le diverse implementazioni ■



A
GMPL UNI

Carlo Cavazzoni
carlo.cavazzoni@telecomitalia.it

IP/MPLS la topologia fisica dei collegamenti e la presenza di SRLG cioè di punti nei quali un unico guasto fisico interrompe più connessioni (ad esempio, perché due cavi diversi si trovano per un certo tratto nella stessa tubazione);
- estensioni che consentono allo strato IP/MPLS di richiedere connessioni con vincoli sull'instradamento.

L'impiego della GMPLS UNI standard consente l'interoperabilità fra router di un costruttore e rete ottica di un costruttore diverso, ma non offre grandi vantaggi a causa delle sue funzioni limitate. D'altra parte, le estensioni proprietarie alla UNI rendono le possibilità di integrazione fra i due strati di rete più interessanti, ma funzionano solo in un ambiente mono-vendor.

Integrazione mediante Transport SDN

Il concetto di Software Defined Network trova applicazione in diverse parti della rete di un operatore:
- per la gestione del networking all'interno dei Data Center utilizzati per il Cloud Computing e per ospitare funzioni di rete virtualizzate;
- per il Flexible Service Chainig all'interno dei PoP, che consente la creazione di servizi attraverso la concatenazione di una serie di blocchi elementari da utilizzare su richiesta del cliente;
- per il controllo della WAN.

Con il termine Transport SDN si intende l'applicazione dei concetti SDN ad una WAN, in particolare, all'insieme della rete IP e della rete ottica che costituiscono l'infrastruttura di connessione di una rete multiservizio.

L'impiego di T-SDN consente un'integrazione fra i due strati di rete a livello di piano di controllo, questa volta centralizzato, che supera le limitazioni della GMPLS UNI. Infatti, un controllore T-SDN che implementi la funzione di multi-layer PCE è in grado di vedere sia la topologia della rete IP che quella della rete ottica e, quindi, di gestire i percorsi in modo ottimizzato in entrambi gli strati di rete.

Le applicazioni di un multi-layer PCE sono molteplici. Quella probabilmente più semplice è la creazione automatica delle lunghezze d'onda che collegano fra loro i router, come con la GMPLS UNI. La conoscenza della topologia dello strato ottico, inclusi gli SRLG, può inoltre consentire di calcolare percorsi di traffic engineering per lo strato IP che siano ottimizzati sulla base di criteri come la minima latenza o l'affidabilità.

L'integrazione dei piani di controllo abilita anche soluzioni di multi-layer resilience, nelle quali lo strato IP e lo strato ottico collaborano per la protezione contro i guasti.

Anche nel caso della T-SDN la sfida principale consiste nel realizzare un controllore che sia in grado di operare su entrambi gli strati di rete in un ambiente multi-vendor.

Al momento iniziano ad essere disponibili controllori SDN sia per lo strato ottico che per lo strato IP, ma non esistono ancora controllori in grado di operare su di una rete multi-layer. Per lo strato IP, grazie all'attività di standardizzazione svolta da IETF, alcuni controllori SDN hanno già dimostrato in "prove di laboratorio" di essere in grado di interoperare con router di costruttori diversi.

Per lo strato ottico esistono due tipi di problemi che rendono più difficile l'interoperabilità:
- i lavori di standardizzazione dell'interfaccia southbound del controllore T-SDN sono in uno stadio meno avanzato;
- il PCE dello strato ottico deve conoscere le caratteristiche fisiche della rete per poter calcolare gli instradamenti delle lunghezze d'onda (deve tenere conto dei cosiddetti physical impairments) e queste non sono standard.

Questi problemi possono essere superati utilizzando, anziché un singolo controllore SDN per l'intera rete IP/Ottica, un'architettura gerarchica di controllori "come mostrato in **figura 4**".

In questa architettura, la rete è suddivisa in domini con caratteristiche diverse ciascuno dotato di un proprio controllore SDN. Ad esempio, si potrebbero avere diversi domini a livello ottico, uno per ciascun costruttore, ed un solo dominio multi-vendor a livello IP. L'interazione fra i diversi controllori di dominio è gestita da un livello di intelligenza

La Transport SDN

Il concetto di SDN è nato con l'obiettivo di consentire la realizzazione di una nuova architettura di rete, nella quale il controllo è completamente disaccoppiato dall'instradamento dei pacchetti (forwarding). Questo consente di avere un piano di controllo centralizzato completamente programmabile che mette a disposizione una visione astratta delle risorse di rete per lo sviluppo di applicazioni e nuovi servizi.

L'architettura di rete SDN definita da ONF (*Open Networking Forum*) è mostrata in **figura B** ed è costituita da tre livelli distinti.

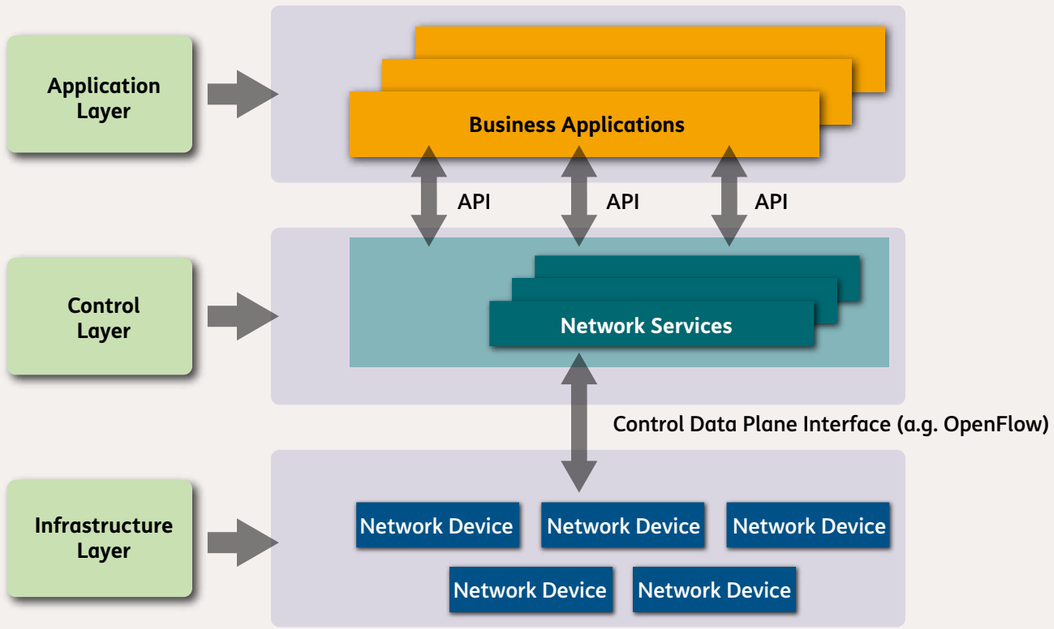
- l'Infrastructure Layer è formato dai NE (*Network Element*) che svolgono le funzionalità di commutazione (switching) e instradamento (forwarding) dei pacchetti;
- il Control Layer contiene l'intelligenza che controlla il comportamento di forwarding degli NE;
- l'Application Layer consiste in un insieme di applicazioni che servono per creare servizi, partendo dalle risorse della rete SDN.

Il confine fra Application Layer e Control Layer è realizzato attraverso un'interfaccia northbound basata su Application Programming Interface.

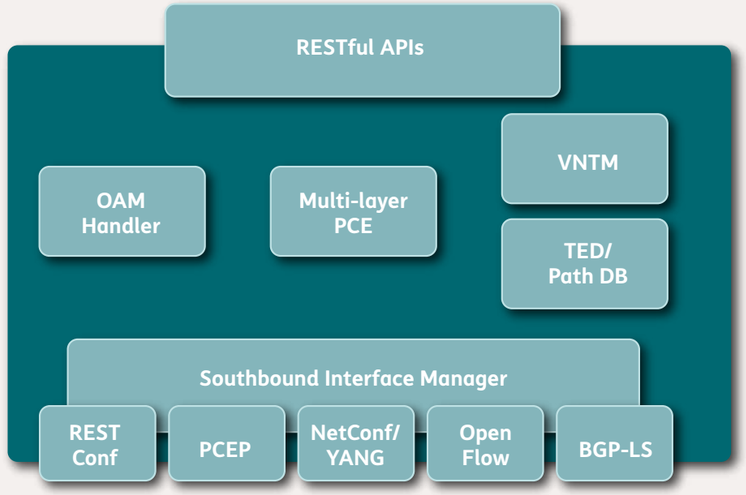
Secondo questo modello, l'architettura di una rete SDN è caratterizzata da tre aspetti fondamentali:

- **intelligenza centralizzata** Il controllo di rete è separato dagli elementi che svolgono il forwarding e la comunicazione fra queste diverse entità avviene attraverso una interfaccia southbound standard. Centralizzando l'intelligenza di rete il processo di decisione sull'instradamento risulta semplificato perché si basa su una visione globale della rete a differenza di quanto avviene nelle reti attuali dove i singoli nodi non sono a conoscenza dello stato complessivo della rete stessa;
- **programmabilità** Le reti SDN sono controllate da funzionalità software che possono essere sviluppate da fornitori diversi oppure direttamente dall'operatore di rete. La disponibilità di API che consentono alle applicazioni di interagire con la rete abilita la possibilità di innovazione e differenziazione nel campo dei servizi;
- **astrazione** In una rete SDN le applicazioni che usano le risorse operano su una visione astratta della rete sottostante. Questo garantisce la portabilità dei servizi e del software.

B
Architettura di riferimento di una rete basata su SDN
Source: Open Networking Foundation



C
Schema a blocchi funzionale di un controllore SDN secondo IETF



La versione di SDN sviluppata da ONF prevede che il controllore utilizzi il protocollo Openflow per comunicare con gli apparati e che le funzioni di controllo siano completamente centralizzate. L'approccio completamente centralizzato può presentare problemi di scalabilità in reti con un elevato numero di nodi, per questo IETF sta lavorando ad una variante di questa architettura nella quale possono convivere funzioni di controllo centralizzate e distribuite, ma vengono mantenuti i concetti di programmabilità e diastrazione delle risorse di rete.

Il modello di riferimento IETF per il controllore SDN in ambito WAN è definito nella RFC 7491 "A PCE-Based Architecture for Application-Based Network Operations" che specifica i diversi blocchi funzionali e il modo di relazionarsi verso gli elementi di rete e verso gli elementi di controllo del livello superiore, normalmente riferiti come orchestratori di rete o di servizio (**figura C**).

L'elemento centrale è il Multilayer PCE (*Path Computation Element*), cioè il motore in grado di calcolare i percorsi su strato IP e strato Ottico. La richiesta del percorso può essere ricevuta da un orchestratore (livello gerarchico superiore di una rete gestita mediante SDN), dal Virtual Network Topology Manager o dalla rete stessa (ad esempio, a seguito di un guasto è necessario ricalcolare un percorso).

Il TED (*Traffic Engineering Database*) è il database che contiene le informazioni relative alla rete, con dati relativi anche alla metrica o alla banda e allo stato di attività dei link. Il TED viene popolato con le informazioni raccolte direttamente dalla rete per mezzo del protocollo BGP-LS. Il ruolo primario del TED è quello di fornire i dati al PCE per la determinazione del percorso richiesto.

Il Path DB invece contiene le informazioni relative ai percorsi che sono stati attivati nella rete o che potrebbero essere creati. Contiene informazioni relative anche alle rotte e all'utilizzo dei path stessi, in termini di banda. Il Path DB può essere popolato con le informazioni generate localmente o raccolte dalla rete.

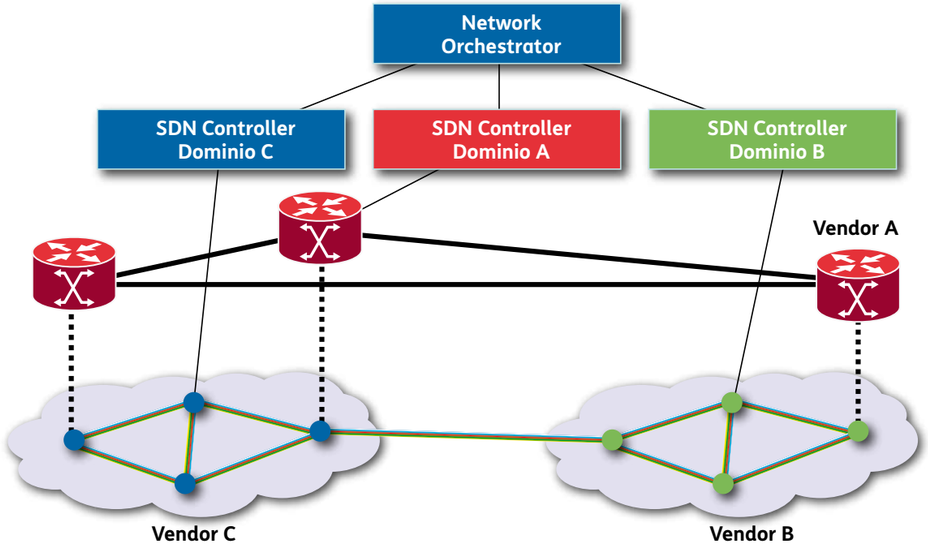
Il VNTM è l'elemento che astrae le informazioni di un livello di rete e le esporta verso il PCE.

Esiste un ulteriore elemento, l'OAM Handler , che consente di effettuare azioni di controllo del data plane mediante OAM a fini di monitoring o di testing.

Molto importante è l'insieme delle Southbound interfaces, cioè delle modalità di interconnessione agli elementi della rete. Il Southbound Interface Manager è il blocco funzionale incaricato di configurare le risorse di rete e di acquisire le informazioni dalla rete. Le operazioni di configurazione di risorse di rete può essere fatta con il protocollo Netconf (descritto in RFC6241) oppure con OpenFlow (descritto in OpenFlow Specification 1.5.0). Le richieste di attivazione di percorsi circuiti ottici e di percorsi di Traffic Engineering vengono inviate ai NE utilizzando PCEP (descritto in RFC 5557).

Il controllore SDN dialoga verso i livelli superiori mediante una interfaccia Northbound costituita da un insieme di API basate su REST ■

Chiara Moriondo
chiara.moriondo@telecomitalia.it



4
Architettura SDN gerarchica per il controllo di una rete IP/Ottico multi-vendor

superiore che svolge funzioni di orchestrazione di rete.
Un altro problema che inizia solo ora ad essere affrontato è il tema dell'interazione fra il controllo SDN e gli OSS, che risulta particolarmente rilevante nel caso della rete ottica.
Una spinta significativa per la soluzione dei problemi di interoperabilità potrebbe derivare dall'applicazione dei concetti di collaborazione tipici del mondo del software open source. Tali metodologie di lavoro hanno infatti dimostrato di essere più agili e di portare a risultati utilizzabili in applicazioni pratiche in tempi più veloci, rispetto al processo di standardizzazione tradizionale, tipico del mondo delle telecomunicazioni. Per quanto riguarda il mondo della T-SDN si segnalano in particolare le iniziative Open Daylight e Open Network Operating System che stanno sviluppando controllori SDN open source.

Conclusioni

L'integrazione della rete IP con la rete di trasporto ottica è un tema di estrema attualità a causa del ruolo sempre più importante della rete IP. Transport SDN è attualmente lo strumento più promettente per ottenere questa integrazione, anche se esistono ancora alcuni problemi da risolvere per ottenere un buon livello di interoperabilità, che consenta un vero controllo congiunto dello strato IP e dello strato ottico in un ambiente multi-vendor.
L'approccio previsto in TIM per l'introduzione della T-SDN prevede di partire dal backbone e di procedere con un'integrazione a fasi successive.
In una prima fase, il controllore SDN dello strato IP potrà disporre in sola lettura delle informazioni topologiche dello strato ottico, per ottimizzare gli instradamenti. Successivamente, con l'evoluzione degli standard e dei prodotti disponibili commercialmente, si potrebbe raggiungere una completa integrazione del controllo dei due strati ■

Acronimi

API	Application Programming Interface
BGP-LS	Border Gateway Protocol – Link State
FEC	Forward Error Correction
GMPLS	Generalized Multi-Protocol Label Switching
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
MAN	Metropolitan Area Network
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
NE	Network Element
NGCN	Next Generation Core Network
NMS	Network Management System
OAM	Operation Administration and Management
OEO	Optical/Electrical/Optical
ONF	Open Networking Forum
OPB	Optical Packet Backbone
OPM	Optical Packet Metro
OSS	Operation Support System
PCE	Path Computation Element
PCEP	Path Computation Element Protocol
PoP	Point of Presence
REST	REpresentational State Transfer
RFC	Request For Comments
ROADM	Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer
RSVP-TE	ReSerVation Protocol – Traffic Engineering
SDN	Software Defined Network
SRLG	Shared Risk Link Group
TDM	Time Division Multiplexing
TED	Traffic Engineering Database
T-SDN	Transport Software Defined Network
UNI	User to Network Interface
VNTP	Virtual Network Topology Manager
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing

Andrea Calvi *andrea.calvi@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico, in Azienda dal 1994 è attualmente responsabile della funzione di Transport and Data Network all'interno di Telecom Italia Lab, che assicura Innovazione ad Ingegneria per le tecnologie di interesse del gruppo Telecomitalia.
La responsabilità del team gestito è quella di assicurare la disponibilità a breve e medio termine delle reti ottiche, in ponte radio e delle reti IP per i servizi fissi e mobili attuali e per l'evoluzione ultrabroadband NGAN ed LTE.
Nella ventennale esperienza in Telecom Italia, si è occupato di diversi aspetti di rete, tra cui ricerca e standard (ETSI e 3GPP) in ambito reti mobili, innovazione della telefonia multimediale SIP-based (IMS), indirizzo tecnologico delle consociate Telecom Italia in Europa, responsabilità della ingegneria ed innovazione della rete mobile Telecom Italia, ingegneria ed innovazione dei modem-router DSL domestici e terminali mobili ■

Giuseppe Ferraris *giuseppe.ferraris@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico, è entrato in Azienda nel 1989 come ricercatore nel campo delle reti di trasporto. Ha partecipato alle attività di standardizzazione in ITU-T ed ETSI e a diversi progetti di ricerca finanziati dalla Comunità Europea, riguardanti le reti ottiche, occupando varie posizioni di responsabilità.
Ha proseguito la sua attività nel campo della gestione dei progetti di ricerca e poi del testing.
È tornato poi ad occuparsi di reti di trasporto ed è attualmente responsabile della funzione IP & Transport Innovations ■

EVOLUZIONE DELLA CORE NETWORK

Michele Gamberini, Mario Madella, Roberto Procopio

La Core Network di TIM sta evolvendo verso una rete multiaccesso, multiservizio e multidevice grazie alla quale il cliente potrà accedere a nuovi servizi godendo di una rinnovata user experience. Tale evoluzione sarà fortemente influenzata dalle tecnologie di NFV (Network Function Virtualization) che abiliteranno nuovi scenari di convergenza e che predisporranno la rete per l'arrivo del 5G.

Introduzione

Le reti di telecomunicazione degli Operatori stanno entrando in una fase di profonda mutazione a causa del diverso posizionamento che i Service Provider dovranno assumere nel mercato delle telecomunicazioni e della disponibilità di nuove tecnologie che richiedono, entrambi, un maggiore livello di flessibilità.

Tale evoluzione deve consentire l'abilitazione di nuovi modelli di servizio digitali. Oggi un numero crescente di clienti fa uso di applicazioni che richiedono capability di rete digitali. Essi desiderano accedere a un contenuto con le stesse modalità e con lo stesso livello di Quality of Experience, indipendentemente dalla rete di accesso utilizzata, anywhere, anytime and with any device. Le nuove reti devono, inoltre, interagire con un ecosistema più variegato e con un numero molto più elevato di stakeholders interni ed esterni: fornitori di contenuti, OTT, altri Operatori e nuovi attori sempre meno infrastrutturati (come ad esempio i MVNO (*Mobile Virtual Network Operators*).

In un contesto così differente rispetto a quello in cui gli Operatori di telefonia tradizionale sono nati ed hanno operato fino a qualche anno fa, emerge la necessità di dispiegare reti che supportino nativamente più tipologie di servizio per lo stesso cliente su differenti tecnologie d'accesso. Tali reti dovranno prevedere un livello di automazione significativamente più elevato per poter abilitare nuovi servizi in tempi drasticamente ridotti, essere in grado di adeguare la propria capacità dinamicamente ed in ottica e2e e garantire intrinsecamente livelli di ridondanza e di disponibilità superiori agli attuali.

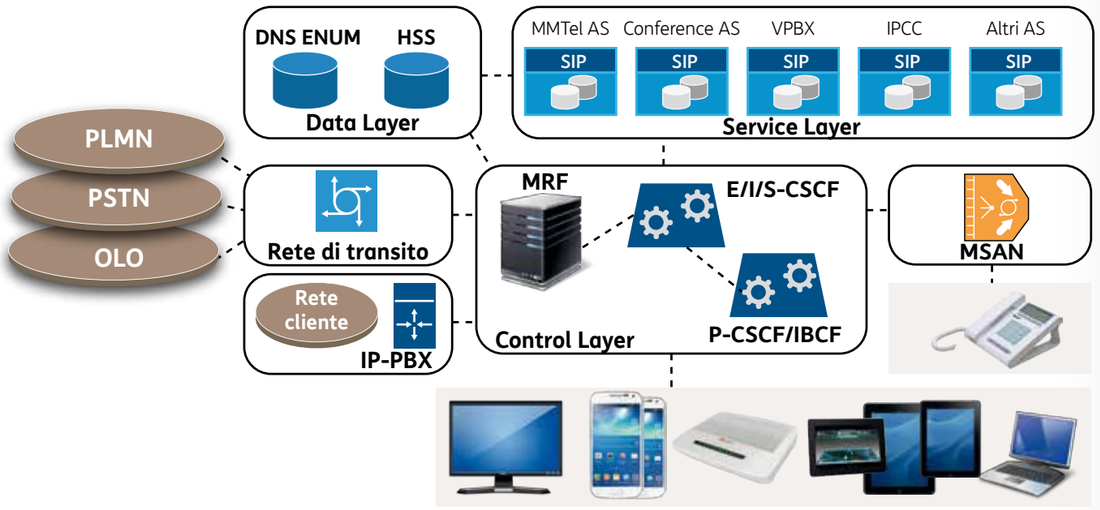
Tra i principali abilitatori tecnologici di una rete flessibile vi è sicuramente la tecnologia NFV. Una sfida che non è solo tecnologica, ma richiede una vera e propria rivoluzione organizzativa, nei processi interni ed esterni (ad esempio nella gestione dei fornitori e nei relativi modelli contrattuali), nella progettazione e nella gestione della rete, nelle competenze e nei ruoli aziendali. Ciononostante la virtualizzazione delle funzioni di rete su un'infrastruttura condivisa e multivendor costituisce un passo irrinunciabile per supportare l'evoluzione verso una rete completamente automatizzata, digitale e capace di affrontare le sfide tecnologiche del prossimo futuro.

Evoluzione di breve termine del control layer fisso di TIM

Il control layer della rete fissa di TIM sta evolvendo con l'obiettivo di ammodernare le piattaforme già esistenti abilitando nuovi modelli di servizio. In aggiunta il nuovo con-

trol layer nasce già nell'ottica di una rete multiservizio e pertanto abilita nativamente l'interazione tra le tipologie di telefonia erogate.
E' noto che la rete di controllo del dominio fisso di TIM sia nata con l'obiettivo di erogare, mediante la tecnologia IMS, servizi di telefonia multimediale ad utenza consumer broadband ed ultra-broadband oltre che ad utenza business dei segmenti microbusiness e SME e finalizzata a garantire l'erogazione di servizi di Contact Center ad una porzione significativa della Customer base di TIM. Questo percorso evolutivo è già diventato in parte realtà nelle offerte TuttoFibra e TIM Smart per il segmento d'Utenza consumer ultrabroadband e per l'espletamento dei servizi dispositivo (40916 e sos ricarica) per l'Utenza consumer mobile.
L'evoluzione di questo segmento di control layer, tuttavia, è appena iniziata ed ulteriori profonde trasformazioni sono già pianificate nel breve-medio termine, mentre altre sono attese nel lungo termine. In particolare oltre ad un progressivo arricchimento dei servizi già erogati, per esempio ad Utenza consumer e business, una delle principali linee evolutive del livello di controllo fisso di TIM, passa attraverso il consolidamento delle diverse piattaforme di rete.
Le nuove soluzioni che si stanno implementando consentiranno nel breve termine di ridurre il numero di piattaforme di rete a supporto della telefonia e della comunicazione interpersonale, garantendo oltre a significative efficienze, anche una maggiore uniformità di servizi ed un interlavoro nativo tra i servizi legacy ed i nuovi servizi.
Come evidenziato nella **figura 1**, la core IMS costituisce il principale abilitatore di questa evoluzione ed abilita l'erogazione di servizi di comunicazione interpersonale su molteplici tipologie di accessi.
L'accesso al Control Layer di nuova generazione, attualmente implementato in rete fissa di TIM, prevede già l'erogazione di servizi di telefonia multimediale ad utenti broadband (ADSL) ed ultra-broadband (FTTCab ed FTTH). In virtù dei piani di diffusione della banda larga ed ultra-larga, una porzione crescente dei clienti di rete fissa di TIM utilizzerà questa infrastruttura di controllo.
La core IMS consentirà di semplificare nel breve l'infrastruttura di rete di TIM grazie al decommissioning

1
Architettura del nuovo control layer per la rete TIM fissa



delle piattaforme di controllo delle ToIP (Telefonia over IP) precedentemente esistenti (PK3 per la clientela consumer e PK0 per le aziende) e, in parallelo, di trasferire progressivamente l'Utenza di telefonia fissa dagli accessi PSTN a quelli broadband/ultrabroadband. Ciò consentirà, in un orizzonte temporale più lungo di scaricare gradualmente la rete PSTN, abilitando un non più rinviabile rinnovamento tecnologico dell'infrastruttura di rete (con la dismissione di una porzione importante delle vecchie centrali) e diffondendo in maniera sempre più significativa un nodello di telefonia multimediale più moderno.
Va tuttavia tenuto presente che tale migrazione non si completerà in un arco temporale ragionevolmente contenuto ed inoltre continueranno ad esistere a lungo clienti che non avranno interesse a migrare da PSTN a soluzioni di tipo broadband o ultrabroadband. Per tale ragione è necessario prevedere sulla core IMS un accesso compatibile con la PSTN.
In quest'ottica, una delle principali tappe evolutive nell'immediato futuro sarà costituita dall'introduzione degli MSAN (*Multi-Service Access Node*) sui quali si provvederà ad attestare i clienti POTS tradizionali. Gli MSAN sono in grado di proporsi alla rete core IMS come un dispositivo dotato di interfaccia SIP Gm a standard 3GPP IMS. L'MSAN si farà quindi carico dell'interlavoro necessario a livello di segnalazione e di piano d'utente per garantire l'utilizzo della core IMS da parte dei clienti attestati su accessi POTS tradizionali.
L'MSAN gestisce la registrazione IMS degli utenti attestati e genera tutta la segnalazione SIP che consente il controllo della chiamata e dei servizi telefonici supplementari. A supporto della telefonia POTS tradizionale la soluzione MSAN garantisce anche la telealimentazione dell'apparato domestico, assicurando così la completa continuità della user experience.
Nella soluzione MSAN, la gestione del servizio è garantita dalla core IMS e dalle logiche applicative ad essa attestate come ad esempio l'Application Server di telefonia multimediale (MMTel AS) per accessi consumer e microbusiness oppure il VPBX per accessi business. La clientela tradizionale POTS attestata su un MSAN è quindi profilata nella core IMS, il che consentirà una migrazione agile e semplificata alla telefonia su IP quando il singolo cliente deciderà di aderire ad un'offerta broadband ed ultrabroadband.
Questo approccio fa sì che la core IMS diventi la nuova piattaforma di controllo dei servizi di comunicazione inter-personali per una porzione significativa della clientela di rete fissa di TIM. Anche perché oltre agli accessi POTS tradizionali l'evoluzione nel medio periodo prevede che anche gli accessi con IP-PBX, riservati alle aziende, possano essere attestati al nuovo control layer. Tale modello è stato specificato in 3GPP con il nome di **Business Trunking** e può essere supportato da una rete IMS in due modi differenti: Registration mode e Static mode.
In Registration mode l'IP-PBX si registra sulla core IMS ed accede ai servizi come se fosse un terminale SIP, mentre in Static mode l'IP-PBX non esegue invece alcuna procedura di registrazione e tutte le terminazioni dell'IP-PBX sono staticamente configurate nella core IMS. In assenza di una registrazione, in Static mode, la sicurezza e l'autenticazione tra IP-PBX e IMS, sono garantite facendo ricorso alle procedure di confidenzialità e cifratura proprie del TLS che devono essere eseguite prima che sia originata o terminata qualsiasi sessione tra IP-PBX e P-CSCF o IBCF.
L'attestazione alla core IMS di questo segmento di clientela, che comprende anche coloro che hanno aderito alla soluzione Nuvola Italiana con il servizio di Comunicazione Integrata, pone delle sfide tecnologiche significative legate ad una disomogenea implementazione degli standard IMS nel mercato degli IP-PBX dove prevalgono soluzioni ad-hoc per medie e grandi aziende. Tuttavia tale integrazione implica un'ulteriore semplificazione del control layer ed abilita nuovi scenari d'interlavoro di servizi di comunicazione interpersonale arricchita (ad esempio messaging, file sharing) tra segmenti di mercato differenti (ad esempio tra clienti consumer e le grandi aziende).

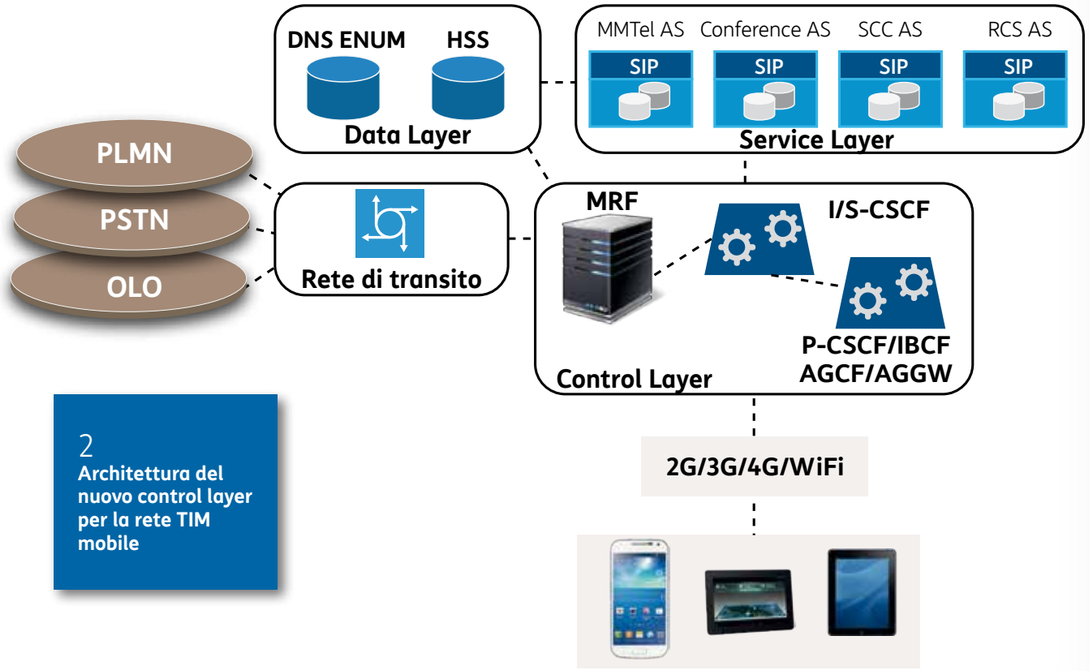
Evoluzione di breve termine del control layer mobile di TIM

Il control layer della rete mobile costituisce uno dei segmenti di rete che subiranno la maggiore evoluzione tecnologica nel breve-medio termine. I principali driver di questa evoluzione sono: il supporto di reti d'accesso sempre più performanti come ad esempio il 4G Plus (recentemente lanciato e che grazie alla tecnologia Three Carrier Aggregation consente di raggiungere fino a 335 Mbps combinando lo spettro disponibile nelle tre bande di frequenza utilizzate per LTE a 800, 1800 e 2600 MHz), l'implementazione di modelli di comunicazione interpersonale evoluti, l'incremento dell'efficienza e della flessibilità della rete al fine di ridurre il time to market e semplificarne la gestione.

I modelli di comunicazione interpersonali stanno evolvendo per supportare una user experience più ricca che non sia limitata solo al servizio voce o di messaggistica, ma che li combini in maniera da fornire un servizio integrato per il Cliente. Uno dei primi passi in questa direzione è stato il lancio nel dicembre 2015 del servizio Voce 4G di TIM basato sulla tecnologia VoLTE (Voice over LTE), basata sul control layer IMS che controlla le sessioni multimediali e gestisce la mobilità tra 4G e 2G/3G.

A supporto della mobilità, la core network IMS implementa le funzionalità di SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity). In particolare, il SCC AS (Service Centralization and Continuity Application Server) garantisce che la chiamata voce sia ancorata sulla rete IMS, al fine di controllare il trasferimento della chiamata stessa da accessi CS ad accessi PS (e quindi da 2G/3G a LTE) e viceversa. Coerentemente, in accesso sono implementate le funzionalità di ATCF (*Access Transfer Control Function*) che garantiscono l'ancoraggio della segnalazione e del piano d'utente.

Tale architettura di controllo consentirà nel breve termine di gestire



2
Architettura del nuovo control layer per la rete TIM mobile

sessioni multimediali con mobilità anche sotto **copertura WiFi** e quindi di indirizzare un trend di utilizzo dei terminali mobili sempre più polarizzato su questa tipologia di accesso. L'esperienza recente testimonia infatti che, per alcuni segmenti di clientela, un terminale d'Utente rimane accampato sotto copertura WiFi per una significativa quantità del tempo (in alcuni casi si sfiora il 50% dell'operatività giornaliera).

Il controllo delle sessioni multimediali attraverso l'accesso WiFi può essere oggi indirizzato mediante differenti soluzioni tecnologiche:

- Accesso alla EPC (*Enhanced Packet Core*) mediante reti trusted (ovvero accessi WiFi considerati a tutti gli effetti accessi dell'operatore mobile);
- Accesso alla EPC (*Enhanced Packet Core*) mediante reti untrusted (ovvero accessi WiFi forniti da altre entità ed attori);
- Accesso da internet alla rete IMS dell'operatore attraverso reti WiFi untrusted.

La prima soluzione basata su accesso trusted alla EPC, è stata scarsamente implementata su scala globale e normalmente è finalizzata a fornire la capacità extra necessaria per servizi dati in aree ad alto traffico. Gli altri due modelli di accesso basati su coperture untrusted sembrano invece costituire le soluzioni che si stanno affermando.

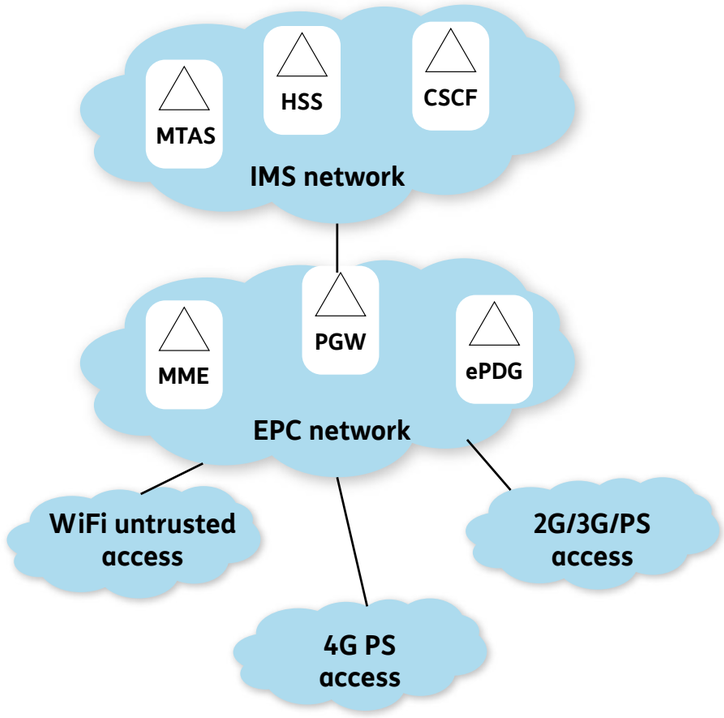
In particolare la seconda soluzione è conosciuta anche col nome di WiFi calling e prevede (come indicato in **figura 3**) che la rete WiFi untrusted sia gestita dalla EPC mediante l'introduzione di una nuova funzionalità logica denominata ePDG (*Evolved Packet Data Gateway*).

Secondo quanto definito nello standard 3GPP l'ePDG consente di rendere sicuro l'accesso alla rete mobile dalla rete WiFi mediante l'utilizzo di un tunnel IPsec. Tale architettura abilita anche la mobilità tra gli accessi 2G/3G/4G e quello WiFi.

Il secondo modello di accesso alla rete IMS da copertura WiFi untrusted, prevede che la rete IMS accetti gli accessi dalla Internet sulla quale sono attestate quegli accessi. Questo scenario è implementato quando il traffico delle applicazioni IMS è generato dai terminali d'Utente sugli stessi APN utilizzati per la navigazione Internet. In questo caso, se il terminale d'utente si accampa su una copertura WiFi untrusted, diventa necessario esporre la rete IMS su Internet, al fine di garantire l'accesso alle applicazioni IMS dell'Operatore.

L'evoluzione della comunicazione interpersonale prevede, oltre ad una digitalizzazione del servizio

3
Schema di principio del WiFi Calling



voce, anche una revisione ed estensione delle tipologie di servizio per la messaggistica. In quest'ottica il piano di evoluzione della core network prevede, tramite apposito Application Server, di abilitare a breve il framework dei servizi RCS (*Rich Communication Suite*). L'intera suite di servizi prevede:

- Servizi di chat 1-to-1 e 1-to-n;
- Condivisione di file, immagini, audio e video preregistrati;
- Condivisione di immagini e video in near real time durante una comunicazione telefonica;
- Condivisione della geo-localizzazione del cliente.

La mimica di servizio prevede che a differenza di oggi sia possibile visualizzare sulla rubrica tutti i servizi supportati da ciascun contatto visualizzato, grazie ad un servizio di rete denominato Discovery Capabilities che consentirà a ciascun terminale di realizzare il "discovery" delle funzionalità supportate dal terminale di ciascun contatto presente in rubrica. Il cliente potrà quindi decidere se iniziare o meno un servizio verso un proprio contatto sulla base di quanto evidenziato sulla rubrica.

Un ulteriore arricchimento della user experience sarà garantita dall'introduzione del servizio ViLTE (*Video over LTE*) secondo quanto definito nella GSMA IR.94. Il video non richiederà, a differenza dell'RCS, il dispiegamento di nuovi blocchi funzionali dell'IMS. Tuttavia qualche impatto è previsto sulla core network IMS, in particolare per il supporto dei codec video.

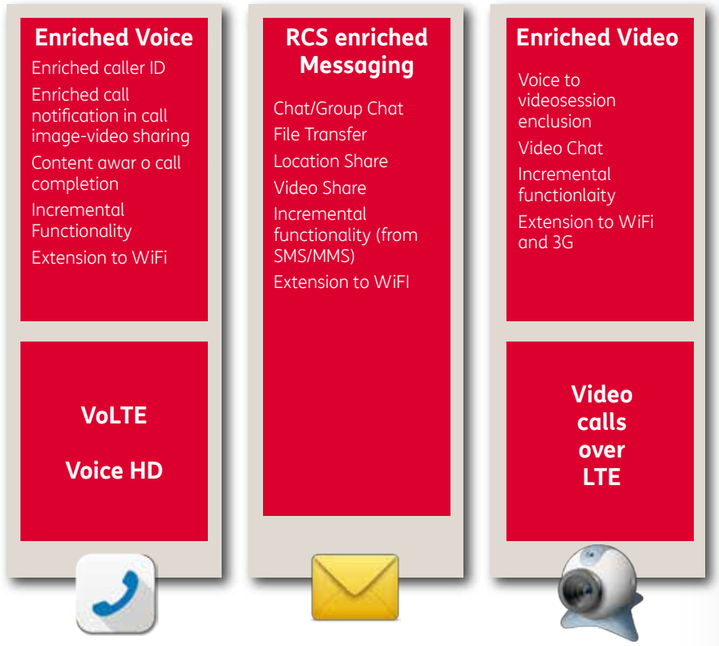
Sempre nell'ottica del miglioramento dell'esperienza del cliente nell'accesso ai servizi di comunicazione interpersonale è prevista l'introduzione del paradigma di **Enriched Calling** recentemente definito in GSMA.

Come schematizzato in **figura 4**, il nuovo paradigma prevede oltre alle prestazioni RCS e ViLTE:

- una fase di pre-call nella quale il cliente chiamante può selezionare una serie di informazioni (priorità, foto, testo) che possono indicare al chiamato la ragione della telefonata;
- una fase di post call, nella quale per le chiamate perse è possibile fornire dalla stessa user interface una serie di informazioni (foto, testo) che possono evidenziare al chiamato la ragione della telefonata;
- enhanced call log che raccoglie nella cronologia delle chiamate tutte le informazioni associate alle chiamate ed ai tentativi di chiamata.

Tale modello di servizio non richiede l'introduzione di nuove funzionalità aggiuntive nella core network IMS e rappresenta un esempio di come gli abilitatori di servizio presenti in rete possano essere combinati per creare ed implementare nuovi servizi.

4
Modello di servizio dell'Enriched Calling



La continua crescita di connessioni dati, pone dei requisiti nuovi e sempre più sfidanti. Oltre all'evidente impatto dimensionale derivante dalla crescita del traffico, occorre gestire adeguatamente gli spazi di indirizzamento riservati all'utenza. L'accesso sempre più spinto alle applicazioni che richiedono la connettività dati su rete mobile tenderanno ad incrementare il consumo degli indirizzi IP, non solo per il comportamento always on delle connessioni, ma anche per la necessità di instaurare connessioni multiple dallo stesso dispositivo d'utente.

Ad esempio applicazioni IMS richiedono sui terminali l'instaurazione contemporanea di più PDP context: uno per il traffico Internet, uno per la segnalazione SIP e per il traffico utente (RTP ed MSRP) ed uno per la configurazione dei servizi supplementari. Il consumo dello spazio d'indirizzamento IP procede quindi a velocità sempre più elevate. Per evitare di esaurire gli indirizzi, una delle innovazioni tecnologiche da introdurre a breve termine, su tutta la rete ed in particolare nel control layer della rete mobile di TIM, sarà rappresentata dall'indirizzamento **IPv6**.

L'introduzione di questa tecnologia deve essere valutata in logica end-to-end, in quanto, oltre che sullo strato di controllo, sono attesi una serie di impatti anche sui segmenti di rete adiacenti. Alcuni standard, come per esempio il VoLTE, prevedono mandatoriamente (nello specifico nella Specifica Tecnica GSMA IR.92) l'instaurazione di PDP context dual stack IPv4v6. In caso di assegnazione di entrambi gli indirizzi IPv4 ed IPv6, il terminale deve obbligatoriamente utilizzare l'indirizzo IPv6. Questo approccio garantisce che i terminali ed i dispositivi di rete siano già predisposti per il supporto di IPv6. In ogni caso, l'Operatore è chiamato a svolgere un significativo lavoro di integrazione in ottica di catena e2e, che deve includere oltre a device e core network, anche i sistemi di OSS/BSS, la soluzione di Lawful Interception e la rete di trasporto.

Un significativo impatto è atteso anche sull'interazione con le altre reti dell'Operatore e con quelle esterne, a partire da quelle degli Operatori interconnessi. Tale integrazione può essere realizzata o attraverso il supporto nativo di IPv6, o mediante soluzioni di ALG e NAT che consentono di garantire l'inter-lavoro tra IPv6 e IPv4.

In una rete nativamente basata su IP, dall'accesso, al control ed al service layer diventa necessario prevedere che l'interazione con gli altri Operatori e con altri attori come fornitori di contenuti ed OTT debba necessariamente essere basata su IP. Nel breve-medio termine si assisterà alla realizzazione delle prime soluzioni di interconnessione IP dalla rete core mobile di TIM. A differenza dell'interconnessione tra Operatori fissi, nella quale l'interconnessione IP è realizzata in SIP e SIP-I unicamente in sostituzione della tradizionale interconnessione TDM, tra Operatori mobili l'interconnessione IP assume una valenza più estesa.

In ambito mobile gli Operatori avranno la possibilità di dispiegare due tipologie differenti d'interconnessione IP:

1) un'interconnessione sostituiva dell'esistente interconnessione TDM, prevalentemente dedicata ai servizi di telefonia. Si tratta di una soluzione dispiegata tipicamente per evitare ulteriori investimenti sulla tecnologia TDM, nei casi in cui si renda necessario realizzare un ammodernamento della rete (ad esempio di transito) per sopravvenuta obsolescenza tecnologica. Pur essendo possibile realizzare quest'interconnessione con protocolli SIP e SIP-I, la scelta prevalente è il SIP-I a causa della capacità di preservare i servizi e le prestazioni già dispiegati su TDM. Infatti il SIP-I ha la prerogativa di incapsulare l'ISUP usato per l'interconnessione TDM e di trasportare nativamente eventuali estensioni nazionali del protocollo.
2) Una nuova interconnessione per i servizi VoLTE, ViLTE ed RCS. Si tratta di una soluzione che non nasce per la sola telefonia, ma costituisce un abilitatore di tutti i servizi di comunicazione multimediale. Questa interconnessione è basata sul SIP che costituisce l'unico protocollo capace di supportare tali tipologie si servizio.

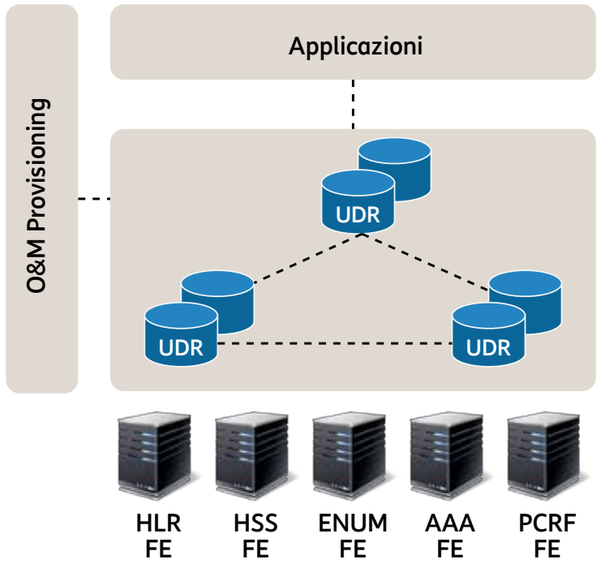
E' presumibile che le due soluzioni non potranno essere fuse in un'unica tipologia d'interconnessione nel breve-medio termine. Infatti nei due casi è necessario implementare profili di segnalazione differenti ed è possibile che siano supportati in futuro differenti modelli di business. Esisterà quindi un transitorio significativamente lungo nel quale le due soluzione d'interconnessione coesisteranno e potranno essere utilizzate per lo stesso utente in maniera controllata dagli Operatori di origine e terminazione.
Il dispiegamento dell'interconnessione IP produrrà un miglioramento della qualità della voce chiaramente ed immediatamente percepibile, in quanto i codec ad alta qualità (codec WB-AMR, WideBand Adaptive Multi-Rate) potranno essere supportati in logica e2e nel caso di caso di chiamata tra clienti di operatori diversi.

Aspetti comuni nell'evoluzione di breve termine del control layer fisso e mobile di TIM

Nel percorso evolutivo di breve termine anche le soluzioni tecnologiche utilizzate per i **database di rete** subiranno un'evoluzione significativa. In particolare si consoliderà la tendenza che porta a separare il dato d'utente dalle applicazioni che utilizzano il dato stesso, sulla base della cosiddetta architettura UDC (User Data Covergence).
In **figura 5** è rappresentato lo schema funzionale di tale architettura che prevede i dati del profilo cliente contenuti all'interno degli UDR (*Unified Data Repository*). Gli UDR sono ridondati sul territorio e sono capaci di sincronizzarsi molto velocemente quando si verifichino delle variazioni del profilo d'utente. I FE (*Front End*) dataless consentono l'interazione con il resto della rete e contengono le logiche applicative e protocollari che utilizzano i dati cliente contenuti nell'UDR. La nuova soluzione architetturale prevede che specifiche applicazioni possano riutilizzare i dati presenti nell'UDR ad esempio per esporre parte del profilo cliente a terze parti oppure per sviluppare nuovi servizi.

I dati del profilo cliente, che in precedenza erano distribuiti su differenti database, saranno quindi consolidati all'interno di un unico repository indipendentemente dal dominio di rete che li utilizzerà, semplificando le catene di provisioning ed eliminando rischi di duplicazioni e sovrapposizioni dei dati stessi.
L'evoluzione dei database di rete verso l'architettura layered avverrà in maniera graduale nei prossimi anni. I primi network element che potrebbero migrare sulla nuova tecnologia sono l'HSS IMS, l'HSS LTE, il

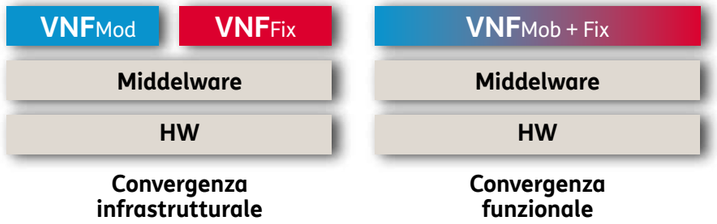
5
Schema funzionale dei database di rete



PCRF e l'ENUM, che pur sostenendo dei servizi consolidati in rete e che acquisteranno una rilevanza sempre maggiore, non presentano ancora un livello di interazione con il resto della rete comparabile con quello di nodi come l'HLR ed il AAA.

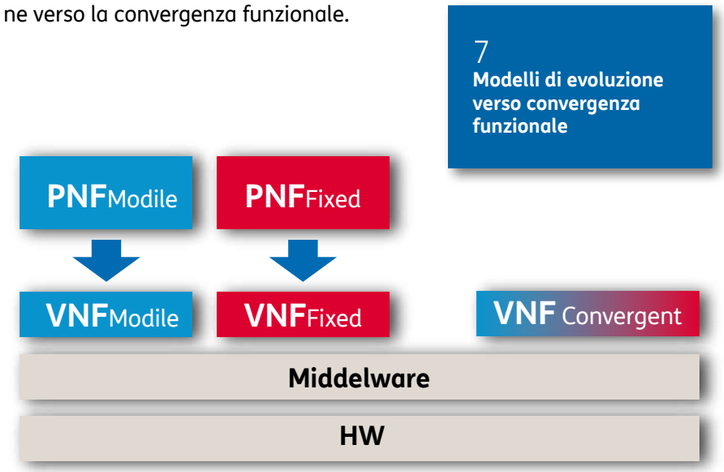
Evoluzione di medio-lungo termine

Oggi è sempre più forte la tendenza degli Operatori a vendere in bundle ai propri clienti offerte comprensive di molteplici servizi. E' tipico ad esempio associare in un unico pacchetto commerciale le offerte di telefonia e dati fisse e mobili. L'offerta TIM Smart raccoglie in un'unica offerta quadruple play, oltre alla telefonia ed ai dati da rete fissa e mobile anche l'accesso ai contenuti multimediali di TIM Vision. Tali offerte tendono a non essere più specifiche dell'accesso che il Cliente utilizza per accedere a un determinato servizio o a un'applicazione e tendono ad unificare la proposizione commerciale verso il Cliente stesso, che potrà gestire con un'unica sottoscrizione ed in maniera dinamica oltre al proprio bundle e profilo anche quello degli altri membri del proprio nucleo familiare o dei componenti della sua azienda. Le previsioni indicano che questo approccio sarà sempre più adottato e consolidato, offrendo al Cliente, nella stessa offerta commerciale, una proposizione sempre più innovativa e personalizzata.
In questo contesto la rete dovrà avere una cognizione del Cliente differente da quella in essere oggi nelle reti degli operatori Telco. Finora infatti la profilatura del Cliente in rete è stata legata alla singola sottoscrizione che è normalmente legata all'accesso utilizzato e al servizio offerto dall'Operatore. In rete esiste una profilatura del cliente per l'accesso broadband mobile, che in generale è differente dalla profilatura dell'utente per l'accesso broadband fisso. Le profilature esistenti, in molti casi, non hanno una diretta correlazione in rete, impedendo di fatto di identificare univocamente il cliente. L'abilitazione di scenari commerciali e di servizio digitali rende quindi necessario unificare la profilatura in rete del cliente.
Le piattaforme di Core Network della rete di TIM dovranno pertanto essere ingegnerizzate d'ora in avanti tenendo in considerazione questo importante driver evolutivo. L'evoluzione tecnologica verso l'architettura UDC, precedentemente descritta, consente di preparare ed abilitare l'unificazione del profilo d'Utente, attraverso la realizzazione di database non specifici per tipologia d'accesso. L'UDR costituisce infatti un esempio di entità di rete nella quale è possibile implementare una **convergenza funzionale.** In altri termini, una sola istanza di UDR può essere utilizzata per contenere i profili di tutte le tipologie di utenza.
La convergenza funzionale dell'UDR non comporta necessariamente la convergenza funzionale anche dei Front End associati (vedi **figura 5)**. Ad esempio nel caso dell'HSS IMS FE, in alcuni scenari, potrebbe risultare tecnicamente più sostenibile avere ancora FE dedicati al dominio IMS fisso e mobile per semplificare l'operatività della rete. Ad esempio in caso di cambio di SW release, avere FE dedicati consentirebbe di poter effettuare l'aggiornamento su un solo dominio senza influenzare l'operatività degli altri. Inoltre nel dominio mobile, a differenza di quanto accade nel dominio fisso, è richiesto che HSS IMS FE ed HSS LTE FE interagiscano all'interno della stessa istanza logica per garantire la prestazione di SRVCC.
Negli scenari (come ad esempio per l'HSS IMS FE), in cui una funzionalità non può essere dispiegata prevedendo una convergenza funzionale, è possibile prevedere comunque una convergenza infrastrutturale sullo stesso HW fisico (nell'ambito dei siti NFV) della stessa funzionalità logica, che però rimane specializzata per il dominio fisso e mobile. La **figura 6** rappresenta i due casi di convergenza descritti rispettivamente per i FE e per l'UDR.
La tecnologia NFV costituisce un potente abilitatore per entrambe le forme di convergenza, ma per quella infrastrutturale rappresenta una precondizione necessaria. Infatti con NFV, la medesima infrastruttura di Telco Data Center può essere utilizzata per dispiegare differenti



6
Modelli di convergenza infrastrutturale e funzionale

istanze della stessa VNF con eventi vantaggi di operatività e di disegno della rete.
La convergenza funzionale può anche essere dispiegata su istanze fisiche PNF (Physical Network Functions), ovvero non virtualizzate, ma al fine di garantire un percorso più graduale verso la convergenza funzionale è comunque raccomandabile applicare anche in questo caso un approccio NFV. Nella **figura 7** è evidenziato un percorso di evoluzione verso la convergenza funzionale.



7
Modelli di evoluzione verso convergenza funzionale

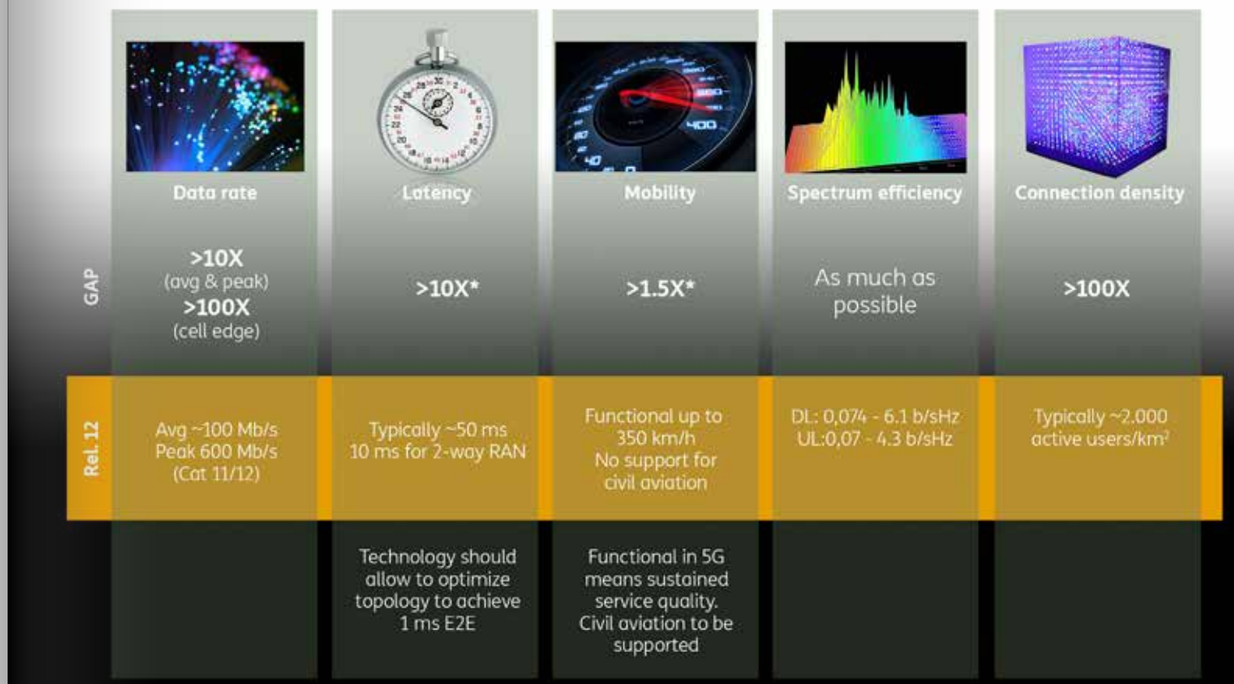
La **figura 7** indica come delle PNF dedicate al mobile ed al fisso possano migrare ad un'architettura NFV e trasformarsi quindi in VNF. Ciò consente di non modificare significativamente le soluzioni già dispiegate preservando user experience e l'interazione con gli altri segmenti di rete. Al momento in cui sarà disponibile una proposizione commerciale o offerta convergente, sarà poi possibile dispiegare una VNF convergente (approccio di convergenza funzionale) sulla stessa infrastruttura NFV, in maniera estremamente flessibile con notevoli vantaggi sull'operatività.

Da quanto detto quindi, appare evidente come **NFV costituisca l'abilitatore naturale della convergenza** delle funzionalità di rete e rappresenti un passo evolutivo essenziale per il control layer. Oltre ai database di rete, nel medio termine è prevedibile assistere ad un processo di convergenza delle funzionalità di core network ed in particolare di quelle IMS.
Come evidenziato nelle Figure 1 e 2, l'architettura IMS dei domini fisso e mobile di TIM è molto articolata e l'evoluzione verso architetture convergenti basate su tecnologia NFV è altrettanto complessa da prevedere. Tuttavia è già possibile fare delle considerazioni di base su alcune funzionalità. Ad esempio per quanto riguarda le funzionalità di accesso ad IMS (ovvero IBCF e P-CSCF) è presumibile che l'approccio che si adotterà in futuro sarà la convergenza infrastrutturale in quanto tali funzionalità sono molto dipendenti dalle specificità degli accessi fissi o mobili. Inoltre per accessi mobili queste funzionalità sono spesso associate a funzionalità di ATCF ed ATGW per il controllo delle procedure di SRVCC.
Nella core network IMS è però possibile individuare un insieme di funzionalità logiche sulle quali applicare i principi di convergenza funzionale. In particolare le funzionalità per il controllo delle sessioni (I-CSCF, S-CSCF, BGCF), per la risoluzione di nomi e numeri telefonici (DNS, ENUM) e quelle per il controllo dei servizi (come ad esempio l'MMtel AS ed il Conferencing AS) possono essere considerate comuni ai domini fisso e mobile. Ciò presuppone ovviamente che anche le catene di OSS e BSS abbiano una struttura convergente.
Per le funzionalità che gestiscono il piano d'utente, come ad esempio MRFP ed IM-MGW, sarà necessario attendere una maggiore maturità tecnologica della tecnologia NFV, ma in quella fase è presumibile che sia conveniente procedere verso una convergenza funzionale.

Evoluzione in chiave 5G

Poco meno di quattro anni è l'arco temporale previsto per l'introduzione del nuovo standard delle reti di comunicazione di quinta generazione (5G), che consentirà di rimuovere molte delle limitazioni prestazionali e di servizio imposte dalle attuali tecnologie. Le nuove reti abiliteranno trasferimenti dati in modalità ultra-veloce con prestazioni stabili e sostanzialmente invarianti nel tempo e nello spazio, ma non solo: infatti la transizione da 4G a 5G può essere vista come il passaggio dalla comunicazione dei contenuti alla comunicazione delle azioni di controllo, che consentirà di interagire da remoto e in completa affidabilità con i dispositivi più disparati, come auto, dispositivi medici, robot, droni grazie a latenze ridotte a pochi millisecondi.
Parecchie sono state le organizzazioni che negli ultimi anni, anche sotto la spinta di alcuni governi (Corea e Giappone si sono posti come obiettivo di presentare servizi di nuova generazione già in occasione dei giochi olimpici del 2018 e del 2020), hanno prodotto linee guida sul 5G; tra queste ricordiamo: Next Generation Mobile Networks (NGMN), 4G Americas, Chinese IMT-2020 (5G) Promotion Association, ITU-R WP5Ds, Korea's 5G Forum, GSMA, il progetto europeo METIS.
I principali requisiti tecnologici per il 5G indicati ad esempio da NGMN [1] sono rappresentati in **figura 8**, ove sono riportati per confronto i valori caratteristici del 4G.

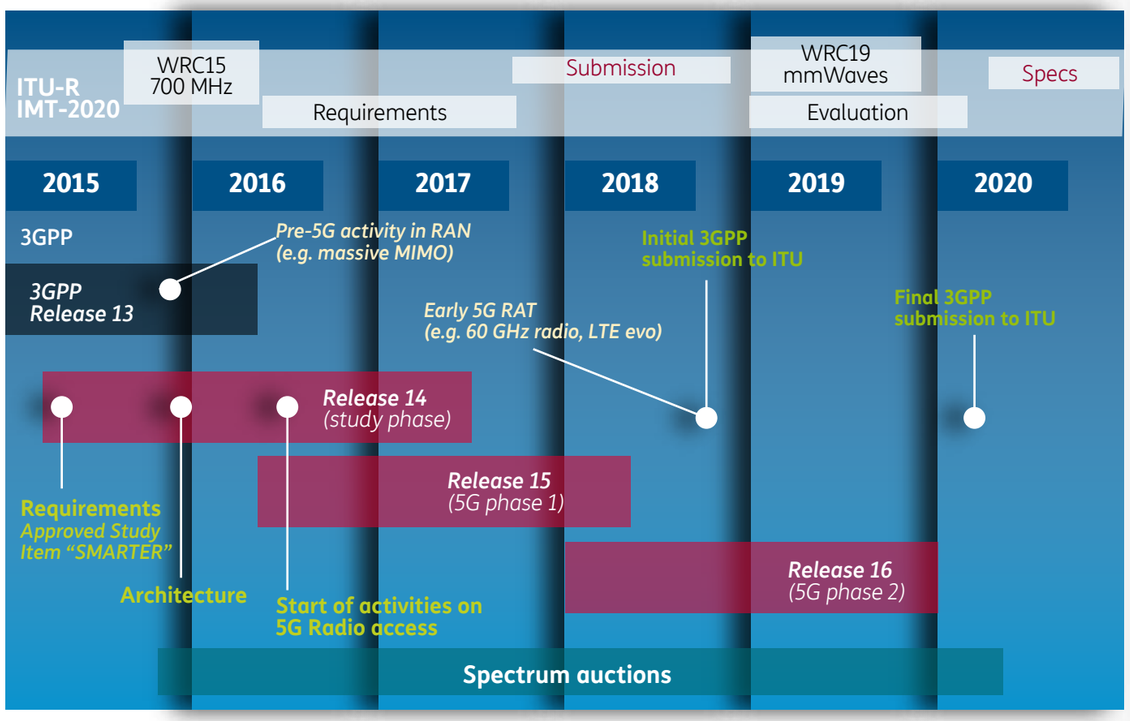
8
Requisiti tecnologici per il 5G secondo NGMN



Gran parte di questi requisiti sono stati recepiti dal 3GPP (l'ente dove viene definito lo standard ufficiale per le reti di quinta generazione) nell'ambito dell'attività di studio che va sotto il nome di SMARTER (*New Services and Markets Technology Enablers*), iniziata nel marzo 2015 nel gruppo di lavoro SA1 e diviso in due fasi.

Nella prima fase sono stati documentati nel TR 22.891 [2] di Release 14 numerosi scenari d'uso di alto livello e i relativi potenziali requisiti di servizio per il 5G, identificando i segmenti di mercato e le nuove opportunità di business non realizzabili attraverso l'attuale tecnologia 4G. Questa fase si è praticamente conclusa, essendo già stati selezionati gli scenari d'uso ed i requisiti che rivestono maggior priorità per operatori e manifatturiere, ed è iniziata la seconda fase dove detti scenari saranno descritti nel dettagliato, per arrivare alla loro definizione a livello normativo nella Release 15 del 3GPP. Il focus di questa seconda fase sarà pertanto centrato su scenari caratterizzati da elevata velocità trasmissiva e dalla pervasività dei servizi (vedi TR 22.863 [3] e TR 22.864 [4]) e sui cosiddetti "Verticals", cioè tipologie di servizio caratterizzate da requisiti peculiari e molto stringenti. In particolare si approfondirà il supporto delle Critical Communications (TR 22.862 [5]), definite tali in quanto devono garantire in ogni situazione, anche la più estrema, le comunicazioni ad esempio tra agenti di forze dell'ordine, squadre di polizia, vigili del fuoco, facendo leva anche sulla comunicazione diretta tra terminali; inoltre particolare attenzione verrà posta al fenomeno che sta letteralmente esplodendo in questi ultimi anni, ovvero la connessione ad Internet di dispositivi prima isolati che danno vita all'Internet of Things (TR 22.861 [6]): la previsione di miliardi di dispositivi connessi infatti imporrà alla rete di gestire enormi carichi di segnalazione, che dovrà essere resa quanto più "leggera" possibile per limitare il consumo energetico di dispositivi come sensori che devono continuare a funzionare per anni senza sostituzione della batteria.

9
Roadmap di massima delle attività 3GPP verso il 5G



Per soddisfare i requisiti di servizio sopra citati sono da poco iniziate in 3GPP altre attività di studio per la definizione di una nuova RAT (*Radio Access Technology*), in grado di sfruttare anche frequenze al di sopra dei 6 GHz (fino 100 GHz), e di una nuova CN (*Core Network*).

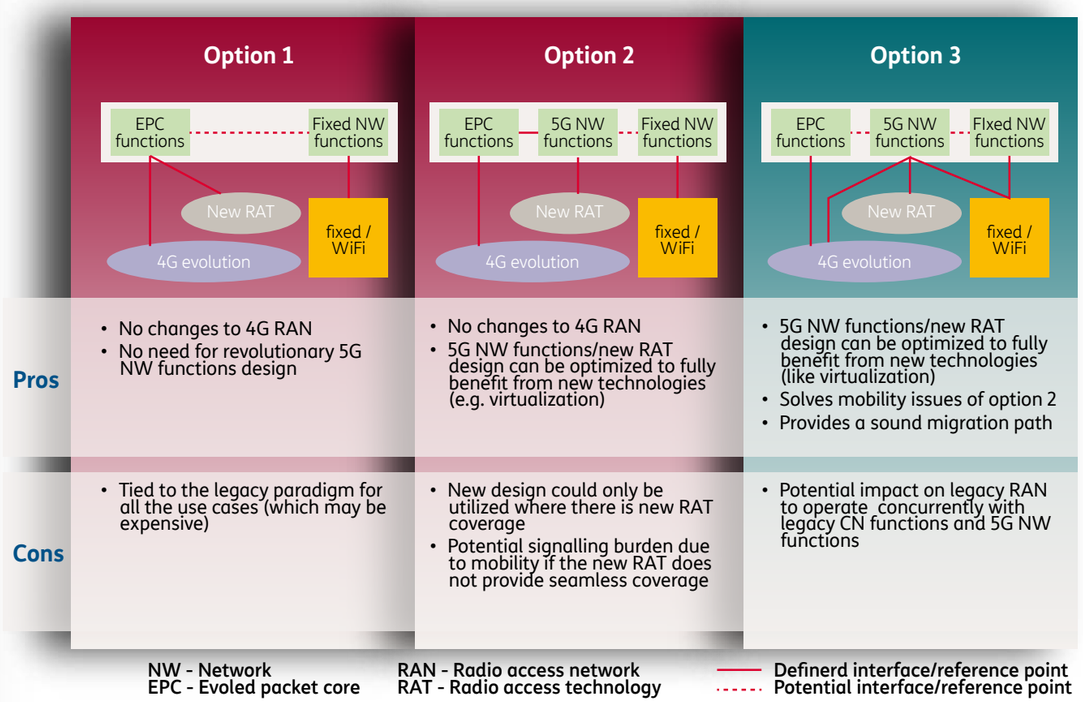
In **figura 9** è riportata la roadmap di massima delle attività 3GPP che porteranno alla definizione delle specifiche delle nuove reti di quinta generazione.

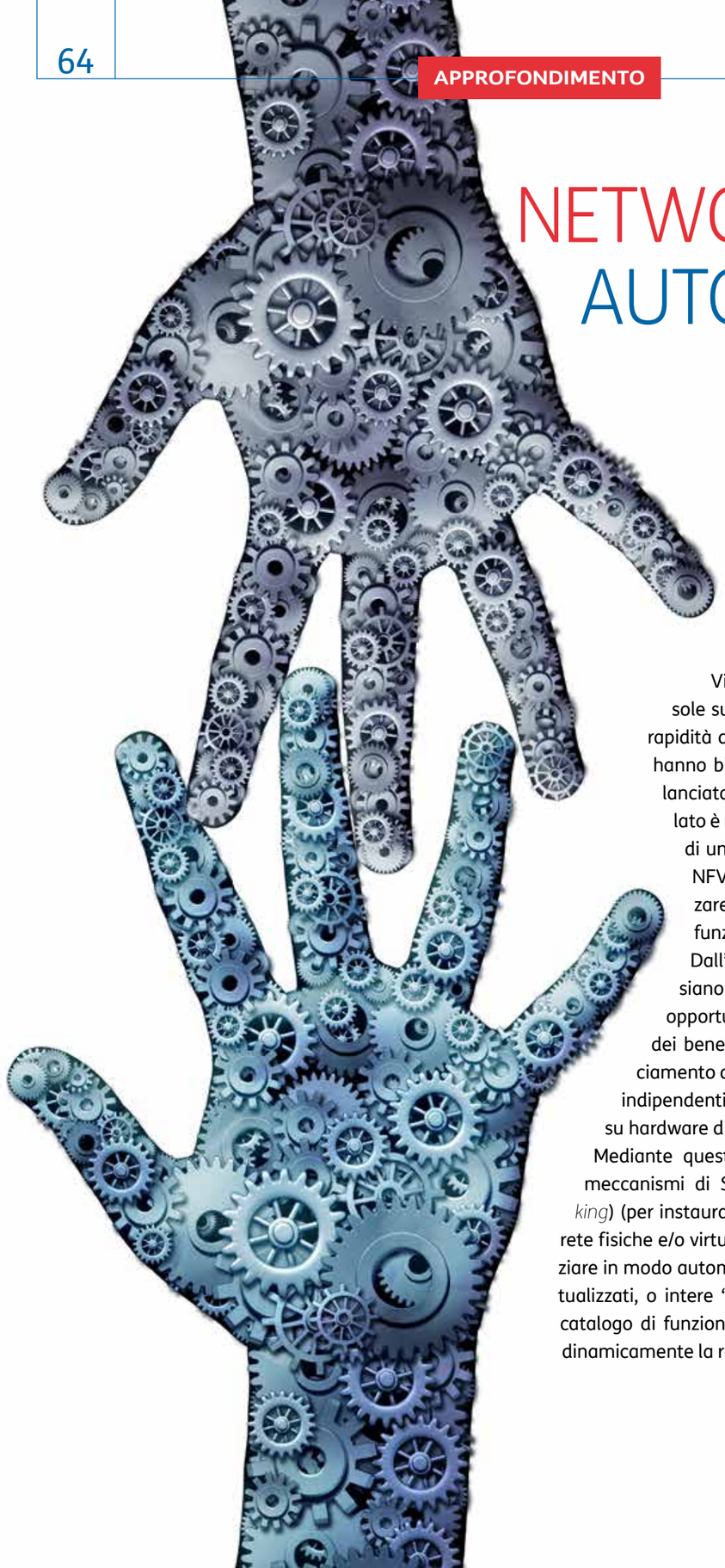
L'attività per la definizione della nuova CN ha mosso i suoi primi passi in 3GPP nel Novembre 2015 nel gruppo di lavoro SA2 con il TR 23.799 [7]. Non è ancora chiaro se la nuova architettura di rete rappresenterà un'evoluzione oppure una rivoluzione rispetto alla CN 4G, perché siamo ancora nella fase in cui si stanno traducendo i requisiti di servizio identificati in SMARTER in requisiti architetturali e si sta cercando di concordare tra le varie aziende presenti in 3GPP i capisaldi sui quali si fonderà il disegno della nuova CN.

In particolare è stato stabilito che la nuova CN dovrà supportare nativamente non solo LTE Advanced (evoluzione dello standard Long Term Evolution) e il nuovo RAT 3GPP cui si accennava sopra, ma anche tipologie di accesso non-3GPP, quali il Wi-Fi; dovrà inoltre essere accessibile dalla rete fissa, come ben illustrato nella Option 3 della **figura 10**, raccomandata da NGMN come scelta da preferire nel loro white paper [1]. Non sembra essere invece richiesto di agganciare direttamente alla nuova CN accessi 3GPP GERAN (2G) e UTRAN (3G): non sarebbe quindi possibile un seamless hand-over tra un accesso 2G/3G ed uno 5G, anche se la mobilità inter-RAT sarebbe comunque garantita sotto forma di cell reselection.

La CN 5G realizzerà pertanto in modo nativo la convergenza fisso-mobile e dovrà consentire ad un terminale che utilizzi contemporaneamente diverse tecnologie di accesso di instaurare connessioni multiple simultanee a una molteplicità di servizi estremamente eterogenei, sia in termini di velocità di trasmissione (si va dagli svariati Mbit/s dello streaming video ad alta definizione ai pochi bit al giorno o al mese di un

10
Opzioni di interfacciamento delle tecnologia di accesso alla Core Network



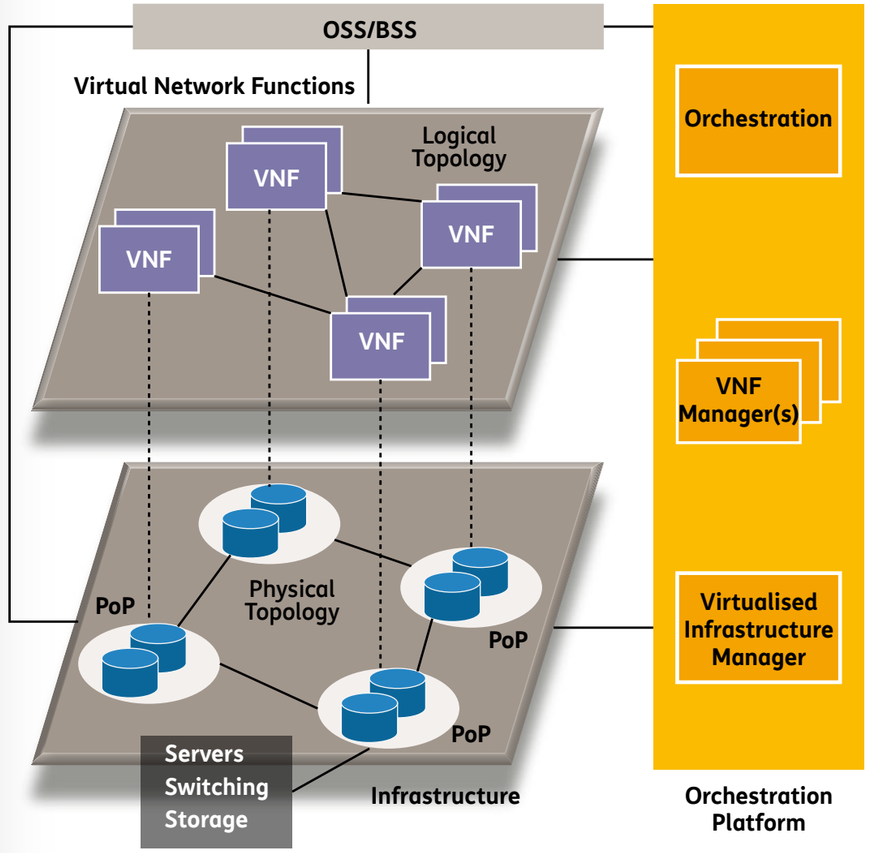


NETWORK AUTOMATION

Ivano Guardini
ivano.guardini@telecomitalia.it

Per quanto le tecnologie di virtualizzazione siano l'essenza della Network Functions Virtualisation esse non sono da sole sufficienti a garantire l'agilità e la rapidità di esecuzione di cui gli Operatori hanno bisogno per rispondere alla sfida lanciata dagli OTT (*Over The Top*). Da un lato è necessario che l'operatore si doti di una piattaforma di orchestrazione NFV adeguata al fine di automatizzare la gestione del ciclo di vita delle funzioni di rete virtualizzate (VNF). Dall'altro occorre che le VNF stesse siano realizzate con un'architettura opportuna per poter godere appieno dei benefici della virtualizzazione: bilanciamento di carico su componenti software indipendenti dispiegabili trasparentemente su hardware distribuito.

Mediante queste soluzioni, ed avvalendosi di meccanismi di SDN (*Software Defined Networking*) (per instaurare la connettività tra funzioni di rete fisiche e/o virtualizzate, l'operatore potrà istanziare in modo automatico nuovi elementi di rete virtualizzati, o intere "network slice", a partire da un catalogo di funzionalità elementari o riconfigurare dinamicamente la rete al variare del carico, abilitando tempi di erogazione del servizio impensabili con i meccanismi tradizionali.



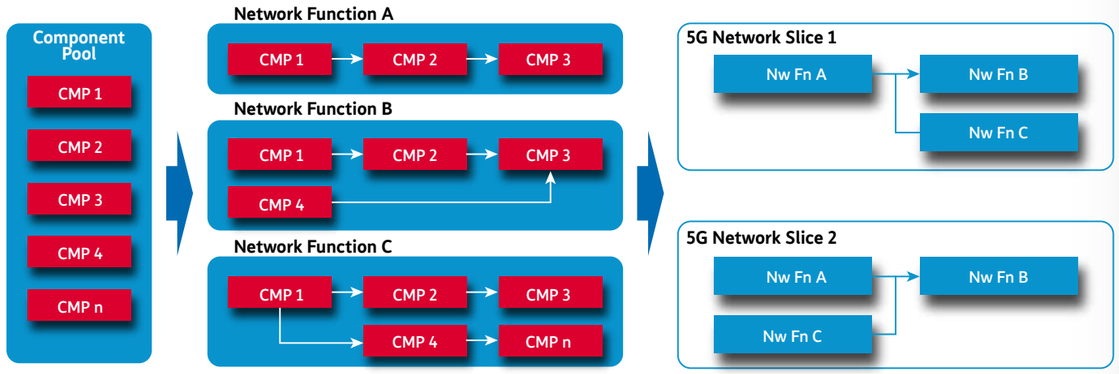
L'architettura di riferimento per la piattaforma di orchestrazione, illustrata in figura, è stata definita dal ETSI NFV ISG (*Industry Study Group*) ed è composta dai seguenti moduli:

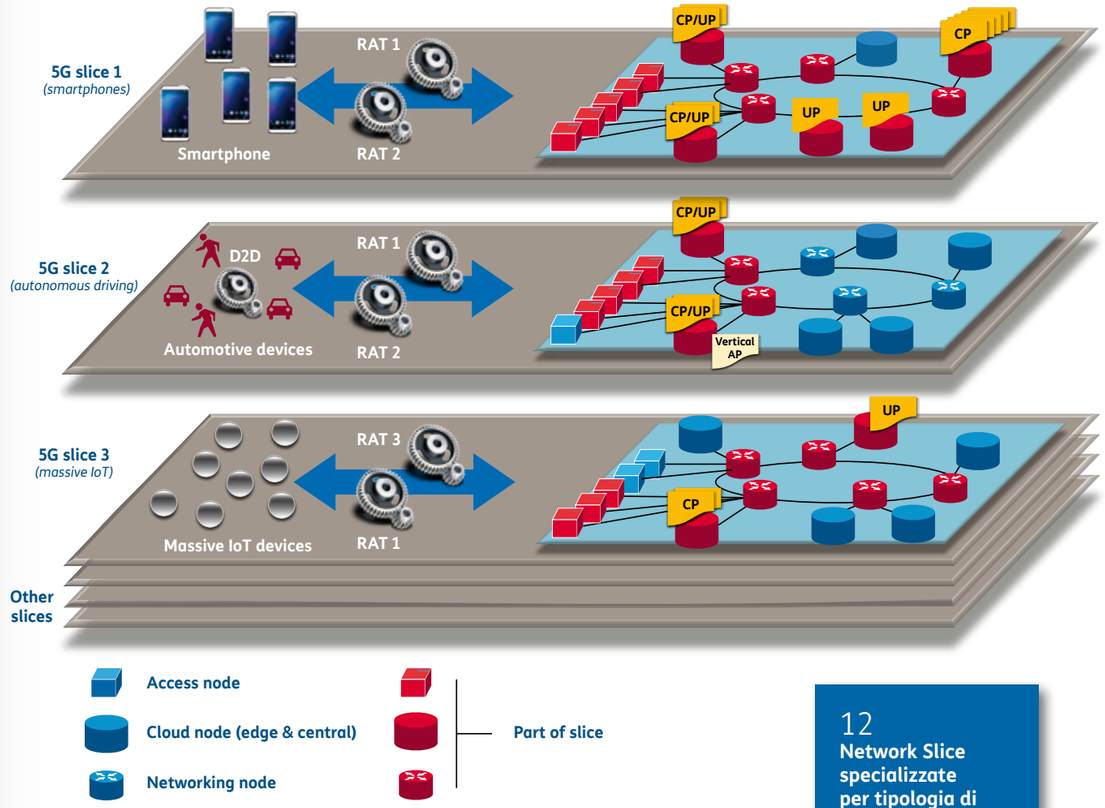
- VIM (*Virtual Infrastructure Manager*): gestisce la creazione delle VM (*Virtual Machine*) e delle reti virtuali sull'infrastruttura fisica, garantendo l'allocazione e l'utilizzo efficace delle risorse da parte delle VM;
- VNF Manager: automatizza il ciclo di vita della VNF fornendo funzionalità quali la creazione automatica delle VM che realizzano la VNF e la loro interconnessione, il monitoraggio della VNF e lo scaling automatico della VNF (incremento o riduzione delle risorse allocate alle VM e/o del numero di VM) in base a KPI infrastrutturali e/o applicativi. Il VNF Manager può essere un elemento general-purpose integrato nella piattaforma di orchestrazione, oppure può essere fornito assieme alla VNF, nel qual caso è spesso integrato con l'EM (*Element Manager*) della VNF;
- Orchestrator: automatizza il ciclo di vita dei servizi di rete, fornendo funzionalità quali la composizione di VNF per realizzare istanze di rete e/o servizi end-to-end distribuiti su uno o più siti, la gestione delle priorità tra VNF diverse e la gestione di strategie automatiche di ripristino in caso di scarsità di risorse (e.g. a causa di guasti).

Il percorso di standardizzazione è tutt'altro che completo in quanto molte delle interfacce tra i moduli sopra elencati e da/verso le VNF non sono ancora state specificate nel dettaglio. Sono però già disponibili sul mercato molte soluzioni di orchestrazione progettate specificamente per NFV che sopperiscono alle lacune dello standard con implementazioni aperte, pensate per essere facilmente estendibili con nuove funzioni e/o interfacce. I tempi sono quindi maturi per intraprendere un percorso di automazione di rete e servizi, a patto che l'operatore sappia scegliere il giusto mix di partner e soluzioni tecnologiche ■

sensore o un apparato per la telelettura di un contatore), sia in termini di latenza (dalla messaggistica al controllo remoto real-time di apparecchiature industriali o di droni, alla prevenzione di incidenti stradali).
Per accomodare tutte queste istanze la parola d'ordine è flessibilità. È infatti ormai chiaro che è necessario superare il design monolitico di rete ottimizzato per il solo mobile broadband, che ha caratterizzato le architetture di rete mobile sino ad oggi, a favore di una maggiore programmabilità e componibilità grazie all'applicazione del concetto di Network Slicing, anch'esso di derivazione NGMN. Per "Network Slice" s'intende una composizione dinamica, a partire un catalogo, di funzionalità logiche di rete essenziali alla realizzazione di un dato servizio/use case come illustrato in **figura 11**: un po' come combinare i mattoncini del Lego.
Le funzionalità che verranno composte nelle Network Slice non saranno necessariamente gli MME, SGW e PGW come li conosciamo oggi, ma probabilmente saranno le funzionalità "atomiche" che oggi entrano nella costituzione dei nodi appena citati (ad esempio la funzionalità "autenticazione") e che potranno essere riutilizzate nelle procedure ogni qual volta ve ne sarà necessità, evitando ridondanze ed inefficienti duplicazioni. Sarà inoltre necessario chiarire come e quali componenti potranno essere messi a fattor comune tra Network Slice logicamente isolate.
La creazione di Network Slice diverse consentirà all'Operatore di gestire "on demand" più istanze di CN in parallelo, ciascuna ritagliata ed ottimizzata per un determinato scenario d'uso, come illustrato in **figura 12**.
Tecnologie abilitanti per il Network Slicing sono la NFV (*Network Function Virtualization*) e il SDN (*Software Defined Networking*).
Con NFV gli elementi di rete diventano applicazioni software, denominate VNF (*Virtual Network Function*), che l'Operatore potrà istanziare su un'infrastruttura COTS (*Commodity Off-The-Shelf*), sfruttando le tecnologie di virtualizzazione, riducendo in tal modo i costi e velocizzando il dispiegamento di nuovi servizi e/o funzionalità di rete.
Elementi centrali per la gestione dinamica di una rete virtualizzata saranno le piattaforme di orchestrazione, che permetteranno di automatizzare la gestione del ciclo di vita delle VNF ed in generale delle Network Slice istanziate sull'infrastruttura (creazione, scaling, auto-healing, terminazione, ecc.) e l'SDN che porterà la flessibilità di gestione della rete a livelli senza precedenti, consentendo ad esempio la gestione dinamica del

11
Composizione dinamica delle Network Slice





12
Network Slice specializzate per tipologia di servizio secondo NGMN

networking tra le diverse NFV e la piena separazione tra piano di controllo e piano dati d'utente.
Per poter avere la specifica completa di un'architettura di rete virtualizzata basata sul Network Slicing molti problemi debbono però essere prima risolti e molto lavoro di studio deve essere ancora fatto: questa è la ragione per la quale la specifica è attesa per fine 2019.
Saranno necessarie idee e soluzioni nuove, ma molto potrà essere fatto a partire da quello che il 3GPP ha già definito per le reti 4G. Ad esempio, nell'ambito dell'evoluzione dell'EPC col TR 23.714 [8] di Release 14 è iniziata nel gruppo di lavoro SA2 un'attività di studio per la separazione tra piano di controllo e piano dati d'utente: sicuramente alcuni dei risultati che verranno conseguiti saranno riutilizzabili nel contesto del 5G. Infatti il problema comune a 4G e 5G è quello di riuscire a gestire con pochi elementi funzionali di controllo centralizzati una moltitudine di (piccoli) gateway deputati quasi esclusivamente al IP packet forwarding e che possono essere convenientemente collocati in prossimità dell'accesso, in modo da ottimizzare i percorsi del traffico utente e diminuirne la latenza. Strettamente connessa a questo problema è la gestione della continuità di servizio, che fino ad ora in contesto 4G si è tradotto nel paradigma di un'ancora stabile in rete (il PGW) per tutta la durata di una sessione, tale da garantire

che l'indirizzo IP non cambi. D'altra parte la presenza di piccoli gateway posti in prossimità dell'accesso, congiuntamente alla necessità di ottimizzare il percorso del traffico man mano che l'utente si muova, pongono la necessità di rilocare il gateway nel corso della vita di una sessione e quindi di cambiare indirizzo IP. Tuttavia sempre più applicazioni (ad esempio applicazioni HTTP-based adaptive streaming, Multi-Path TCP, ecc.) sono tolleranti al cambiamento di indirizzo IP, garantendo continuità di servizio a livello applicativo senza degradare l'esperienza d'uso dell'utente. Sfruttando questo fatto la nuova architettura potrà consentire la rilocazione dell'ancora IP, che rimarrà sempre vicina all'attuale posizione dell'utente, contribuendo ad una migliore scalabilità della rete grazie all'offload di parte del traffico dai nodi centrali della CN. Si va affermando quindi il concetto che la continuità di servizio, intesa come mantenimento dello stesso indirizzo IP per tutta la durata di una sessione, sarà riservato solo a quelle tipologie di traffico che non possono farne a meno, come ad esempio il VoIMS (*Voice over IMS*), non dimenticando che anche per quest'ultimo esistono già meccanismi di continuità come la IMS Session Continuity.

Anche il problema di come connettere i terminali d'utente alle Network Slice appropriate in funzione dei servizi che sono stati richiesti può beneficiare di attività pregresse. Il 3GPP ha infatti definito in Release 13 la funzionalità DECOR (*Dedicated Core Networks*) che, basandosi sul parametro di sottoscrizione "UE Usage Type", consente di connettere il terminale ad una istanza di CN dedicata. Tuttavia, quando il terminale accede per la prima volta alla rete la RAN (*Radio Access Network*) non ha informazioni utili per indirizzarlo verso una specifica CN dedicata e quindi lo connette ad una CN di default; la procedura risulta inefficiente essendo necessaria una successiva re-direzione da parte dell'MME verso la CN dedicata indicata dallo "UE Usage Type". Per questa ragione nel gruppo di lavoro SA2 è in corso una attività di studio di Release 14 (TR 23.711 [9]) dove è previsto che il terminale assista la RAN nella selezione della CN dedicata mediante parametri specifici inseriti nella segnalazione RRC verso l'eNB, durante la procedura di Attach.

Il modello di QoS delle reti 4G andrà poi rivisitato. Sarà infatti necessario considerare meccanismi di identificazione del traffico che vadano al di là delle 5-tuple IP che non offrono una sufficiente granularità. Spingendosi più avanti si può anche pensare ad un diverso modello di QoS che superi il concetto di EPS Bearer e prenda spunto da meccanismi più semplici di scheduling a livello IP mutuati ad esempio da quanto già definito per la ProSe Per-Packet Priority [10].

Venendo ai "Verticals", che verranno offerti da Network Slice dedicate della CN 5G, il 3GPP ha maturato nel tempo una grande esperienza su temi come Internet of Things e Critical Communications.

Sul primo tema infatti sono in dirittura d'arrivo la definizione di una serie di ottimizzazioni della EPC di Release 13 per gestire dispositivi caratterizzati da "ultra low complexity and low throughput": è stata completata la fase di studio nel TR 23.720 [11] e sono disponibili le specifiche per una CN semplificata con segnalazione NAS (*Non Access Stratum*) "leggera", tale da venire incontro ai vincoli di costo (dell'ordine del $ a dispositivo) e di durata della batteria (una decina d'anni) richiesti dal mercato. L'esperienza maturata con questo lavoro su Cellular Internet of Things sarà sicuramente preziosa per indirizzare nel 5G i requisiti della Massive Internet of Things.

Quanto alle Critical Communications, a partire dalla Release 12 sono state definite le prestazioni di ProSe Direct Communication [10] e di GCSE (*Group Communication System Enabler for LTE*) [12], mentre in Release 13 è stata completata la prima versione del servizio di MCPTT (*Mission Critical Push To Talk*) [13] che completa la ProSe e la Group Communication con le funzionalità di livello applicativo per consentire chiamate voce di gruppo per applicazioni di Public Safety anche in scenari di assenza di copertura. In particolare, la ProSe Direct Communication consente a terminali in prossimità di scoprirsi vicendevolmente tramite segnalazione radio LTE diretta D2D (device-to-device) e di instaurare una comunicazione D2D, assistita o meno dalla rete. Venendo al 5G, il TR 22.862 della fase 2 di SMARTER aggiunge requisiti per funzionalità quali Mission Critical Video (per la condivisione immediata di contenuti video all'interno di un gruppo o verso la control room) e Mission Critical Data (per l'invio di dati, ad es. messaggi o mappe, secondo determinati criteri di performance come ad es. la tempestività e l'affidabilità della trasmissione) che si sposano con le caratteristiche della rete 5G, ma che potrebbero richiedere ulteriori ottimizzazioni della prestazione di Multimedia Broadcast Multicast Services (MBMS).

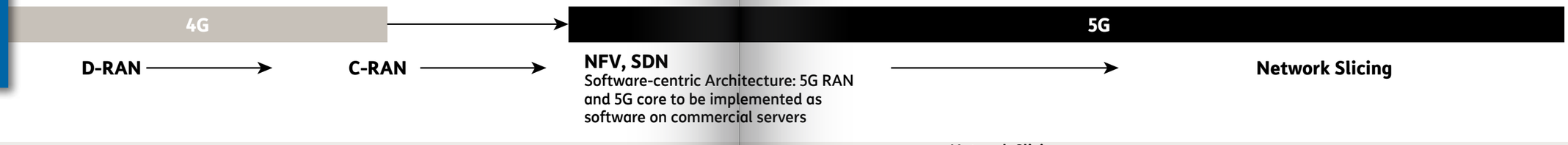
Sempre legata al tema delle Critical Communications è la comunicazione diretta tra terminali che dovrà essere supportata nativamente dalla rete 5G per una molteplicità di scenari come ad esempio la comunicazione tra veicoli per la prevenzione di incidenti stradali. A questo proposito in Release 14 è iniziato uno studio V2X [14] mirato all'evoluzione di LTE per supportare la comunicazione Vehicle-to-Infrastructure, Vehicle-to-Network, Vehicle-to-Pedestrian e Vehicle-to-Vehicle. Questo studio beneficia dell'esperienza maturata in Release 12 ed in Release 13 con la specifica della ProSe Direct Communication. Gli scenari Vehicle-to-Infrastructure e Vehicle-to-Network dove il veicolo comunica rispettivamente con una RSU (*Road Side Unit*) o con una Application Server sono di particolare interesse perché pongono requisiti stringenti sulla CN 5G che verrà. Visto che una delle finalità di questo tipo di comunicazioni è fornire assistenza alla guida per incrementare la sicurezza stradale ne scaturisce naturalmente il requisito di comunicazioni estremamente tempestive e quindi di bassissima latenza. Per soddisfare questo requisito, sia su reti 4G che 5G, la soluzione consiste nel portare gli Application Server che erogano i servizi quanto più vicino possibile ai veicoli e quindi alla rete d'accesso. In questo senso ci può venire in aiuto il MEC (*Mobile-Edge Computing*) che è una iniziativa sviluppata sotto l'egida dell'ETSI [15] e che consiste nell'introduzione di un ambiente virtualizzato e paradigmi di cloud-computing a livello di rete di accesso: l'elemento chiave è il MEC IT Application Server che può essere integrato direttamente a livello di nodo di accesso (ad esempio nella RSU). Non bisogna però dimenticare, che, oltre a quella citata, la tecnologia MEC si presta per tutte quelle applicazioni (come ad esempio mobile gaming, l'augmented reality) dove il requisito stringente sia la bassissima latenza e dove si vogliano spostare capacità computazionali e di storage dal terminale o da un edge remoto di rete ad un'infrastruttura posta in prossimità della rete d'accesso.

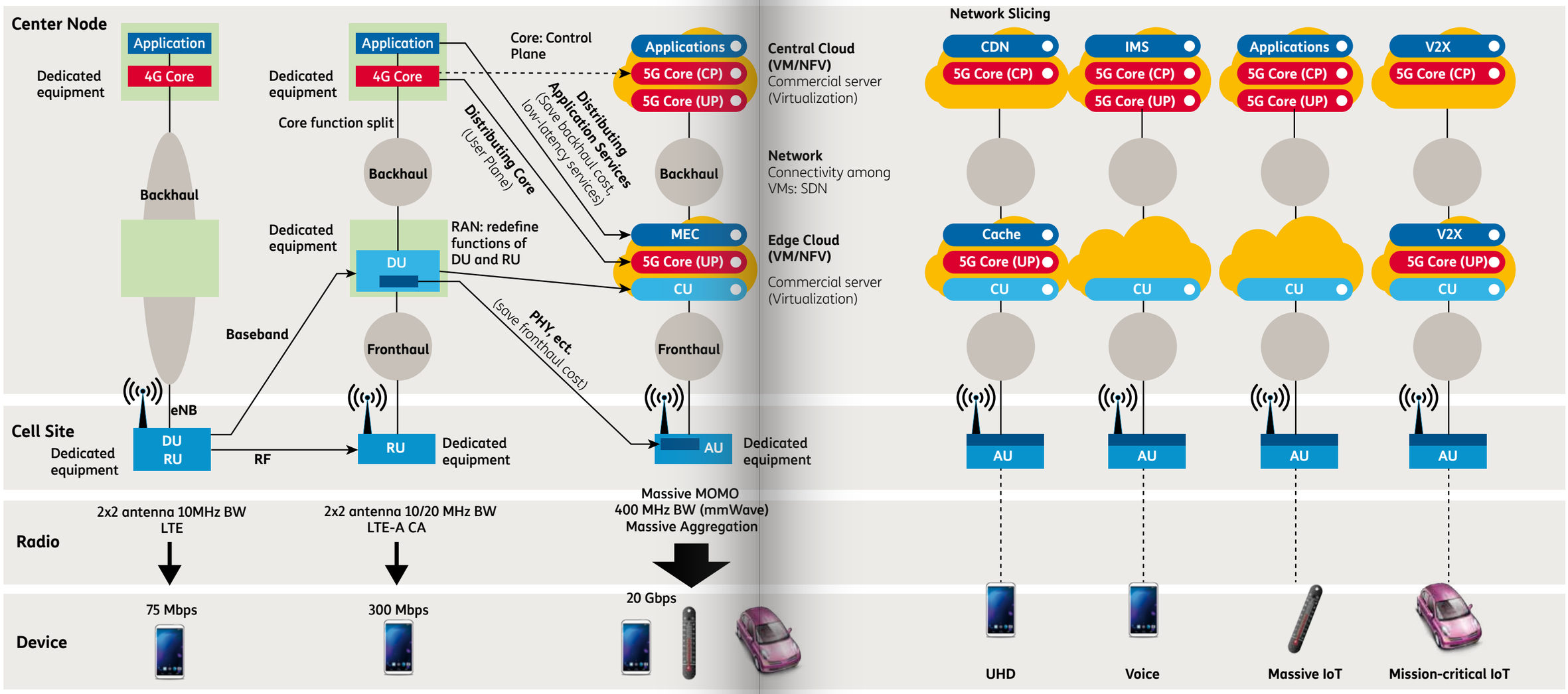
In conclusione, il processo di progressiva ed inarrestabile "cloudizzazione", che già si inizia ad applicare alle CN legacy, troverà il suo completo compimento nella reti 5G, spingendosi fino in prossimità dei nodi di accesso ed anzi interessando la stessa RAN, come prefigurato da ITU-T con il suo report "The Tactile Internet" [16] già nel 2014 e come mostrato in **Figura 13**, ripresa dal sito web Netmanias.

Conclusioni

I due principi sui quali si fonda l'evoluzione nel breve medio termine delle reti di telecomunicazione sono la **virtualizzazione** delle funzionalità di rete, che consentirà di introdurre un maggior grado di flessibilità e di automazione, e la **convergenza** delle funzionalità di controllo che abilita nuovi modelli di servizio ed incrementa l'efficienza complessiva del sistema. La loro adozione non è però esente da impatti per gli operatori, perché comporta una rivoluzione nella gestione delle reti di telecomunicazione, non solo da un punto di vista tecnico, ma anche organizzativo e processivo. La realizzazione di una rete virtualizzata e convergente, che si consoliderà nel corso dei prossimi tre o quattro anni, costituisce inoltre un primo passo preparatorio alle reti di nuova generazione 5G le cui specifiche sono in fase di definizione presso i principali enti di stadardizzazione ■

13
Evoluzione dell'architetture di rete da 4G a 5G
Fonte: www.netmanias.com





DU - Digital Unit (BBU)
RU - Radio Unit (RRH)
CU - Central/Cloud Unit
AU - Access Unit
UP - User Plane
CP - Control Plane
MEC - Mobile Edge Computing
NFV - Network Function Virtualization
SDN - Software Defined Networking
V2X - Vehicle-to-X
IoT - Internet of Things
IMS - IP Multimedia Subsystem

Bibliografia

[1] NGMN 5G White Paper v1.0

[2] 3GPP TR 22.891: "*Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers*"

[3] 3GPP TR 22.863: "*Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Enhanced Mobile Broadband*"

[4] 3GPP TR 22.864: "*Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Network Operation*"

[5] 3GPP TR 22.862: "*Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers - Critical Communications*"

[6] 3GPP TR 22.861: "*Feasibility Study on New Services and Markets Technology Enablers for Massive Internet of Things*"

[7] 3GPP TR 23.799: "*Study on Architecture for Next Generation System*"

[8] 3GPP TR 23.714: "*Study on control and user plane separation of EPC nodes*"

[9] 3GPP TR 23.711: "*Enhancements of Dedicated Core Networks selection mechanism*"

[10] 3GPP TS 23.303: " *Proximity-based services (ProSe)*"

[11] 3GPP TR 23.720: "*Architecture enhancements for Cellular Internet of Things*"

[12] 3GPP TS 23.468: "*Group Communication System Enablers for LTE (GCSE_LTE)*"

[13] 3GPP TS 23.179: "*Functional architecture and information flows to support mission critical communication services*"

[14] 3GPP TR 23.785: "*Study on architecture enhancements for LTE support of V2X*"

[15] *http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/mobile-edge-computing*

[16] "*The Tactile Internet*". ITU-T Technology Watch Report, Agosto 2014

Michele Gamberini *michele.gamberini@telecomitalia.it*

ingegnere Elettronico è attualmente responsabile, in ambito TILab, di Core Network & Infrastructure, dove si occupa di Ingegneria ed Innovazione della rete core, dell'infrastruttura NFV e dell'EDGE IP fisso e mobile, dal luglio del 2014. Entra a far parte del Gruppo Telecom Italia nel 1996, andando a ricoprire il ruolo di coordinatore Cell Planning nelle regioni Campania, Basilicata e Puglia, nell'ambito della GTR-Sud di TIM. Dal 1998 al 2002 è prima responsabile Cell Planning e poi responsabile dell'Ingegneria Radio in Amena, operatore mobile del gruppo AUNA Spagna, partecipato da Telecom Italia. Dal 2002 al 2005 è Chief Network Officer di TIM Hellas, operatore mobile controllato da Telecom Italia in Grecia. Dopo una breve parentesi come responsabile dell'Area Territoriale Rete Centro di TIM, diventa direttore delle Network Operation Area S1 e Sud, rispettivamente dal 2006 al 2008 e dal 2008 al 2009. Dal 2009 al 2011 è responsabile della Network Operation Governance. Dal 2011 al 2014 è stato responsabile dell'ingegneria e dell'innovazione della rete mobile ■

Mario Madella *mario.madella@telecomitalia.it*

laureato in Fisica, nel 1993 è entrato in Telecom Italia con il compito di preparare strutture quantistiche per laser a semiconduttore mediante deposizione epitassiale. In seguito si è occupato della caratterizzazione mediante Thermal Resistance Analysis by Induced Transient di componenti opto-elettronici d della misura della loro affidabilità. A partire dal 1999 ha partecipato in vari ruoli, tra i quali quello di project manager, al dispiegamento e all'evoluzione della rete mobile di TIM, alla fornitura di connettività alla clientela business ed alla definizione di nuovi modelli di roaming e servizi IMS. Negli anni ha contribuito attivamente negli enti di standardizzazione, in particolare in 3GPP e GSMA ■

Roberto Procopio *roberto.procopio@telecomitalia.it*

ingegnere delle Telecomunicazioni, è entrato in Azienda nel 1998 inizialmente come ricercatore su aspetti di qualificazione degli apparati di commutazione mobile e poi nel campo delle soluzioni di rete per servizi dati su rete mobile (GPRS). Dal 2001 partecipa alle attività di standardizzazione ed in particolare oggi segue il 3GPP CT1. Dal 2001 ha collaborato alle attività di supporto alle partecipate estere su tematiche di UMTS ed IMS. Nel 2004 ha coordinato le attività di innovazione della core network mobile correlate ad UMTS ed IMS. Dal 2008 ha coordinato, come project manager, le attività di innovazione della core network fissa e mobile di Telecom Italia su aspetti relativi ad IMS, data layer, segnalazione Diameter ed interconnessione IP. Oggi lavora come team leader su tematiche di innovazione della Core Network Mobile ■

LE TECNOLOGIE PER LA RETE DEL FUTURO

Paolo Fasano, Mario Ullio, Vinicio Vercellone

Mentre gli operatori di TLC sono chiamati a ripensare il proprio posizionamento nella catena del valore dei servizi offerti ai clienti, il panorama delle tecnologie di rete sta modificandosi rapidamente. Novità tecnologiche e rifocalizzazione degli investimenti in tecnologia stanno ponendo le basi per una nuova generazione di reti destinata a diventare matura con il prossimo avvento della quinta generazione dei sistemi cellulari. TIM sta guardando con attenzione ai segni iniziali di questa trasformazione, a cui contribuiscono a vario titolo i soggetti che impostano il loro business sui Data Center, le comunità Open Source e la ricerca accademica.
In questo articolo vengono analizzati alcuni elementi che secondo gli autori potranno giocare un ruolo significativo nel plasmare le reti del futuro e che fin da oggi sono oggetto di progetti esplorativi su come potrebbe trasformarsi la rete di TIM a partire dal 2020.

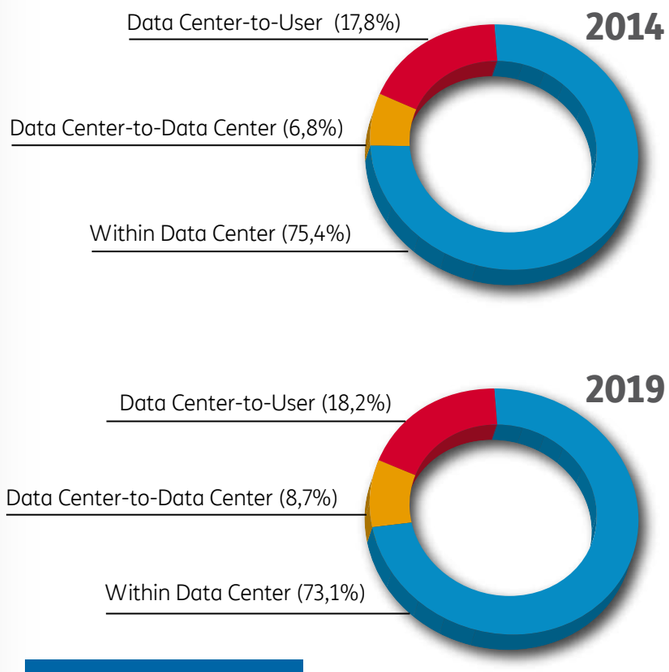
Introduzione

Gli operatori in questi anni hanno sperimentato il superamento del traffico voce da parte del traffico dati e hanno affrontato un processo di trasformazione delle proprie reti basato sulle tecnologie IP, inizialmente sviluppate per l'ambiente delle reti campus o aziendali.
La declinazione di queste tecnologie per i Service Provider ha prodotto una specializzazione dei nodi di rete guidata da requisiti peculiari: alte prestazioni, livelli di affidabilità e gestibilità riferiti spesso con il termine "Carrier Class", funzionalità specifiche per uno sfruttamento commerciale (ad esempio contabilizzazione del traffico, intercetto legale, ...). La dimensione del mercato ha consentito lo sviluppo di aziende interamente dedicate ai Service Provider e in generale alla disponibilità di linee di prodotto ritagliate su questi requisiti.
Oggi l'evoluzione del mercato è contraddistinta da una prevalenza

di volumi sul segmento Data Center, fattore determinante per una direzione di sviluppo nuova anche per le tecnologie di rete.
Le diverse generazioni tecnologiche hanno avuto un ciclo di vita che si è esteso fino a dieci o quindici anni. Stiamo per arrivare al decimo anno di vita delle tecnologie utilizzate oggi e questo lascia prefigurare che nel giro di tre o cinque anni assisteremo all'avvento di una nuova generazione. In questa congiuntura, stiamo anche assistendo ad una serie di trasformazioni che hanno tutte le potenzialità di modificare radicalmente l'industria del settore TLC attraverso una sostanziale fusione con l'industria del settore IT: NFV (*Network Function Virtualization*) è solo l'inizio, SDN (*Software Defined Networks*) è solo all'inizio.
Saper prevedere quali saranno le tecnologie nel prossimo futuro ed imparare a dominarle è essenziale per affrontare le trasformazioni in atto. Nel seguito di questo articolo si esaminano tre aspetti tecnologici che a nostro parere sono destinati ad avere maggior impatto nel prossimo futuro: l'evoluzione delle soluzioni tecnologiche ed architetturali all'interno dei Data Center, il concetto di "Disaggregazione" degli apparati di rete (Control Plane/User Plane, Hardware/Software) e le nuove tecnologie hardware per la commutazione di pacchetto.
A partire da questi elementi tecnologici è prevedibile che prendano forma le reti di domani, più pervasive, più flessibili e meno costose.

La spinta dei Data Center

Il mondo dei Data Center sta diventando un bacino di idee e di soluzioni per i Service Provider. Per ridurre i costi occorrono economie di scala ed il mondo delle TLC richiede oggi apparati troppo specializzati a fronte di un mercato troppo ristretto: guardare alle soluzioni del mondo Data Center è quasi una scelta obbligata. Seguendo questa linea, si è compiuta la transizione da servizi e da interfacce Circuit Based, a servizi e interfacce Packet Based (Ethernet ed IP sono lo standard di fatto che nessuno ormai mette più in discussione) e ora si guarda come ad un "must" all'introduzione di SDN ed NFV nelle reti di TLC. Ma le novità che questo ambiente ha prodotto negli ultimi anni sono molte e vale la pena di riconsiderare il cammino evolutivo e le condizioni che l'hanno determinato.
Nelle reti degli operatori la crescita del traffico Internet negli ultimi anni ha imposto incrementi di capacità significative: dal 2008 al 2014 il traffico Internet anno su anno è cresciuto in media del 35%, ovvero a fine 2014 il traffico totale era pari a circa 6,5 volte il traffico a fine 2008 (fonte Cisco [1]). Ma l'andamento all'interno dei Data Center ha seguito una dinamica decisamente più sfidante: Google ha dichiarato che nello stesso periodo ha registrato una crescita pari a 50 volte [2], quasi un raddoppio anno su anno. Un altro aspetto interessante è che la stragrande maggioranza del traffico dei Data Center è concentrato nelle comunicazioni interne al Data Center, come mostrato in **figura 1**.
Questa situazione contingente ha messo in moto la ricerca, da parte degli OTT, di soluzioni per il networking interno ai Data Center alternative a quelle impiegate sino ad alcuni anni fa, quando venivano utilizzati gli stessi apparati delle reti dei Service Provider: la necessità di mantenere un andamento dei costi costante o in diminuzione al crescere del traffico rappresenta un "must" anche per i Service Provider, tuttavia è evidente come curve di crescita molto diverse abbiano imposto urgenze e quindi soluzioni diverse. Gli OTT hanno cominciato a progettare in proprio le soluzioni di Networking, al fine di perseguire obiettivi di maggiore efficienza ed economia.
Per gli scopi di un Data Center gli apparati utilizzati nelle reti geografiche hanno una serie di caratteristiche che non sono particolarmente utili: l'hardware è appesantito dalla necessità di avere ampi banchi di memoria ad accesso molto rapido per gestire le tabelle di routing Internet e mantenere buffer molto profondi per minimizzare le perdite in condizioni di congestione sui link; il software contiene decine di protocolli che sono necessari per l'ambiente eterogeneo delle reti geografiche e dell'interconnessione con i clienti; in generale vi è l'enfasi sull'affidabilità intrinseca degli apparati e del software, poco rilevanti all'interno dei Data Center. Da questo genere di valutazioni derivano le scelta di utilizzare "Merchant Silicon", che sappia fornire switching ad alta capacità a basso costo, e di limitare al massimo le funzionalità software, implementando quelle di controllo su piattaforme esterne.



1
Distribuzione del traffico per i Data Center
(fonte Cisco)

La spinta successiva è stata quella di condividere i progetti e standardizzare "de facto" le soluzioni: per gli attori di questa rivoluzione (in primis Google e Facebook) le tecnologie e gli stessi Data Center non sono parte del Core Business (unica eccezione Amazon che conseguentemente si muove con strategie diverse) e quindi lo scopo ultimo è l'abbattimento dei costi, più facilmente perseguibile quanto più le soluzioni sono largamente adottate. E questo vale non solo per le soluzioni di networking, ma per tutte le componenti interne al Data Center.
Ecco allora Facebook che lancia Open Compute Project [3], cui si uniscono tra gli altri Microsoft, Intel e Rackspace (attualmente aderiscono anche operatori come AT&T e DT): il progetto mira a standardizzare di fatto l'approccio "bare metal" per tutte le componenti dei Data Center a partire dai server, ma con particolare attenzione alla componente di networking. I risultati sono oggi tangibili con un vasto numero di prodotti "senza marchio" (whitebox switch) che hanno prestazioni in termini di throughput nell'ordine del Terabit/s e sono venduti direttamente da aziende che in passato assemblavano prodotti commercializzati da altri (ad esempio Quanta, Accton, ...).
Sul fronte del software, il tema della disaggregazione del piano di controllo dal piano di forwarding nelle piattaforme di rete dà vita all'Open Networking Foundation [4], che vede di nuovo tra i protagonisti Facebook e Microsoft, questa volta con Google e Yahoo, ma che coinvolge da subito NTT, AT&T, Verizon e Deutsche Telekom. L'impiego di controller per comandare elementi di rete è fondamentale per risolvere alcuni problemi di scalabilità e di flessibilità per le reti dei Data Center. Gli elementi controllati non sono però solo gli switch fisici, ma anche quelli "virtuali": nel 2007 il kernel Linux ha inglobato la prima versione di KVM e dal 2009 è disponibile la prima versione di Open vSwitch; anche la virtualizzazione sta seguendo sempre più la strada dell'Open Source e della diffusione a basso costo su larga scala.
Nell'era della virtualizzazione sono tuttavia gli strumenti di gestione dell'infrastruttura (Virtual Infrastructure Manager - VIM) l'elemento più importante: OpenStack, CloudStack e OpenNebula sono alcuni dei progetti collaborativi che sviluppano soluzioni di "cloud management". Queste soluzioni, tra le quali oggi OpenStack sembra quella vincente, sono essenziali per ridurre i costi

operativi e la complessità della gestione di un'infrastruttura che integra migliaia di apparati fisici e decine di migliaia di macchine virtuali. Si osservi che tutte queste soluzioni si pongono principalmente l'obiettivo di ottimizzare l'utilizzo delle risorse di calcolo e configurano reti "overlay" per far comunicare le VM (*Virtual Machine*) tra loro e con il mondo esterno, trascurando l'ottimizzazione della distribuzione del traffico sulla rete fisica. La configurazione della rete di comunicazione avviene ex-post rispetto alla scelta di dove posizionare le VM e nelle soluzioni odierne non pone vincoli su quest'ultima.

La ricerca di efficienza all'interno dei Data Center va avanti e propone oggi un'ulteriore evoluzione tecnologica: le VM sono inefficienti a causa della duplicazione del sistema operativo; quello che effettivamente è necessario è una forte segregazione tra processi assegnati a diversi Tenant. Il mondo dei Linux container (funzionalmente per altro presente in tutti i principali sistemi operativi per piattaforma server, si vedano ad esempio le jail in FreeBSD) che è già apparso da anni (prima integrazione in Linux nel 2008) offre una soluzione tecnologica a questo problema: si tratta allora di integrare la gestione dei container a più alto livello e questo origina progetti Open Source come Docker [5] o Kubernetes [6], che Google ha di recente trasformato in uno sviluppo cooperativo con altre aziende[1]. Fra i motivi della mossa di Google sembrerebbe esserci la ricerca di nuove soluzioni alle problematiche di networking nel mondo dei container.

Ad una analisi attenta appare chiaro che la ricetta dei Data Center non è così semplice e va metabolizzata: il percorso virtuoso sembra partire da un'analisi del cosa (le semplificazioni possibili) e solo in un secondo momento prendere in esame il come (le soluzioni tecnologiche). Riportando questo concetto al mondo dei Service Provider, ripensare le soluzioni TLC in ottica IT, semplificandole ed eventualmente rinunciando ad alcune caratteristiche non essenziali, può essere un passo importante e premiante. Metabolizzare il percorso dei Data Center significa comprendere che SDN ed NFV sono solo strumenti e la vera rivoluzione sta nella semplificazione: virtualizzare funzioni elementari (eliminando le complessità inutili) e utilizzare SDN per collegare le funzioni elementari in servizi. Per fare questo occorre prima di tutto passare da nodi di rete monolitici a funzioni elementari e modulari: ed è per questo motivo che il tema della disaggregazione sta diventando uno dei cardini dei progetti più innovativi.

La disaggregazione dei nodi di rete

Uno dei temi che sta prepotentemente tornando alla ribalta da qualche tempo a questa parte, ricorrendo in varie forme nelle strategie enunciate e nelle iniziative messe in atto dall'industria del settore è quello della disaggregazione. Si tratta in effetti di un concetto che era già presente nella proposta originale del paradigma SDN e del protocollo OpenFlow come mezzo per realizzarlo. Tuttavia questo principio di netta separazione tra le componenti di forwarding e di controllo dei nodi di rete, anche in chiave di implementazione, è poi passato temporaneamente in secondo piano quando sono apparse le prime applicazioni concrete dell'approccio SDN, come le soluzioni di Flexible Service Chaining o di Transport SDN. L'industria, con i vendor più affermati in prima fila, ha fin qui privilegiato dunque la possibilità di realizzare, mediante l'approccio SDN, forme di controllo dell'instradamento del traffico, tramite l'introduzione di controller dedicati, in grado di imporre opportune eccezioni rispetto al routing di default, per realizzare in modo estensivo funzioni di policy routing e traffic engineering.

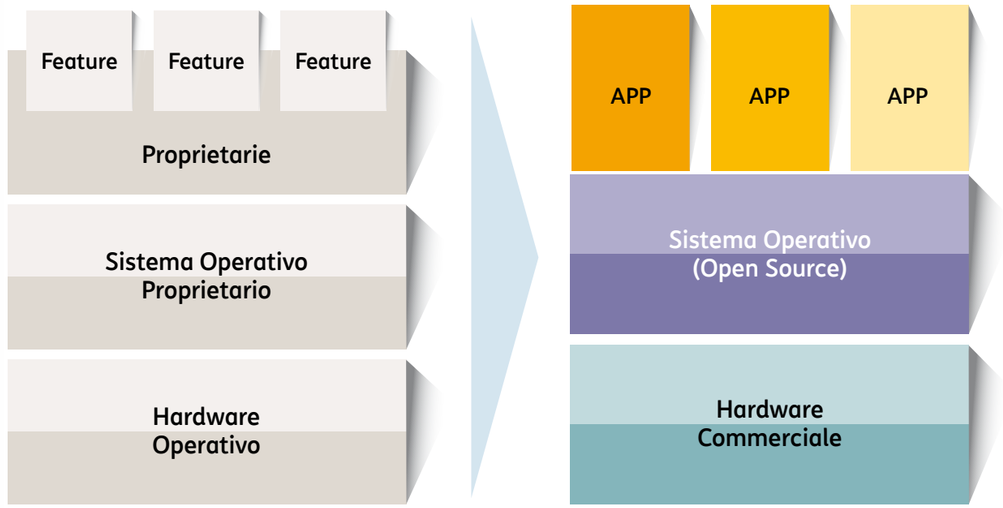
Tuttavia, come dicevamo, stiamo assistendo ad un ritorno ai principi fondanti di SDN, che ora si sposano anche con la tendenza sempre più forte a fondersi con il mondo dell'Open Source. Su questo fronte da almeno un anno a questa parte si registra un grande fermento di iniziative in nord America, con attività e sviluppi che coinvolgono operatori di rete, istituzioni di ricerca, nuovi entranti nel mondo dei vendor e principali provider OTT. Il tema della disaggregazione delle piattaforme di rete è da sempre caldeggiato da un pioniere dell'approccio software-defined e di OpenFlow, come Nick McKeown della Stanford University, quale arma per scardinare l'architettura monolitica dei nodi di rete, piattaforme la cui forte integrazione verticale è di ostacolo all'evoluzione della rete, responsabile del persistere di situazioni di oligopolio del mercato e fonte di costi crescenti, in grado di minacciare in prospettiva la sostenibilità del business [7]. La visione di fondo a cui si ispirano le diverse iniziative è illustrata in **vedi figura 2** dove i nodi della rete, che sono oggi costituiti da un aggregato monolitico di hardware, sistema operativo e funzionalità proprietarie devono tendere a divenire architetture aperte e modulari, dove l'hardware di switching è basato su chipset commerciali e il sistema operativo è Open Source, su cui possono essere sviluppate ed integrate le applicazioni in modo molto più libero e flessibile.

In fondo si tratta di avviare nel settore del networking la stessa trasformazione che da anni ha ormai pervaso il mondo del computing. Un'evoluzione in questo senso è abilitata dalla crescita del software Open Source e della sempre maggiore disponibilità di chipset commerciali. Tutto questo dovrebbe indirizzare la necessità sempre più sentita da parte degli operatori di ridurre i costi, ma al contempo di avere margini di differenziazione, facendo leva sull'apertura della piattaforma ed in particolare sulle applicazioni sviluppate sul sistema operativo di rete, dove c'è spazio per le funzionalità proprietarie che ne definiscono il vero valore aggiunto.

La trasformazione è avviata e pare ormai inarrestabile, parafrasando John Donovan, vice-president di AT&T, potremmo dire che "non c'è forza che possa arrestare un principio economico quando i tempi sono maturi per la sua realizzazione" [8]. A questo riguardo AT&T sostiene che mira a trasformare il 75% della sua rete applicando questi principi e utilizzando le tecnologie SDN e NFV entro il 2020.

I principi di disaggregazione ed apertura delle piattaforme adottati nel ridisegnare l'architettura dei nodi e dei sistemi di rete si prestano ad essere applicati a diversi livelli ed in diversi ambiti. Per illustrare le diverse possibili accezioni, vogliamo citare alcune delle iniziative più significative tra le tante in questo filo-

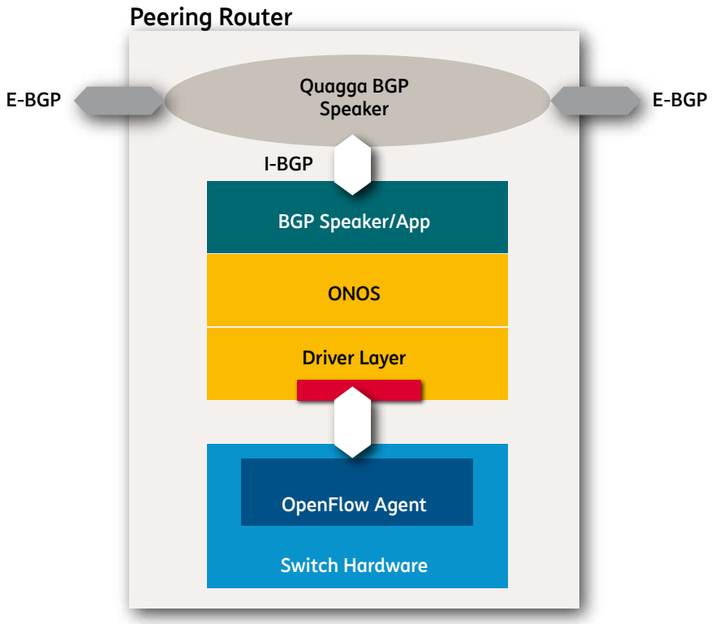
2
Da nodo monolitico a ecosistema multi-vendor



1 Tra aziende coinvolte si segnalano IBM, HP, Redhat e VMware.

ne in continua evoluzione. Partiamo dal nodo di rete come piattaforma di routing, a questo proposito il progetto Atrium [9], varato e sponsorizzato da ONF (*Open Networking Foundation*), ha dimostrato l'implementazione e l'interoperabilità di un peering router BGP **vedi figura 3** basato sull'integrazione di uno switch OpenFlow, come hardware di forwarding, con un controller SDN (OpenDaylight o ONOS) e una suite di software di routing (Quagga) entrambi Open Source.

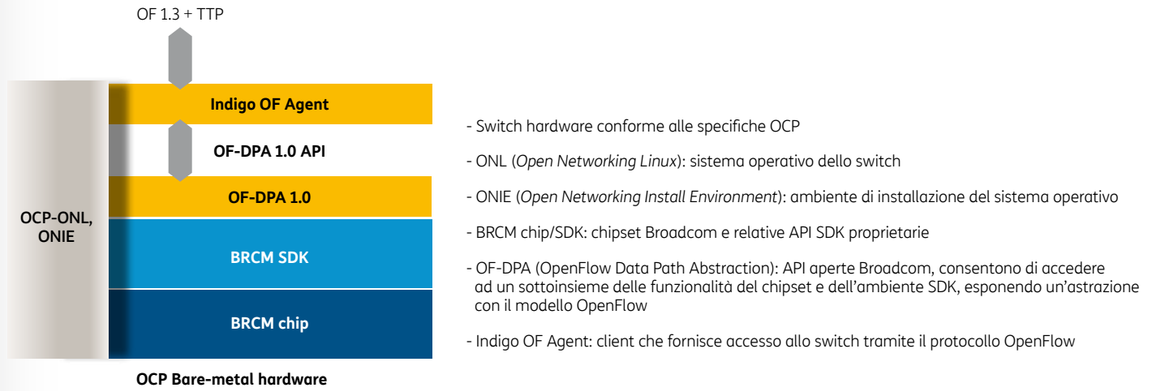
3
Implementazione di un peering Router secondo il paradigma della disaggregazione



Lo switch OpenFlow può essere acquisito da uno dei tanti vendor sul mercato oppure, e qui si innesta un ulteriore possibile livello di disaggregazione, essere sviluppato a partire da un hardware di tipo "bare metal switch" compatibile con il framework del già citato OCP (*Open Compute Project*) su cui integrare **figura 4** componenti di software in buona parte disponibili in open-source ed in parte proprietarie e legate al fornitore del chipset (es. Broadcom).

La tendenza a sviluppare piattaforme di rete a partire da bare metal switch hardware, i cosiddetti whitebox switch, è stata inaugurata dai maggiori OTT. Il team di networking di Facebook ha recentemente portato avanti un'iniziativa per riprogettare gli switch per le infrastrutture di rete dei propri data Center e relativo sistema operativo, applicando i concetti di disaggregazione e di controllo con approccio SDN. I nuovi nodi di rete sono stati dispiegati in produzione in diversi data Center da ormai un anno. Gli switch sono basati su hardware conforme alle specifiche OCP e sono rivestiti dal sistema operativo Open Source FBOSS sviluppato da Facebook e basato su Linux [10]. Più che un sistema operativo, FBOSS è un set di applicazioni che sfrutta le API OpenNSL (*Open Network Switch Library*) fornite da Broadcom ed espone tramite un FBOSS Agent un'interfaccia che consente ad applicazioni di controllo di automatizzare gli aspetti di configurazione, monitoraggio e troubleshooting; un altro gruppo di applicazioni consiste poi nei protocolli di routing/forwarding, per esempio BGP.

Sono molte anche le iniziative commerciali che si innestano nel filone della disaggregazione. Prima fra tutte quella del nuovo entrante Cumulus Networks [11]. Cumulus sostiene che il suo punto di forza consiste nell'avere sviluppato la prima versione del sistema operativo Linux (basata sulla distribuzione Debian) per uno switch, un Linux completamente standard dunque, ma ottimizzato per il networking. Cumulus per questo ha lavorato sulla componente ONIE (*Open Network Install Environment*) del framework OCP. ONIE è una sorta di BIOS o ambiente di preinstallazione, in questo modo il costruttore può sviluppare



4
Modello di switch sviluppato in OCP

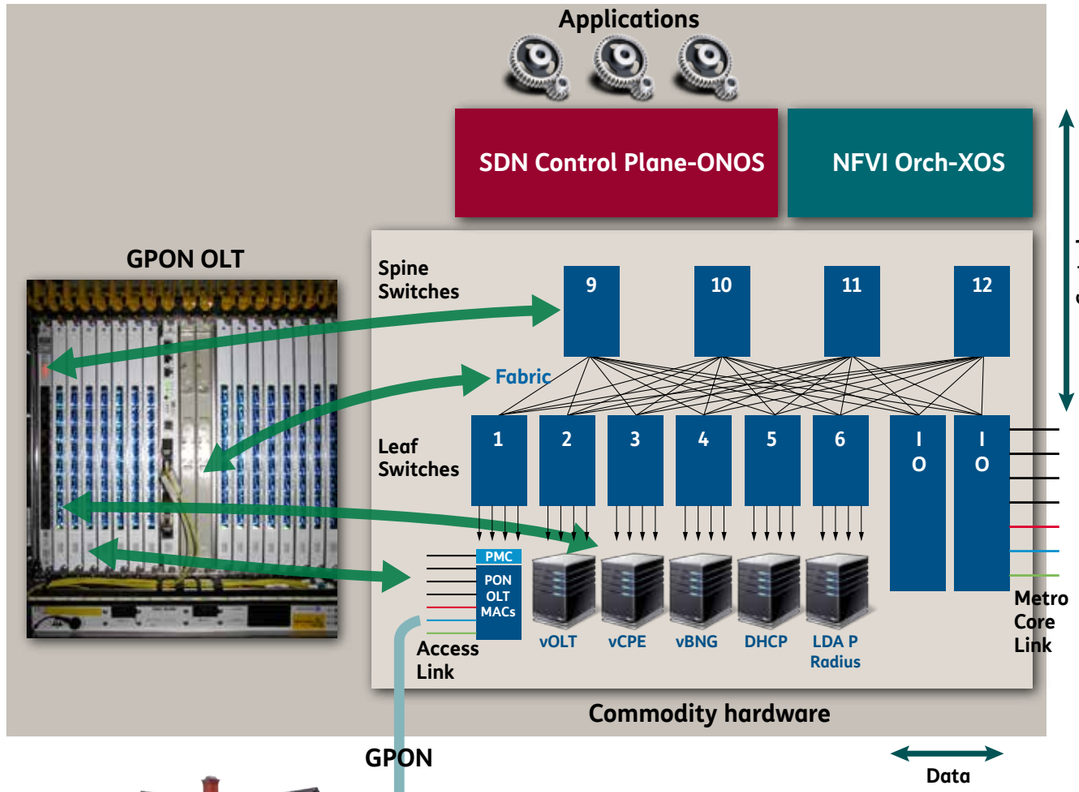
uno switch che al boot lancia un installer che permette all'utente di scegliere il sistema operativo che desidera installare sullo stesso, ad esempio Cumulus Linux appunto. Sebbene la configurazione dello switch sia gestita interamente da Linux, le funzionalità di packet switching e routing non vengono implementate direttamente dal kernel. Al contrario, a questo scopo Cumulus ha sviluppato un componente software (denominato switchd), una sorta di driver che gira in user space e rappresenta l'elemento originale della sua soluzione. Switchd intercetta i comandi di configurazione di rete forniti in Linux e li traduce in richieste alle API del chipset di switching (utilizzando l'SDK proprietaria fornita dal costruttore degli ASIC). È significativo che, sempre in questa linea di tendenza, molto recentemente anche Dell abbia annunciato la disponibilità del suo sistema operativo di rete di nuova generazione (Dell Networking OS10) basato su Linux Debian.

Fin qui abbiamo elencato iniziative che mirano ad applicare i principi di disaggregazione ai singoli nodi di rete, tuttavia è in corso un'iniziativa molto significativa, il progetto CORD (*Central Office Re-architected as a Data Center*) [12] avviato da AT&T in collaborazione con ON.Lab [13], che mira a ridisegnare la centrale utilizzando soluzioni e architetture mutuate dai data Center. In questo ambito, il principio della disaggregazione è applicato a ciascuno degli elementi di cui è costituita la tipica sede di centrale, come mostrato ad esempio **nella figura 5**, individuando i singoli blocchi funzionali che li compongono, per poi ripensarne l'ingegnerizzazione su di un'infrastruttura basata su una switch fabric da data Center e utilizzando tecnologie di controllo SDN e di virtualizzazione NFV. Si tratta di un approccio che AT&T definisce con il termine re-factoring.

Una volta adottato l'approccio della disaggregazione è immediato anche ripensare a come distribuire le funzioni elementari tra moduli software e moduli hardware, ed in ultima analisi ripensare quali siano i requisiti dell'hardware da impiegare nelle reti di domani: il pensiero dominante negli ultimi anni è stato che l'architettura x86 fosse destinata a sostituire qualunque tipo di hardware facendo leva su prestazioni sempre crescenti e che quindi si trattasse di ridisegnare tutte le funzioni solo in software. Ma anche su questo aspetto stanno emergendo alternative diverse e più promettenti.

Switching in hardware o in software?

La domanda che ci si pone a questo riguardo è se valga la pena di continuare a sviluppare dei componenti specializzati per gli apparati di rete ed eventualmente con quale grado di flessibilità. Ovvero se vi sia anco-



5
Refactoring funzionale di un OLT in architettura CORD

ra spazio per lo sviluppo di NPU (*Network Processing Unit*) flessibili, e quindi per un'industria specializzata in questo campo. Per azzardare una previsione su questo aspetto occorre confrontare le prospettive di evoluzione tecnologica delle due tecnologie.

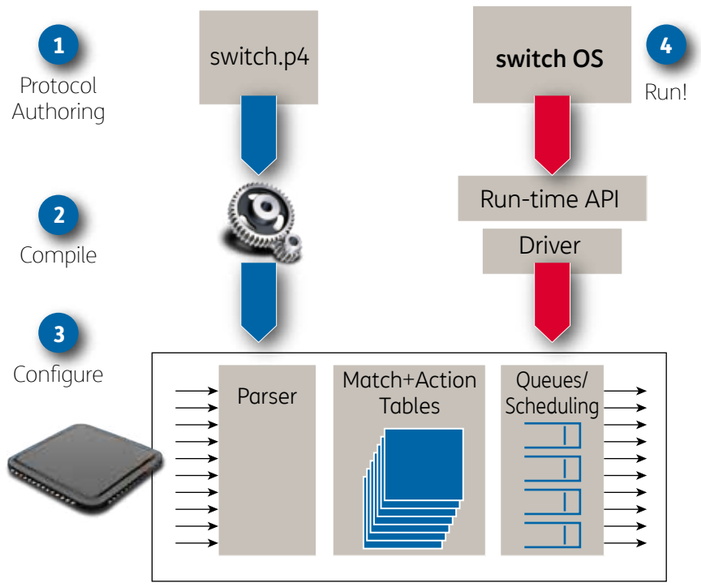
La capacità delle soluzioni hardware general purpose, CPU (*Central Processing Unit*) basate su architettura x86, di reggere i requisiti in termini di throughput e ancor più di efficienza (throughput per unità di consumi elettrici) è un tema dibattuto. Il punto di partenza è che la differenza di capacità tra un chipset x86 e un ASIC dedicato allo switching è molto ampia, almeno un ordine di grandezza, e vi sono segnali che in futuro potrebbe anche ampliarsi. La scelta effettuata qualche anno fa di contenere la frequenza di clock non al di sopra di 3GHz-3,5GHz, per limitare la crescita dei consumi energetici, ha portato all'adozione delle architetture multi-core per le CPU. La crescita del numero di core per chipset è dell'ordine di 2-4 core per ogni nuova generazione: si era partiti con 4, ora si è intorno a 32, se all'inizio la nuova generazione raddoppiava la capacità rispetto alla precedente, ora il guadagno in percentuale è marginalizzato e lo sarà sempre di più in futuro. L'unico modo per superare questa situazione è un cambio di architettura di chipset che non pare all'orizzonte.

Sul lato dei chipset dedicati, l'evoluzione a 3-5 anni su cui l'industria sta scommettendo prevede la possibilità di realizzare una tecnologia per NPU 20-25 volte superiore in prestazioni rispetto al presente, con consumi limitati a poche decine di Watt e completamente programmabile. L'aspetto più sorprendente è sicuramente quello della programmabilità, che dovrebbe consentire la realizzazione di chipset flessibili (lo stesso prodotto potrà essere utilizzato per tutte le esigenze di switching e tutte le applicazioni), consentendo di beneficiare maggiormente di economie di scala. È radicata infatti la convinzione che una NPU programmabile costi di più o sia meno performante di una NPU con processamento completamente definito in hardware (10 volte più lenta o 10 volte più esigente in termini di potenza di alimentazione). Tuttavia altri tipi di processori dedicati programmabili, ad esempio i DSP (*Digital Signal Processor*) o le GPU (*Graphic Processing Unit*) presentano curve di crescita delle prestazioni e decrescita del costo per unità di capacità molto più pronunciate di quelle delle CPU. Inoltre, un prototipo di switch programmabile, con hardware indipendente dal "tipo" di commutazione, è stato sviluppato da Texas Instruments nel 2013 [14]. Questo prototipo presentava una penalizzazione di circa il 10-15% rispetto alla versione non programmabile ed offriva un insieme limitato di 6 primitive, sufficiente a specificare qualunque protocollo si volesse commutare.

Un'evoluzione di questo tipo può prefigurare il futuro predominio di soluzioni di tipo NPU rispetto a quelle basate sull'uso delle CPU per la realizzazione di funzioni di rete ad alta capacità di throughput. Può però anche indirizzare il mercato delle NPU verso una situazione di sostanziale monopolio, come già si è verificato per le CPU dove Intel riesce a mantenere negli ultimi anni una marginalità sui ricavi stabilmente superiore al 60%.

Una prospettiva di mercato più aperta potrebbe essere abilitata dallo sviluppo di un'architettura standard per l'hardware di switching. Su questa linea, le università americane di Stanford e Princeton hanno avviato attività di ricerca che hanno già portato ad una prima specifica di un modello architetturale denominato PISA (*Protocol Independent Switch Architecture*). Per programmare gli switch realizzati secondo questa architettura **vedi figura 6**, è stato anche specificato un linguaggio chiamato P4 [15], per il quale sono già disponibili il software compilatore e una serie di programmi rilasciati in Open Source per realizzare

6
Modello funzionale di un switch PISA



vari tipi di switch a pacchetto (Ethernet, IP, MPLS).
Questo progetto sta raccogliendo un vasto interesse nella comunità accademica e nell'industria anche perché potrebbe dare ai fornitori tradizionali una serie di vantaggi:

- l'hardware risulta programmabile anche dopo che è stato venduto e dispiegato in campo;
- molteplicità di applicazioni e ambiti di utilizzo per lo stesso prodotto;
- le idee più preziose appartengono al progettista del software e non devono essere svelate alla manifatturiera che ne cura la produzione in volumi.

Anche qualche operatore sta seguendo da vicino l'iniziativa (AT&T, Comcast, SK Telekom) immaginando di avere a disposizione in questo modo un software di switching unico e certificato dall'operatore con i seguenti vantaggi:

- comportamento uniforme di tutti i nodi di rete;
- possibilità di selezionare i fornitori di hardware sulla base della capacità di corretta esecuzione del codice proposto dall'operatore;
- possibilità di far eseguire al fornitore dell'hardware un insieme predefinito di test vincolanti per l'accettazione del prodotto.

Verso il 5G con le nuove tecnologie

L'evoluzione delle tecnologie qui descritta può segnare un momento di discontinuità significativa con il recente passato. Il modo di costruire le reti sarà molto diverso da quello che conosciamo oggi e la stessa industria dei fornitori di tecnologia è di fronte a sfide che potrebbero modificarla profondamente.
Guardando all'evoluzione delle architetture di rete, il prossimo grande cambiamento già messo in cantiere è quello dell'avvento del 5G, la quinta generazione dei sistemi cellulari. Come descritto in [rif. Articolo Evoluzione Core Network], la core network del 5G ha l'ambizione di ridisegnare la gestione di accessi legacy e nuovi accessi, accessi mobili e accessi fissi, in una prospettiva di convergenza che enfatizzerà virtualizzazione e controllo software. Guardando invece all'evoluzione del business degli operatori di TLC, è necessario far evolvere l'infrastruttura di rete verso una piattaforma che abiliti la creazione dinamica di nuovi servizi sia per l'operatore stesso sia per terze parti. Le reti che saranno costruite dal 2020 in avanti avranno principalmente lo scopo di realizzare una piattaforma di servizi in linea con le aspettative del 5G: questo obiettivo si troverà ad incrociarsi con la maturità delle nuove tecnologie qui descritte.
TIM ha già iniziato ad affrontare una significativa trasformazione di rete ponendosi l'obiettivo della Network Automation e facendo leva sulle tecnologie di virtualizzazione e sulle prime soluzioni disponibili di Software Defined Network. Per alimentare ulteriormente l'Innovazione, TIM ha anche riconosciuto che questo è il momento più propizio per iniziare a studiare e sperimentare modelli di rete orientati al 5G e capaci di capitalizzare le opportunità che saranno aperte dalle nuove tecnologie. Ripensare le centrali di TLC sulla base dei paradigmi dei Data Center di nuova generazione, sfruttando al massimo l'hardware che si renderà disponibile a scaffale e il software Open Source può rappresentare la chiave per rimanere competitivi nei prossimi decenni. Immaginare una rete del futuro che risponda alle esigenze di servizio, sia allineata con il mercato delle tecnologie e faccia leva su professionalità in grado esprimere tutte le potenzialità del software è una sfida da raccogliere oggi ■

Bibliografia

[1] *http://blogs.cisco.com/sp/the-history-and-future-of-internet-traffic*
[2] Arjun Singh et alii, "Jupiter Rising: A Decade of Clos Topologies and Centralized Control in Google's DataCenter Network", SIGCOMM '15, London, United Kingdom.
[3] *http://www.opencompute.org/*
[4] *https://www.opennetworking.org/about/onf-overview*
[5] *https://www.docker.com/*
[6] *http://kubernetes.io/*
[7] Nick McKeown, "SDN, open-source and ONOS", ONOS Summit, December 2014, *http://tiny-tera.stanford.edu/~nickm/talks.html*
[8] John Donovan, "Hitting the Open Road: Software-Accelerating Our Network with Open Source", AT&T Innovation Space Blog, June 2015, *http://about.att.com/innovationblog/061714hittingtheopen#sthash.FlHhTK7P.dpuf*
[9] "Project Atrium An Open Source SDN Distribution", *http://opensourcesdn.org/ossdn-projects/?id=2*
[10] Adam Simpkins, "Facebook Open Switching System ("FBOSS") and Wedge in the open", Marzo 2015, *https://code.facebook.com/posts/843620439027582/facebook-open-switching-system-fboss-and-wedge-in-the-open/*
[11] Cumulus Networks, "Cumulus Linux", *https://cumulusnetworks.com/cumulus-linux/overview/*
[12] "Central Office RE-architected as a Data Center (CORD)" White Paper, June 2015, *http://onosproject.org/wp-content/uploads/2015/06/Technical-Whitepaper-CORD.pdf*
[13] *http://www.onlab.org*
[14] Pat Bosshart, Glen Gibb, Hun-Seok Kim, George Varghese, Nick McKeown, Martin Izzard, Fernando Mujica and Mark Horowitz, Forwarding Metamorphosis: Fast Programmable Match-Action Processing in Hardware for SDN, SIGCOMM 2013
[15] *http://www.p4.org*

Paolo Fasano *paolo.fasano@telecomitalia.it*

dottore di Ricerca in Ingegneria Elettronica, è in azienda dal 1993 e ha dedicato la propria attività lavorativa all'innovazione delle reti a pacchetto. Si è inizialmente occupato di reti e servizi a larga banda partecipando alle prime sperimentazioni geografiche a livello europeo di reti in tecnologia ATM (Asynchronous Transfer Mode). Ha dedicato successivamente i suoi interessi sui servizi di rete basati sull'Internet Protocol (IP); dal 1995 al 2001 ha partecipato attivamente a numerosi gruppi di lavoro dell'IETF (Internet Engineering Task Force) ed è stato pioniere sul tema IPv6 in Telecom Italia. Ha contribuito all'introduzione della tecnologia IP/MPLS nelle reti backbone e Metro-Regionali; ha valutato l'efficacia e la maturità di nuove tecnologie per l'evoluzione del Service PoP quali DPI (Deep packet Inspection), TIC (Transparent Internet Caching) e SDN (Software Defined Networks). È oggi il responsabile della funzione IP Edge Innovation, che ha un focus particolare su SDN e innovazione delle reti in una prospettiva di Network Automation ■

Mario Ullio *mario.ullio@telecomitalia.it*

si è laureato in ingegneria elettronica presso il Politecnico di Torino ed è entrato in Azienda nel 1990 dove si è inizialmente occupato di architetture e servizi per reti metropolitane e reti ATM. Dal 1996 ha seguito le sperimentazioni di soluzioni di accesso IP basate su ADSL e le successive fasi di deployment della rete e dei servizi commerciali per utenza residenziale e business. Dal 2003 al 2005 ha lavorato su soluzioni per reti metro Ethernet ed ha contribuito al primo deployment di OPM. Dal 2006 al 2012 è stato responsabile di un progetto sull'evoluzione tecnologica e architetturale delle reti IP. Dal 2013 lavora sul tema Software Defined Network nell'ambito del quale ha in particolare collaborato alla realizzazione della rete sperimentale JoLNet ■

Vinicio Vercellone *vinicio.vercellone@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico, nel 1984 entra in Azienda. Da allora opera nel settore innovazione di TIM, dove ha inizialmente lavorato nel campo dello sviluppo della tecnica ATM e delle sue applicazioni. Dal 1997 al 2000 ha ricoperto anche l'incarico di docente presso il Politecnico di Torino. Ha contribuito ad attività e progetti di ricerca nel settore del networking IP ed MPLS e nell'offerta dei relativi servizi di rete, dall'introduzione dei servizi MPLS VPN, al primo sviluppo della rete metropolitana OPM. È autore di numerosi brevetti internazionali e pubblicazioni. Attualmente svolge la sua attività nell'area IP Edge Innovation di TILab, dove si occupa di soluzioni di networking innovative per l'evoluzione delle reti dati. Recentemente le sue attività di ricerca si sono focalizzate sul Software Defined Networking. Nell'ambito di questo tema contribuisce all'iniziativa JOLNet, testbed di rete geografica SDN/NFV, e a progetti che mirano a valutare e sperimentare queste nuove tecnologie per l'evoluzione delle reti verso il 5G. Nello stesso filone si inquadra anche la sua attuale partecipazione ai progetti di ricerca europei FP7 UNIFY e H2020 5G Exchange ■

RETE COME PIATTAFORMA

Gianni Canal, Francesco Ludovico, Francesco Vadalà

La competizione tra gli operatori è sempre più agguerrita e il consolidamento del fenomeno Over-The-Top "OTT"[1] ha causato una significativa riduzione dei profitti: gli operatori devono essere "smart" e trovare nuovi flussi di ricavi, rivedendo i loro modelli di business in modo da essere non solo fornitori di pura connettività (*connectivity provider*).

Introduzione

L'industria delle telecomunicazioni ha goduto per un periodo lunghissimo di un formale e sostanziale monopolio che ha da un lato garantito uno sviluppo tecnologico robusto e condiviso, ma dall'altro non ha permesso agli operatori di sperimentare nuovi modelli di business poiché non necessario.

L'industry controllava l'e2e del mercato e della tecnologia: i costruttori dei terminali erano i medesimi delle infrastrutture di rete e insieme agli operatori lavoravano alla definizione degli standard da applicare. Un industry auto-referenziante.

Il primo snodo è avvenuto con la comparsa di Apple che si è presentata nel mercato dei terminali mobili senza seguire le impostazioni né le tecnologie che l'industry telco stava utilizzando. Nessuno credeva che Apple ce l'avrebbe fatta e invece impostando un nuovo modello di Business, aprendolo agli sviluppatori Apple ha disegnato la strada alle Platform Company subito seguita da Google.

L'industry telco ha faticato ad adattarsi al cambiamento ancorata alla sua comfort zone, che però non era più allineata al cambiamento di mercato: ha provato varie iniziative soprattutto nel mondo dei contenuti, ma sempre con un atteggiamento protezionista e poco orientato all'apertura.

Non bisogna poi dimenticare un fattore determinante per la fatica che gli operatori hanno fatto e

stanno facendo rispetto al successo degli OTT. I servizi forniti da un operatore sono localmente Universali ma Regionali ad un livello globale. Persino l'operatore maggiormente "globale" non riesce a operare su scala mondiale. D'altro lato, un qualsiasi OTT può sfruttare la reale raggiungibilità universale di Internet: l'ipotetica azienda *www.company.com* può essere raggiunta quasi universalmente e i suoi servizi usati da qualsiasi parte del mondo. Un qualsiasi OTT ha nativamente il mondo come mercato potenziale, e non esiste un equivalente tra gli operatori.

In questo articolo analizzeremo il percorso che sta portando gli operatori verso il modello TSP (*Two-Sided Platform*) e TIM verso una Platform Company attraverso la consapevolezza strategica che sia necessario superare il modello Service Provider verso un modello più moderno di "abilitatore" qualificante e qualificato di shared business sia verso il mondo OTT sia dei Service e Content Provider a partire dagli asset tecnologici di cui dispone.

L'apertura della rete tramite Network API

Le API (*Application Programming Interface,* in italiano *Interfaccia di Programmazione* di un'*Applicazione*) sono da tempo note agli sviluppatori come una modalità di interazione tra componenti software, ossia uno strumento tecnico attraverso il quale semplificare e risolvere il problema dell'interoperabilità tra moduli o piattaforme.

Le Network API (o NetAPI, [1]), ovvero API che descrivono funzionalità di rete erogate da una infrastruttura di un operatore Telco, sono nate a fine degli anni '90 nell'ambito dell'iniziativa Parlay, un consorzio guidato da BT. L'obiettivo iniziale di Parlay era la definizione di meccanismi ed interfacce per "aprire" la Rete Intelligente dell'operatore verso applicazioni di provider esterni, al fine di soddisfare una richiesta elaborata dall'authority britannica per le telecomunicazioni. Si trattava quindi di una imposizione proveniente dall'authority per permettere l'ingresso nella catena del valore di nuovi attori, tramite una "API-zazione" di scenari di apertura del call control: tali nuovi attori erano comunque omogenei al sistema "telco".

Seguendo l'evoluzione tecnologica delle API, dalla metà degli anni 2000 nell'ambito di lavoro congiunto tra 3GPP e Parlay sono state standardizzate le API OSA (*Open Service Architecture*) Parlay X Web Services, attività poi confluita nel 2008 in OMA (*Open Mobile Alliance*). Il sistema telco tradizionalmente e inizialmente chiuso ha dovuto aprirsi a partire da stimoli regolatori, ma senza molta convinzione, l'apertura della rete intelligente infatti non si è mai veramente concretizzata, ma è rimasto un timido e scettico tentativo.

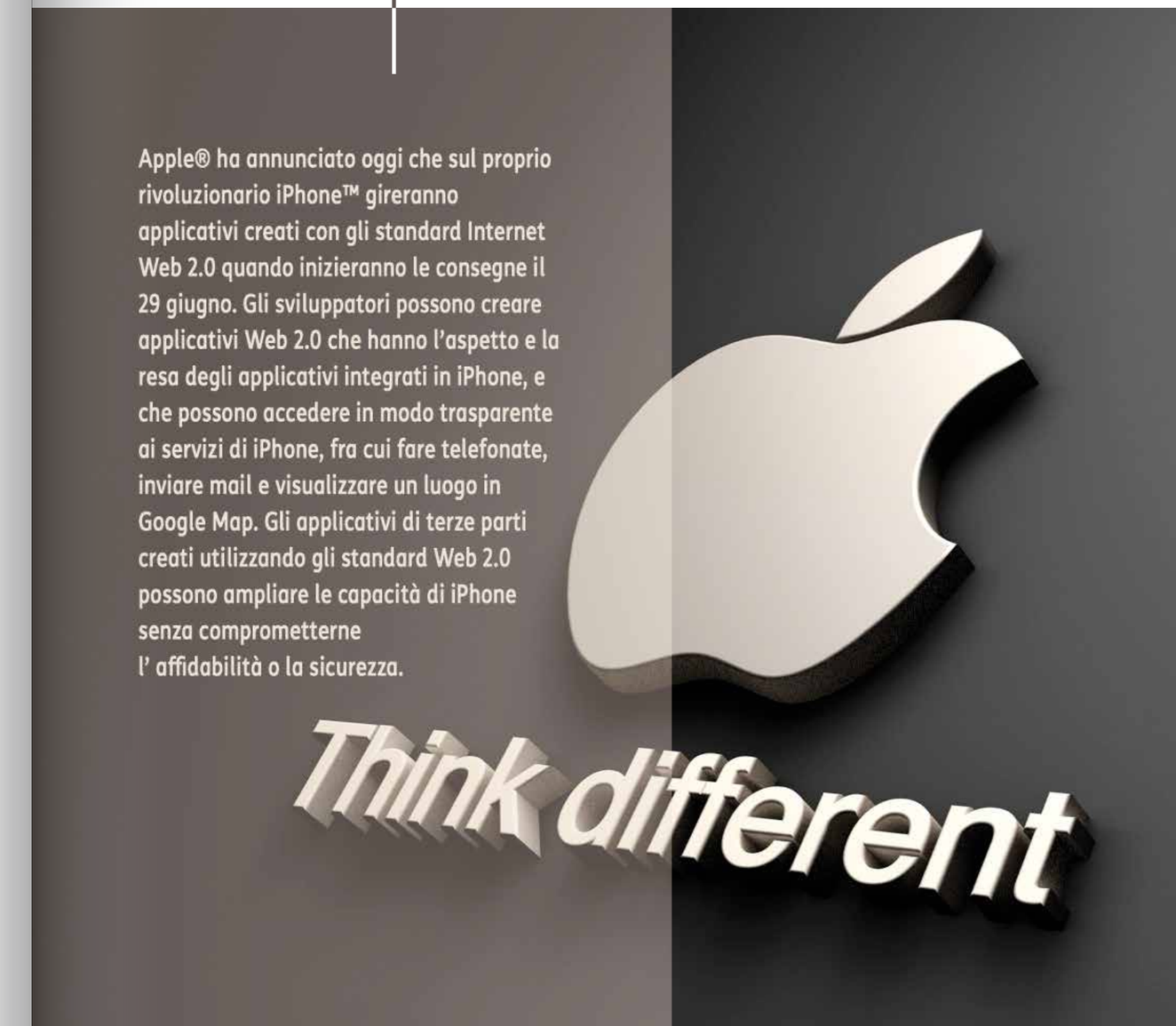
Il Web 2.0 ed il mercato bilaterale degli OTT

L'espressione "Web 2.0" apparve per la prima volta nel giugno 2004 come titolo di una conferenza organizzata da O'Reilly Media, editore statunitense di libri sulle tecnologie informatiche. Il numero 2.0 – aggiunto come fosse la seconda versione, aggiornata e migliorata, di un software – fu introdotto per indicare la "nuova onda" del Web, non più baricentrata sul browser, ma basata su un insieme più ampio di applicazioni software, che "rende possibile una nuova generazione di servizi e opportunità di business".

L'espressione Web 2.0 fa riferimento a comunità e servizi basati sul Web, ospitati in remoto e percepiti come di seconda generazione, che mirano a facilitare la collaborazione e condivisione fra utenti. Anche se il termine suggerisce una nuova versione del World Wide Web, non si riferisce a un aggiornamento di specifiche tecniche, ma a cambiamenti nel modo in cui gli sviluppatori di software e gli utenti finali usano il **Web come piattaforma**.

Pensare il Web in questi termini vuol dire che, nel passaggio dal Web 1.0 al 2.0, gli sviluppatori progettano e gli utenti usano tecnologie web per compiti e funzioni che prima si basavano su altre piattaforme, il che comporta per gli utenti accedere sempre più spesso a software e dati che stanno in rete, mentre prima risiedevano sul proprio laptop o comunque su server presenti nella propria azienda. È la differenza che c'è fra un servizio di posta elettronica che scarica le mail sul Pc e uno che permette di archiviarle e gestirle via web sul server del fornitore di servizio: nel secondo caso siamo già nel Web 2.0, perché usiamo la rete per archiviare, organizzare e gestire i dati.

Nel giugno del 2007, un comunicato ufficiale di Apple ([2]) recitava



Il Web 2.0 era appunto un approccio tipico del mondo web che in quel momento era nettamente separato dal mondo telco, due mondi separati e paralleli; il mondo web era visto come il luogo dei servizi *best effort*, senza qualità garantita, servizi che gli utenti finali (questo era il pensiero degli operatori) non avrebbero mai considerato seriamente. L'annuncio di Apple quindi non ha inizialmente preoccupato. Ma da quell'annuncio emerge una novità che avrebbe cambiato le carte in tavola: Apple si propone come intermediaria in un cosiddetto "mercato a due versanti" o "mercato bilaterale" (*two-sided markets*).

I mercati a due versanti sono mercati caratterizzati dalla presenza di una piattaforma (chiamata piattaforma bilaterale o TSP *two-sided platform*), gestita da un mediatore, che svolge la funzione di luogo di in-

contro o collegamento sia fisico sia virtuale fra due gruppi di utilizzatori distinti ma interdipendenti (ciascuno appartenente ad un versante) e consente loro di realizzare delle transazioni o, più in generale, delle interazioni, minimizzandone i costi e traendone mutuo beneficio. In sintesi, il mediatore vende due prodotti differenti ai due gruppi di utilizzatori, dipendendo la domanda di un gruppo dalla domanda dell'altro e, possibilmente, viceversa. L'interdipendenza tra i diversi gruppi di utilizzatori crea *network effects* (o "*positive feedback loop*" come li chiama Bill Gates[2] in [4]), per i quali il valore della piattaforma per un gruppo aumenta con il numero di utilizzatori sull'altro versante.

Il modello *two-sided markets* era già conosciuto e applicato in alcuni contesti tradizionali già prima dell'avvento del Web 2.0: pensiamo ad esempio alle carte di credito (dove si sommano gli interessi delle banche a quelli dei titolari delle carte di credito), o delle Pagine Gialle (inserzionisti e fruitori).

La TSP per il contesto Web 2.0 rappresenta quindi un abilitatore tecnologico in cui due gruppi di soggetti si scambiano direttamente prodotti, informazioni e/o contenuti traendone un mutuo beneficio recato agli utenti nel primo ambito influisce sulla relativa disponibilità di questi a pagare - derivante dalla partecipazione al sistema da parte dell'altro gruppo di utenti, nell'altro lato.

Social network e motori di ricerca sono due esempi di applicazione dell'approccio *Two-Sided Markets* nell'ambiente Web 2.0. Nel caso delle Social network, uno dei due gruppi di utilizzatori è rappresentato dagli utenti, i quali vogliono entrare in contatto con altri utenti, non vogliono entrare in contatto con gli inserzionisti, se non in casi speciali di "supporto" a marchi graditi (per gli inserzionisti è comunque un valore avere accesso ad una larga base di utenti). Nel caso dei motori di ricerca, gli inserzionisti preferiscono piattaforme con un maggior numero di contatti, ma anche gli utenti ricercano attivamente gli inserzionisti che offrono i prodotti oggetto della ricerca o comunque di interesse per l'utente.

L'applicazione di una TSP alle piattaforme OTT, pur sembrando quasi banale, in realtà è assolutamente **disruptive**, poiché sconvolge il concetto di offerta: non si tratta infatti di offrire un singolo prodotto, ma di una piattaforma che si caratterizzerà sempre per una velocità d'innovazione incredibilmente superiore al singolo prodotto. Il singolo prodotto è destinato a soccombere rispetto ad una TSP efficiente, come successo a Blackberry (il miglior prodotto di mobile mailing sul mercato) rispetto ad applicazioni mobili create su TSP come iOS e Android.

Il "modello" OTT

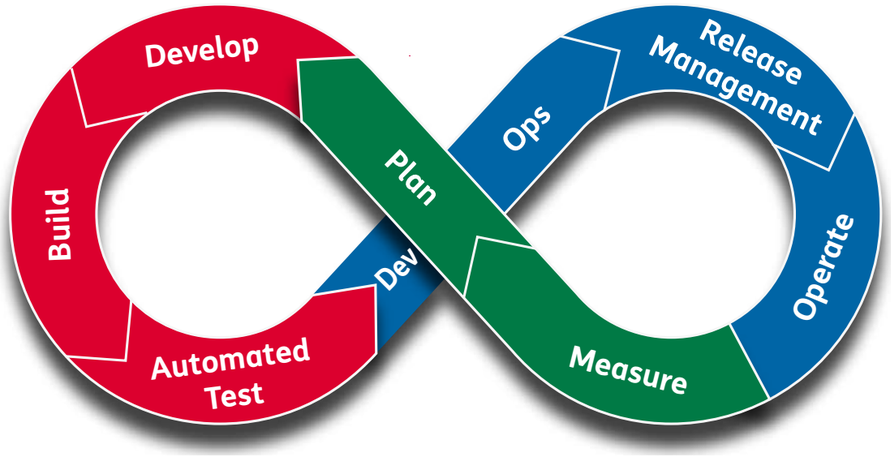
Gli OTT (Apple in testa) hanno dimostrato quindi come il modello di business *two-sided* funzionava (e anche molto bene) nel contesto Web 2.0, adiacente a quello telco tradizionale. Queste due industry hanno avuto poi punti di contatto, fino a diventare una sorta di contaminazione tra di essi; i cosiddetti OTT sono entrati prepotentemente nel business degli operatori, non c'era più una separazione netta dei servizi (cosa è OTT e cosa no), perché alla fine gli OTT hanno dimostrato di essere in grado di dominare il mercato in cui servizi, applicazioni e contenuti sono forniti su reti IP. Questa contaminazione ha stimolato alcuni tentativi di imitazione da parte degli operatori delle dinamiche del mondo Web 2.0: gli operatori hanno imitato (e non intercettato e fatto proprio) il modello di business Web 2.0 che però non ha funzionato. All'inizio degli anni 2000 c'è stata una *wave* verso l'"apertura" della rete: alcuni operatori ci hanno provato perché obbligati, altri si son detti interessati (con annunci di roadmap che di anno in anno venivano rimandati), molti operatori hanno creato delle iniziative di *developer program* anche su base internazionale (es. GSMA One API), ma in realtà evidenziavano uno scetticismo basato sul modo tradizionale di pensare fino a quel momento ossia "sono un Service Provider e ogni iniziativa deve essere coerente con questo mio modello". In questa fase molti operatori hanno iniziato ad utilizzare per il *Service Layer* l'approccio SOA (*Service Oriented Architecture*), "un paradigma per l'organizzazione e l'utilizzo di funzionalità distribuite,

che possono essere sotto il controllo di diversi domini amministrativi", utilizzato per la progettazione di sistemi software. I tentativi di apertura delle reti e l'applicazione dell'approccio SOA possono essere definiti come la "prima generazione" dell'evoluzione degli operatori.

La "**seconda generazione**" si colloca all'inizio degli anni 2010, e si focalizza sul tema del *decommissioning* (ossia la dismissione delle tecnologie *legacy*), cui si affiancano quelli della razionalizzazione e della semplificazione delle reti (riduzione dei livelli di rete – *delayering*, riduzione degli apparati di rete - *deboxing*), si è posto all'attenzione delle telco in tutto il mondo, soprattutto degli ex monopolisti, chiamati a razionalizzare e semplificare le reti per investire al meglio in reti e servizi innovativi. Le Telco si son trovate pertanto obbligate da strategie di efficienza ad ammodernare le loro reti, sia per ridurre in maniera drastica i costi operativi sia per stare al passo coi tempi e rendere più competitiva la loro offerta di servizi.

Nel frattempo gli OTT hanno dominato il mercato dei servizi all'utente finale, e questo è successo non solo grazie al modello *two-sided platform*, ma anche e soprattutto perché OTT hanno continuato nel far evolvere le loro piattaforme, adottando tecnologie *Agile*[3] di sviluppo, spingendosi fino a **DevOps**.

Con il termine DevOps (dalla fusione delle parole "*development*" e "*operations*", [1]) si intende una metodologia di lavoro che punta alla comunicazione, collaborazione e integrazione tra sviluppatori e addetti alle *operations*, in cui tutti condividono rischi e benefici di un processo di innovazione rapido. In questo modo il flusso di lavoro pianificato è ad elevato tasso di deployment, e si ha un controllo e una visibilità maggiori sullo stato di avanzamento delle applicazioni nella pipeline di rilascio. La prima esigenza da cui trae origine il successo di questa metodologia è la necessità di ridurre il time-to-market nel processo di produzione e messa in esercizio del software, ossia il tempo che intercorre tra l'idea di business e la soluzione in produzione, tenendo conto che tradizionalmente la separazione tra l'area dello sviluppo e quella del deployment creava numerose inefficienze. Il secondo aspetto è poi la necessità di incrementare l'affidabilità e stabilità degli ambienti di produzione e la qualità del software. Con questo approccio, gli OTT son riusciti a ridurre il time-to-market nel processo di produzione e messa in esercizio del software,



1
Il ciclo della metodologia DevOps

ossia il tempo che intercorre tra una richiesta del business e la soluzione in produzione, e allo stesso tempo incrementando l'affidabilità e stabilità degli ambienti di produzione e la qualità del software. DevOps è in qualche modo legato alla metodologia di Agile, molto diffusa in ambito sviluppo che ha portato a interazioni più frequenti e a rilasci intermedi del software in modo da ottenere un migliore e più rapido allineamento con le richieste del business. Con DevOps si avvicinano gli sviluppatori alle operations, con obiettivi di maggiore collaborazione e condivisione dei risultati finali, ottenendo quindi anche una riduzione del time-to-market. DevOps prevede l'automatizzazione di processi, tipicamente legati alla messa in produzione del software, che tradizionalmente erano manuali; gli sviluppatori hanno possibilità di verificare più rapidamente il funzionamento in ambienti di produzione creati su misura, codificati e riproducibili. Considerando la catena delle attività che partono dai bisogni dei clienti e terminano con il rilascio di nuovi prodotti/servizi, DevOps si posiziona al centro e non solo coinvolge sviluppo e operations, ma finisce indirettamente per influenzare l'intera organizzazione (come cambiamento culturale), che in ultima analisi diventa molto più rapida nella risposta alla domanda del mercato.

La nascita di DevOps viene fatta risalire al 2009, quando Patrick Debois, programmatore e manager, presenta per la prima volta il concetto alla conferenza *Agile* di Toronto. Da allora i contributi, le idee, le collaborazioni in questo ambito sono costantemente cresciute, fino a portare a un vero e proprio "movimento DevOps". I "DevOps Days", iniziati nel 2009 in Belgio, si sono quindi diffusi in ogni parte del mondo, in India, USA, Brasile, Australia, Europa e anche in Italia.

I maggiori OTT (ad esempio Flickr, Spotify, Netflix, Facebook) sono state le aziende che hanno tratto **maggiori benefici da un orientamento DevOps**: avevano come condizione imperativa per la stessa sopravvivenza in mercati a fortissima crescita la necessità di rilasci molto frequenti del software. La disponibilità di servizi *Platform as a service* in Cloud, che hanno realizzato un'automazione che riduce i tempi di messa in produzione del software, insieme a ulteriori contributi metodologici, come *Lean IT*, la filosofia del *Continuous Integration & Release, Agile Infrastructure Thread, Infrastructure-as-a-code*, sono stati tutti fattori che hanno portato all'affermazione di DevOps presso gli OTT.

Ecco che arriviamo quindi alla "**terza generazione**", quella attuale e che guarda al prossimo futuro: vediamo in cosa consiste. Nel mondo telco, dal punto di vista dell'evoluzione tecnologica, assistiamo al fenomeno della "*softwarizzazione* delle reti": tecnologicamente anche gli operatori si sono spostati verso il Full IP, e con la *softwarizzazione* sempre più spinta, anche la rete e i suoi sistemi diventano un software applicativo (ad esempio un nodo GGSN, il sistema di billing, la piattaforma per la gestione delle identità, tutto diventa un applicativo software tanto quando un Web Server). Questo sta portando gli operatori a modificare il modo con cui considerano e progettano i propri sistemi, da un approccio telco a un approccio informatico.

La "*softwarizzazione* della rete" permette quindi di applicare anche in tutto il contesto telco inclusi i sistemi di rete le tecniche e le metodologie adottate dagli OTT: tecniche DevOps, di Lean IT, del Continuous Integration & Release. Il mondo telco si sta quindi tecnologicamente trasformando (o meglio ... ha le potenzialità per farlo), prendendo a modello quello OTT, consentendo anche agli operatori di abbattere i costi e i tempi di sviluppo del software, aumentandone la qualità e la soddisfazione dei clienti.

Ma come in occasione della seconda generazione un allineamento tecnologico non sarà sufficiente: serve un cambiamento anche sulla strategia e sul modello di business per rendere credibile ed efficace la trasformazione.

I fattori abilitanti per diventare Platform Company

Ecco quindi che troviamo nella terza generazione tutti i fattori abilitanti per gli operatori per diventare della Platform Company, ossia per istanziare con successo il modello *Two-Sided Platform* nel mondo telco.

Orientarsi al concetto di "piattaforma" richiede flessibilità, interattività, rapidità, qualità nell'offerta di funzionalità/servizi al mondo dei partner e sviluppatori in modo da seguire adeguatamente le evoluzioni del mercato e le sue dinamiche.

Il primo fattore abilitante è l'**Exposure layer**, ossia l'esposizione di funzionalità tramite API verso (possiamo dire adesso) gli utilizzatori della piattaforma. Questo livello deve essere un *framework* per garantire un intermediazione verso tutte le funzionalità Network e IT, deve permettere la realizzazione di modelli di vendita flessibili integrandosi agevolmente con le catene commerciali siano esse Consumer che Business. Il modello di offerta deve essere il più possibile self-service, con procedure di registrazione utenze e di *accounting* automatiche (*self-provisioning*) nonché la possibilità di realizzare bundle di offerta API e di fornire all'utente dashboard e console per monitorare l'utilizzo delle stesse.

La "piattaforma" deve essere flessibile nell'abilitare vari modelli di business nell'offerta di API agli utilizzatori della piattaforma (Content Service Provider, Partner/Reseller, MVNO, cliente Business, soggetto Wholesale, OTT), ossia deve abilitare vari **modelli di relazione commerciale** come ad esempio:

- Modello B2B: l'utilizzatore delle API realizza servizi per i propri clienti utilizzando le risorse dell'operatore;
- Modello B2B2C: l'utilizzatore delle API offre un servizio/contenuto al cliente dell'operatore;
- Modello B2B2B (intermediazione con aggregatore): un soggetto aggregatore raccoglie ed uniforma le API (ed i relativi processi) di più operatori, offrendoli ad utilizzatori esterni che realizzano i servizi;

e nel contempo supportare molteplici **modelli di gestione del flusso economico** come ad esempio:

- Modello Pay per Use: l'utilizzatore delle API remunera l'operatore per l'uso delle risorse "consumate" (es. su base volume, con o senza canone base);
- Modello Revenue Sharing: l'utilizzatore delle API addebita il servizio offerto sul conto del cliente dell'operatore e l'operatore riconosce una percentuale delle revenue all'utilizzatore delle API, oppure dualmente l'utilizzatore delle API addebita il servizio offerto sul conto del proprio cliente e riconosce una percentuale delle revenue all'operatore;
- Modello Flat/Freemium: consente l'utilizzo di API ad un ecosistema omogeneo di utilizzatori, di medio/piccole dimensioni, su base canone, con limitazioni di utilizzo sui volumi;

lasciando libertà a chi utilizza la "piattaforma" di disegnare in autonomia il modello di business migliore supportandone la massima flessibilità.

Il secondo fattore abilitante è la **Network Automation**. Le prestazioni di rete devono essere disponibili e configurabili in modo flessibile e automatico. La NA automatizza l'intero ciclo di vita operativo dei dispositivi di rete dal provisioning alla gestione delle modifiche basata su policy, fino alla gestione di protezione e conformità. Abbinandola a una versione evoluta degli OSS, si ottiene una soluzione integrata che unifica disponibilità, prestazioni e *fault tolerance* della rete, con modifiche, configurazione, conformità e diagnostica automatizza.

Il terzo fattore abilitante è il Telco Cloud. **Telco Cloud** prevede la creazione di un'infrastruttura virtualizzata comune per implementare e gestire diverse applicazioni di rete offerte da molteplici fornitori di rete. Ciascuna applicazione diventa un'applicazione virtuale che esegue una specifica funzione di rete, usando abilmente tutte le capability offerte dal Cloud Computing in termini di elasticità, elevata disponibilità e gestibilità. L'evoluzione delle tradizionali applicazioni di rete, inoltre, incoraggia la concorrenza tra i fornitori di Telco e consente l'ingresso di nuovi operatori nel mercato delle telecomunicazioni. L'infrastruttura comune di base può essere realizzata con strumenti di un datacenter COTS (*Commercial off-the-shelf*), in modo da ottenere vantaggi sugli investimenti iniziali di capitale e sui costi operativi dell'infrastruttura.

Il quarto fattore abilitante è il **BSS evoluto** ossia la profilatura e la conoscenza dei clienti che sia sempre meno telco e sempre più digitale: superare le barriere dei BSS legati alle tecnologie di accesso fisse o mobili, creare una profilatura unica del cliente sfruttando il cosiddetto "*network effect*" ossia la conoscenza molto profonda che deriva dall'uso che i clienti fanno dei servizi e della rete degli operatori, nonché procedure sempre più flessibili per l'accounting e il billing.

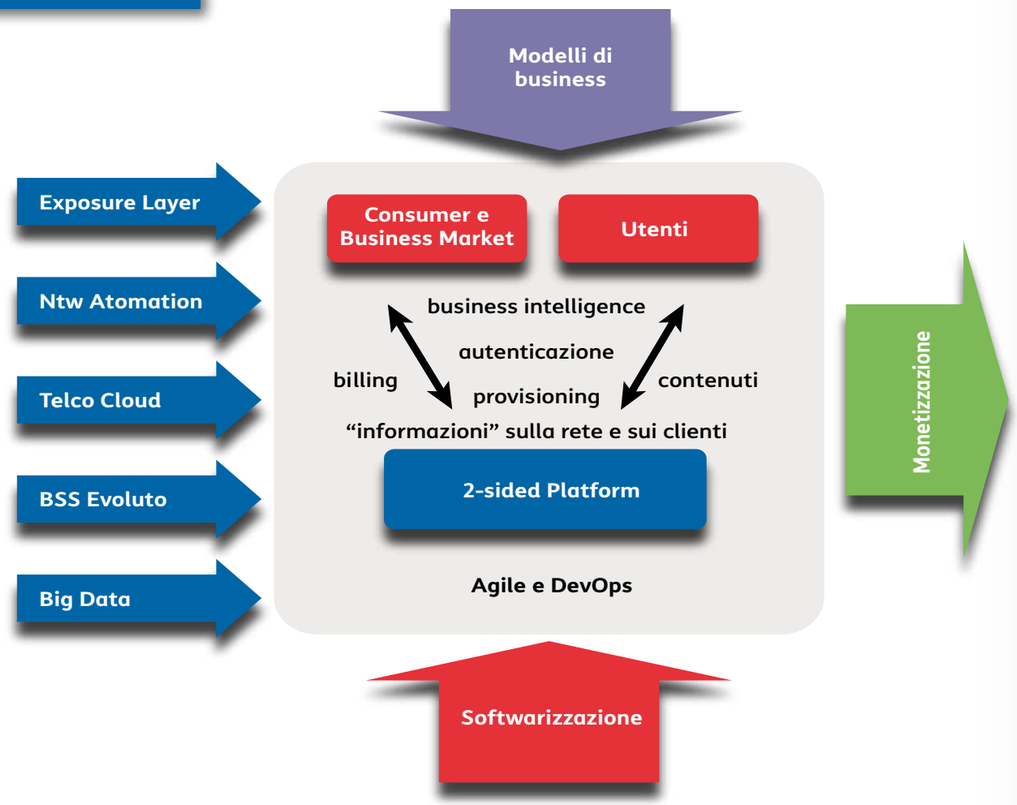
Il quinto fattore abilitante sono i **Big Data**. Gli operatori producono una enorme quantità di dati relativamente alla rete e agli utenti, e questa mole di dati può offrire valore aggiunto se la si valorizza e analizza in modo da sfruttarne tutto il potenziale.

Il tutto con metodologie Agile e spingendo verso il **DevOps** come introdotto in precedenza.

Ma quali sono gli asset che gli operatori possono sfruttare per creare l'ecosistema TSP? Quali sono gli elementi caratterizzanti che permetteranno una monetizzazione e quindi la creazione di un nuovo modello di business?

Il primo è sicuramente la **connettività**. I contenuti e in particolare il servizio video generano già oggi

2
Ecosistema di una Two-Sided Platform nel mondo telco



circa il 70% dei volumi dati che le reti dei Telco trasportano, e la loro incidenza è destinata ad aumentare in modo evidente nei prossimi anni. La fruizione dei contenuti avviene in modo sempre più convergente e trasparente sulle diverse tecnologie di rete fissa e mobile e su diverse tipologie di terminali, il tutto uniformato dal protocollo IP.

Ai tradizionali Content Providers (es. *broadcaster* televisivi) si sono affiancati nuovi soggetti OTT dedicati alla distribuzione sia di contenuti premium che autoprodotti, alimentati dal modello "social"; i contenuti premium inoltre proseguono nel rincorrere qualità sempre maggiore, con il prossimo passaggio dal full HD al 4K. La sfida per gli operatori è quindi quella di **monetizzare il delivery dei contenuti** all'utente finale, **garantendo** QoE **(***Quality of Experience*), offrendo ai Content Provider un *framework* di API che permetta in modalità self-service di effettuare provisioning, billing, autenticazione e anche business intelligence.

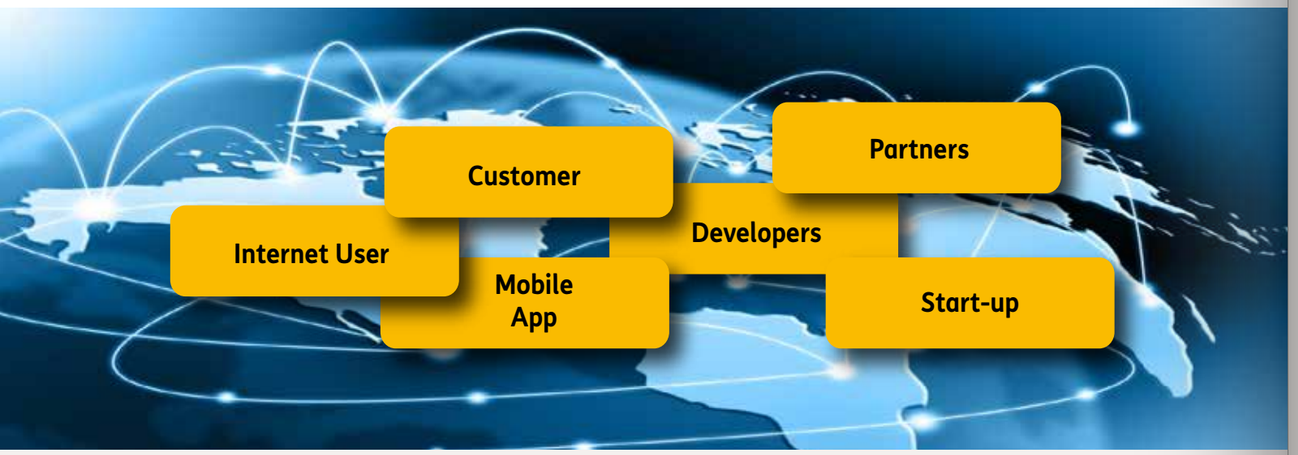
Un altro asset particolare che gli operatori possono **monetizzare sono le "informazioni" sulla rete e sui clienti**. Ad esempio, gli operatori hanno accesso a dati di micro-segmentazione degli utenti-consumatori e a informazioni sull'uso di applicazioni e siti web per dispositivi mobili. Inoltre, hanno il vantaggio di possedere set di dati specifici per l'industria delle telecomunicazioni mobili, come ad esempio dati di localizzazione (dove si trovano gli utenti sul territorio). Gli operatori possiedono molte opportunità per utilizzare questi set di dati unici, sia verso l'interno sia verso l'esterno dell'azienda. Internamente, questi dati possono essere utilizzati per applicazioni di gestione della rete, servizio consumatori e marketing (una forma di monetizzazione indiretta). D'altro canto, gli operatori possono vendere all'esterno dei dati degli utenti (che hanno espresso consenso esplicito), come ad esempio il profilo rispetto a determinati parametri (preferenze), oppure dati aggregati e anonimizzati o pseudo-anonimizzati (es. distribuzione della popolazione sul territorio) verso settori contigui, come la pubblicità, il marketing, i servizi finanziari, la pubblica amministrazione, il settore della mobilità sul territorio.

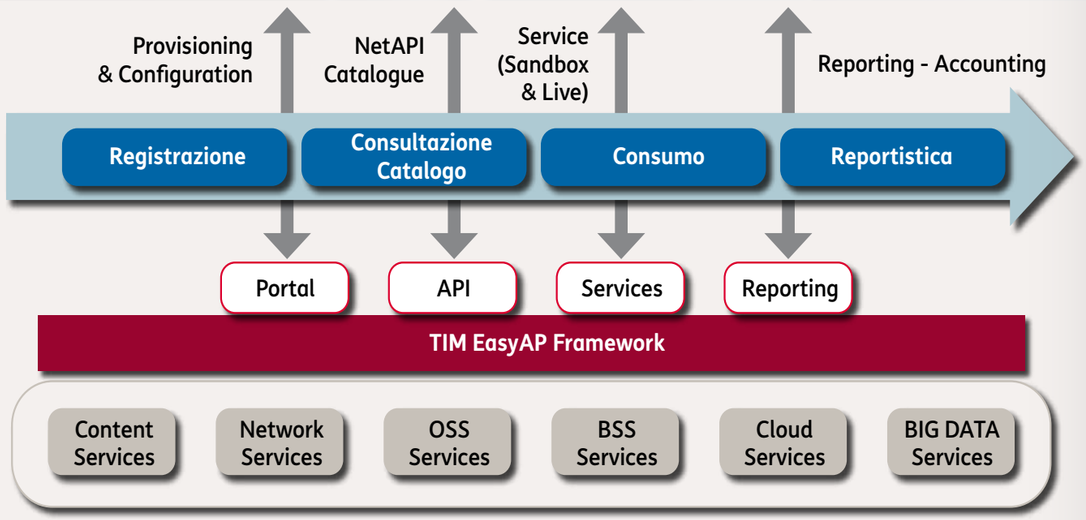
Il "modello" TIM EasyAPI Framework

La competizione tra operatori e l'erosione delle revenue dovute all'affermarsi degli OTT non lascia tregua, ed è per questo che in Azienda si è iniziato a pensare al TIM Market Place, per facilitare l'*on-boarding* di *Content Service Provider* del mercato Multimedia in maniera industriale, efficace, rapida, snella, con meccanismi "alla Amazon", mentre prima l'*on-boarding* avveniva con progetti e soluzioni verticali. Per indirizzare questo requisito, il progetto **TIM Market Place** (avviato nel luglio 2015) ha iniziato lo sviluppo di una infrastruttura abilitante la configurazione e la fornitura di servizi attraverso le Network API.

Il TIM Market Place può considerarsi una piattaforma "*two-sided*" verso i Content Service Provider del mercato Multimedia da un lato e verso gli utenti "consumer" dall'altro[4].

L'infrastruttura di cui il TIM Market Place è un'istanza è il cosiddetto "**Tim EasyAPI Framework**" ([6]). Il Tim EasyAPI Framework permette di disaccoppiare la logica delle API Platform dalla modalità di esposizione (separando quindi il back-end dal front-end di esposizione), uniformando le interfacce dal punto di vista tecnico con una **erogazione uniforme** (REST), con un unico meccanismo di autenticazione (basato su uso di token). In aggiunta alla parte *run-time*, Tim EasyAPI Framework prevede un **catalogo** usufruibile online dagli sviluppatori esterni ma usufruibile anche internamente (es. dal dipartimento marketing). Nel catalogo si possono trovare i dettagli tecnici delle API, ma anche esempi di utilizzo (approccio «**ready to use**»). Un ulteriore aspetto rilevante abilitato da Tim EasyAPI Framework è una **rendicontazione omogenea** dell'utilizzo delle API: vengono creati degli «event data record» che sono uniformati qualsiasi API del Tim EasyAPI Framework venga utilizzata, e che possono essere forniti ai sistemi di billing, minimizzando quindi gli impatti su questi ultimi. Il catalogo, oltre alla parte documentale, ha





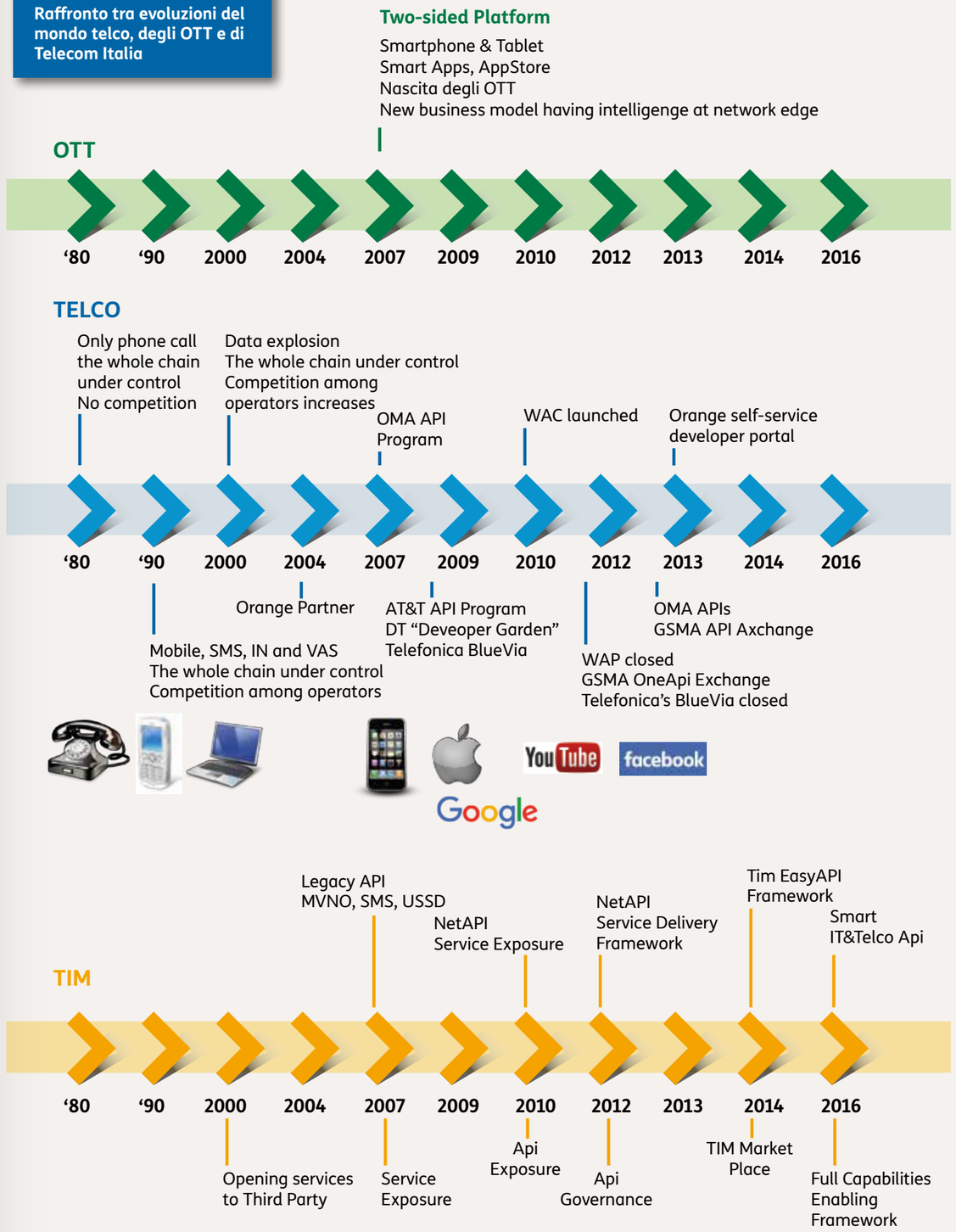
3
L'ecosistema del Tim EasyAPI Framework

anche una funzionalità di "*self provisioning*", attraverso la quale lo sviluppatore, una volta registratosi nel portale, può accreditarsi ed accedere al Tim EasyAPI Framework in maniera pressoché istantanea.

Verso la trasformazione in Platform Company

Vediamo adesso qual è il percorso che porterà TIM a diventare una Platform Company, ossia una company che si propone come una piattaforma abilitante verso i due gruppi di utilizzatori del *two-sided market* ICT (gli sviluppatori delle terze parti e gli utenti finali).
Il Tim EasyAPI Framework è il Framework architetturale di riferimento ("standard") per governare l'approccio "*one platform*" in un contesto di sviluppo cooperativo cross-funzionale.
Il Tim EasyAPI Framework è già nativamente un sistema *multi-tenant*:

4
Raffronto tra evoluzioni del mondo telco, degli OTT e di Telecom Italia



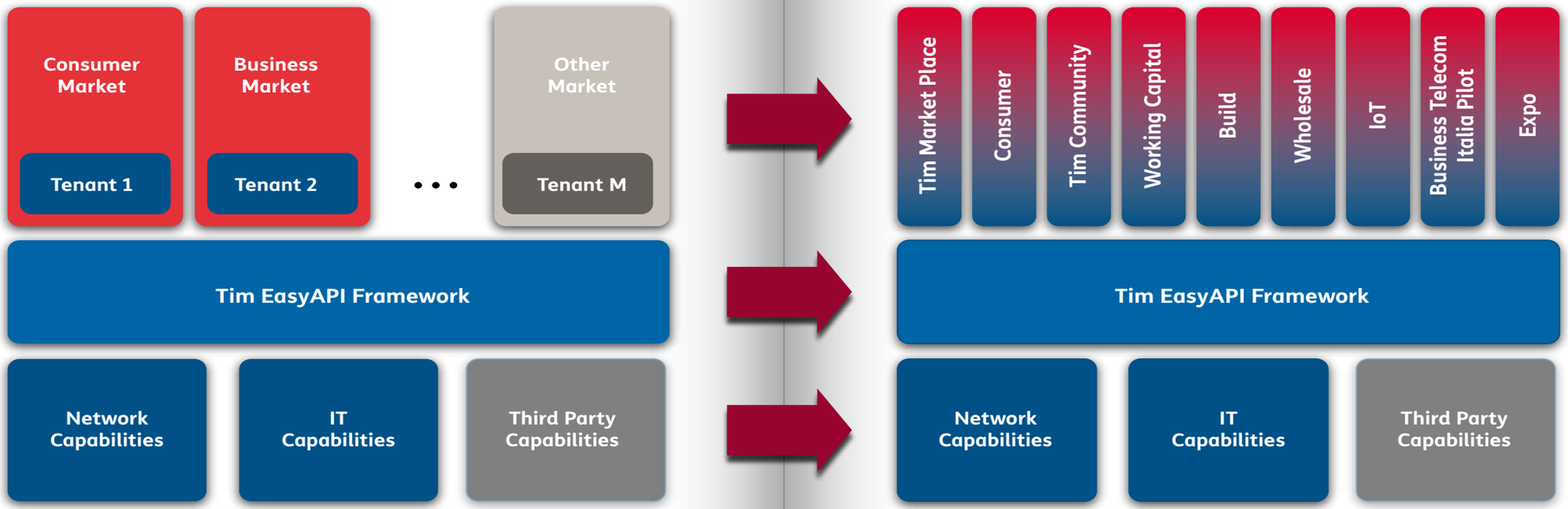
questo abilita flessibilità nel segregare istanze dedicate ai diversi modelli di business e canali commerciali, come già succede nel caso del TIM Market Place (si veda **Figura 5**).
Tim EasyAPI Framework abilita il disaccoppiamento tra infrastruttura e servizi, passando da silos verticali a un'architettura aperta, unificata e orizzontale, in cui la «one platform» abilita la massima varietà di applicazioni, basate su una base comune di risorse (es. connettività, computing), componenti/servizi (es. autenticazione) ed analytics, e ciò vale sia per applicazioni "**TIM-branded**" sia per applicazioni erogate da terzi "**TIM-enabled only**".

Le risorse con cui il Tim EasyAPI Framework può integrarsi per diventare risorse della "*one platform*" non sono solo risorse "core" (es. di rete e di home/office), ma anche risorse esterne alla rete application specific (es. parcheggio, sensori di ambiente) per estendere l'orizzontalità della platform.
Infine l'ultimo abilitatore tecnologico per massimizzare la leva del *network-effect* della «one platform» è la capacità di *analytics* evoluti, sia sui singoli componenti/contesti/servizi sia cross application/domain, in particolare le correlazioni nascoste e non note a priori (*Cross Analytics*).

Conclusioni

La competizione e le dinamiche di mercato stanno portando anche l'industry telco a ragionare sul modello di core business: il modello Service provider sembra non essere più l'elemento fondante le prospettive di business nel medio periodo. Dopo vari tentativi di imitazione che probabilmente sono stati più un esercizio tecnologico che una scelta strategica sembra essere matura la consapevolezza che serve a svoltare anche strategicamente verso la cosiddetta "*two-sided platform*" e orientare l'azienda a diventare un abilitatore e facilitatore della relazione di business tra gli sviluppatori e i clienti finali.
Gli OTT ed il Web 2.0 hanno dimostrato che un modello in cui una company crea un ambiente per mettere a disposizione di terzi le proprie infrastrutture è un modello che funziona. Gli operatori hanno asset che sono esclusivi e che possono attrarre partner e sviluppatori. La *softwarizzazione* delle reti e lo spostamento tecnologico del mondo telco verso l'informatica rende i sistemi e le piattaforme di rete molto più flessibili. L'API-zazione, ossia l'esposizione di funzionalità legate agli asset e ai dati attraverso un framework orientato alle API, rende più semplice e self-service l'accesso alle funzionalità e agli asset. L'applicazione di metodologie di *Agile Software Development* permette di garantire la rispondenza dei prodotti rispetto alle aspettative di mercato aumentandone la qualità. La Network Automation permette di ridurre il time-to-market nell'erogazione di servizi di rete. Infine i modelli BSS evoluti con al centro il cliente e il suo profilo a prescindere dalle reti o dai servizi che utilizza permettono una conoscenza del cliente che è determinante per fornire capacità di *business intelligence* evoluta.
Si delinea quindi la Platform Company come modello di business per l'operatore per il prossimo futuro: non più solo la fornitura di servizi all'utente finale, ma l'operatore come fornitore di una piattaforma aperta e flessibile con funzionalità specifiche per abilitare terzi allo sviluppo di servizi B2B e B2B2C siano essi aziende o sviluppatori.
TIM è stata tra i primi operatori ad "aprire" la rete attraverso l'utilizzo di Network API, prima con il Service Exposure ed oggi con la sua prima evoluzione TIM Market Place orientata al mercato Consumer e quelle successive atte ad incorporare anche il segmento Business, si pone in posizione vantaggiosa rispetto all'adozione del modello di business Platform Company ■

5
Il Tim EasyAPI Framework come elemento chiave per la trasformazione di Telecom Italia in una Platform Company



Note

1 Con il termine *Over-The-Top* (in acronimo OTT) si intendono le imprese che forniscono, attraverso la rete Internet, servizi, contenuti (soprattutto video) e applicazioni di tipo "*rich media*" (per esempio, le pubblicità che appaiono “sopra” la pagina di un sito web mentre lo si visita e che dopo una durata prefissata scompaiono). Esse traggono ricavo, in prevalenza, dalla vendita di contenuti e servizi agli utenti finali (ad esempio nel caso di Apple e del suo iTunes) o di spazi pubblicitari, come nel caso di Google e Facebook. Tali imprese, prive di una propria infrastruttura, agiscono al di sopra delle reti degli operatori di telecomunicazioni, da cui il termine *over-the-top*.

2 As more products became available and more information could be exchanged, more consumers would be attracted to the platform, which would in turn attract more investment in product development for the platform. Economists call this a “network effect,” but at the time we called it the “positive feedback loop”.

3 Nell'ingegneria del software, l'espressione “metodologia agile” si riferisce a un insieme di metodi di sviluppo del software emersi a partire dai primi anni 2000 e fondati su insieme di principi comuni, direttamente o indirettamente derivati dai princìpi del "Manifesto per lo sviluppo agile del software" (*Manifesto for Agile Software Development*) pubblicato nel 2001 da Kent Beck, Robert C. Martin, Martin Fowler e altri. I metodi agili si contrappongono al modello a cascata (*waterfall*) e altri processi software tradizionali, proponendo un approccio meno strutturato e focalizzato sull'obiettivo di consegnare al cliente, in tempi brevi e frequentemente (early delivery/frequent delivery), software funzionante e di qualità.

4 Con utenti “consumer” si intendono sia utenti TIM sia utenti non TIM, poiché il TIM Market Place abilita la fruizione dei servizi sia agli utenti TIM, ma anche ad utenti “*prospect*” ovvero utenti generici dotati di un indirizzo email e che potrebbero non essere utenti TIM. Il valore in questo caso è per i fornitori di contenuti il raggiungimento di una *customer base* e per gli utenti consumer la possibilità di fruire contenuti.

Bibliografia

[1] “Oltre le NetAPI”, Mario Bonnet e Pier Carlo Paltro, Telecom Italia Notiziario Tecnico n° 2 del 2014 *http://www.telecomitalia.com/tit/it/notiziariotecnico/numeri/2014-2/capitolo-08.html*

[2] Manifesto per lo Sviluppo Agile di Software, *http://agilemanifesto.org/iso/it/*

[3] “iPhone supporterà gli applicativi Web 2.0 terze parti”, comunicato Apple del 11/06/2007, *http://www.apple.com/it/pr/library/2007/06/11iPhone-to-Support-Third-Party-Web-2-0-Applications.html*

[4] Civil Action No. 98-1233 (CKK), paragrafo 25, DIRECT TESTIMONY OF BILL GATES, *http://www.politechbot.com/docs/gates.testimony.042202.pdf*

[5] “DevOps Top Trends 2015: Dalla Teoria alla Pratica”, *http://www.theinnovationgroup.it/wp-content/uploads/2014/12/DevOps-Top-Trends-2015_Dalla-Teoria-alla-Pratica.pdf*

[6] “Telco 2.0: da Service Exposure a Service Prosumer”, Alberto Baravaglio e Gianni Canal, Notiziario TecnicoTelecom Italia Anno 17 n. 1 - Aprile 2008, *http://www.telecomitalia.com/content/dam/telecomitalia/it/archivio/documenti/Innovazione/NotiziarioTecnico/2008/fd_numero01/p_59_68.pdf*

[7] “Easy API: strumento per la monetizzazione degli asset di Telecom Italia”, Francesco Ludovico, Notiziario Tecnico Telecom Italia n° 2 del 2015, http://www.telecomitalia.com/tit/it/notiziariotecnico/edizioni-2015/2015-2/capitolo-9/approfondimenti-2.html

Gianni Canal *gianni.canal@telecomitalia.it*

laureato in Informatica, nel gruppo dalla fine del 1992 si è occupato di ricerca nei suoi primi anni in Azienda nell’ambito dell’innovazione della Rete Intelligente prototipando i primi CASE tool grafici e contribuendo con collaborazioni internazionali alla diffusione della cosiddetta convergenza tra Internet e Telco anche partecipando in IETF alla standardizzazione del protocollo SIP.
E’ stato un pioniere di questa tecnologia, coordinando il progetto di sviluppo SW della prima rete pre-IMS per l’introduzione del VoIP su rete fissa. Successivamente ha coordinato un team di innovazione sulle piattaforme di servizio nell’ambito della rete mobile per poi assumere il ruolo anche di ingegneria del comparto VAS mobile realizzando l’infrastruttura Service Exposure per l’onboarding di MVNO, SP e CSP. Negli ultimi anni è stato responsabile di un gruppo di ingegneria Smart Pipe con il compito di innovare la monetizzazione di dati e asset di rete. Attualmente è responsabile del Software Development Center di TILAB ■

Francesco Ludovico *francesco.ludovico@telecomitalia.it*

laureato in Ingegneria Informatica, dopo un’esperienza nel settore TLC presso un vendor, ha iniziato il suo percorso professionale nel gruppo, lavorando allo startup dei servizi VAS di TIM e poi nella progettazione e realizzazione dei servizi convergenti multimediali. Nel 2006 si è occupato del coordinamento di un team orientato alla realizzazione di servizi di caring su canali VAS e nella progettazione delle architetture VAS. Dal 2009 in TILAB si è occupato della evoluzione delle architetture dei servizi Smart Pipe, della ingegneria ed innovazione del Service Exposure e delle NetApi e dello startup del progetto Tim Market Place, realizzato sulla Piattaforma EasyApi ■

Francesco Vadalà *francesco.vadala@telecomitalia.it*

laureato in Ingegneria elettronica, è entrato in Azienda nel 2000, dove ha lavorato in diversi progetti di innovazione e R&D. Da metà 2014, fa parte del dipartimento “Smart Pipe & Network API”, dove analizza tecnologie emergenti e coordina per il dipartimento le attività standard nell’area del Service Layer, Smart Enablers, Network API, architetture per applicazioni mobili e service delivery. Delegato dell’ente OMA (Open Mobile Alliance), è stato Chairman del Requirements Work Group (marzo 2009 – marzo 2013) ed attualmente è Chairman della Technical Plenary (da novembre 2012). ■

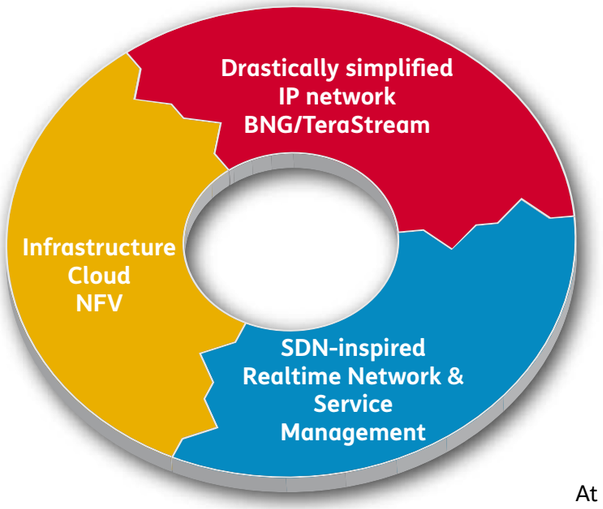
THE SOFTWARE DEFINED OPERATOR

Axel Clauberg

Any prediction remains difficult, especially if it is about the future [1]. But, predicting that Internet traffic will continue to grow exponentially seems to be a safe bet. We at Deutsche Telekom are committed to deliver the Best Network to our customers. In order to meet customer and investor expectations with the traffic demands of the future, network operators need to act - the old way of building networks and producing services will hardly scale for the future.

Google, Facebook and other Internet companies have proven that a new software and datacenter-based production model can deliver high flexibility, agility and highest availability. By latest with the move towards an "All-IP" network, network operators have to implement a similar approach in their production chain in order to be competitive. At Deutsche Telekom, we have summarized this strategy under the name Software Defined Operator.

For us, the Software Defined Operator has three main elements - the drastically simplified IP Network, the Infrastructure Cloud and a SDN-inspired Realtime Network and Service Management.



1
The Software Defined Operator

Drastically Simplified IP Network

Since the first carrier offers in the 1990s, our IP networks have become rather complex. Most operators are running a two-tiered IP/MPLS core on top of an OTN (*Optical Transport Network*) and a rather complex aggregation for broadband customers, including the termination of customer PPP over Ethernet connections on BRAS (*Broadband Remote Access Servers*). With the continued growth of IP traffic and the move to "All-IP", we have to ask ourselves the question whether we still need all the complexity to deliver our services.

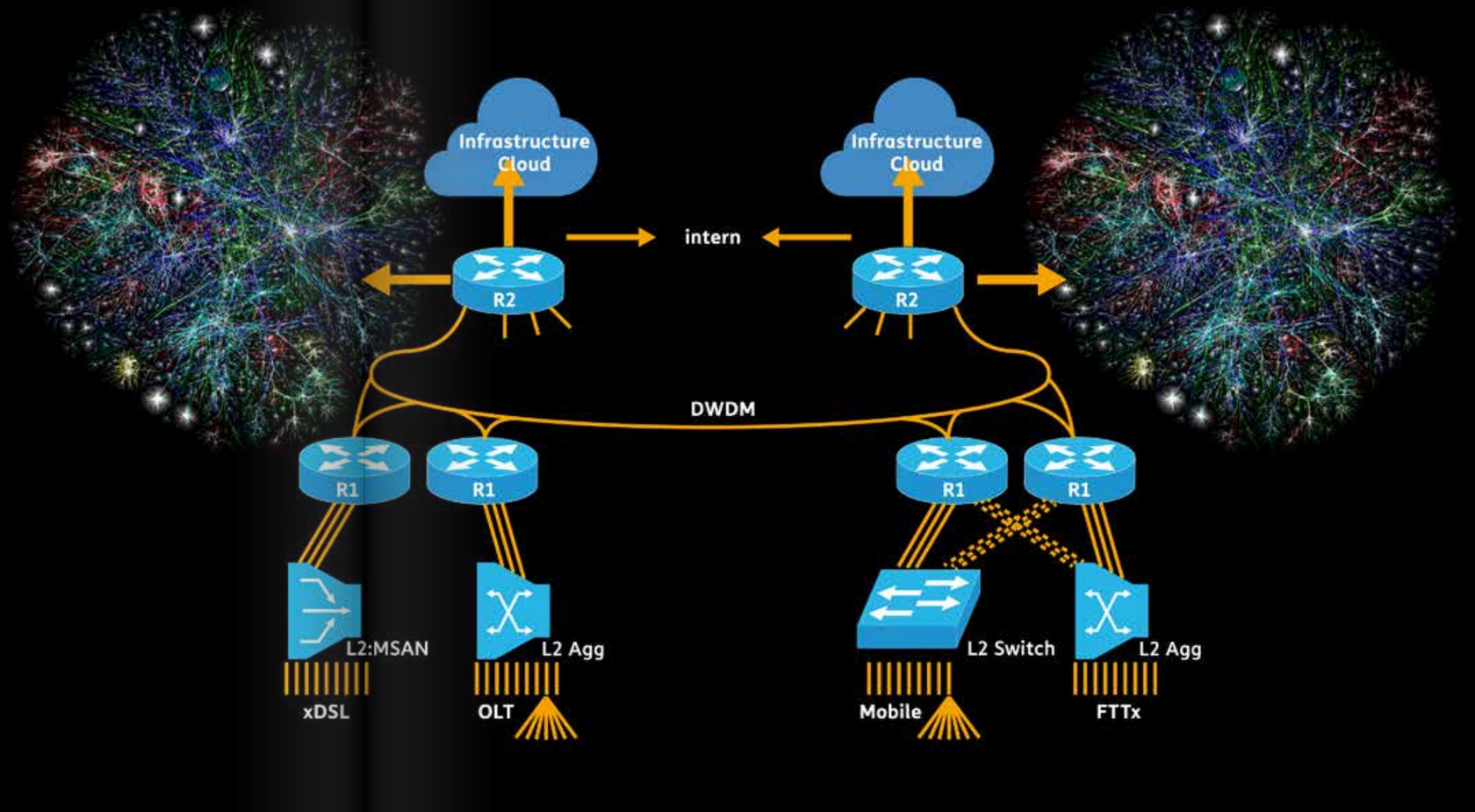
At Deutsche Telekom, we are driving the simplification with the current implementation of a Broadband Network Gateway into our production networks (e.g. in Germany and Greece). In parallel, we are developing a revolutionary long-term approach under the name TeraStream. We are currently running limited TeraStream customer pilots in two countries.

TeraStream only has two types of routers - R1 as customer facing edge router and R2 as Datacenter and Peering facing edge router. Optical transmission is fully integrated into the IP routers using 100Gb/s Coherent interfaces and an extremely simple optical drop and waste concept. TeraStream does not use any OTN - the only optical components in the network are amplifiers and very cheap optical splitters. TeraStream is agnostic to access technologies, covering both fixed and mobile access.

R1s are IPv6-only routers, IPv4 is delivered as a service - produced in the datacenters attached to the R2s, encapsulated using the standardized Lightweight 4over6 technology [2] and terminated on the customer premise equipment.

TeraStream does not use any MPLS. The efficient IP+Optical approach allows us to overprovision the core. QoS is applied at the Edge towards the customer.

2
The TeraStream Architecture



To simplify the routers to the bare minimum, we have tightly integrated network I/O optimized datacenters with the IP network. The operation of these datacenters at the R2 locations follows the Cloud paradigm, we have called this the Infrastructure Cloud.

Infrastructure Cloud

Traditionally, datacenters are optimized for compute performance and storage access. An ERP application like SAP in a traditional 3-tiered architecture is probably a good example - network traffic in a datacenter supporting these applications typically flows in east-west direction. High availability in such a datacenter is realized through redundancy on the network, server and storage layer.

These more traditional IT-orientated datacenters are not optimal for producing VNFs (*virtualized network functions*) in a telco environment. For VNFs, traffic typically flows north-south, from the server in the datacenter directly towards the network. Our Infrastructure Cloud model represented the first truly network I/O optimized approach in the industry. In our first pilots, launched in December 2012 in Croatia [3], each server was connected using 6 10 Gb/s Ethernet connections directly to the R2 routers. Most IT-optimized datacenters have this as a total capacity towards the network. High availability in the Infrastructure Cloud is achieved using georedundancy and a tight integration into the IP routing system.

We wanted to avoid a single vendor dependency in this critical area. The

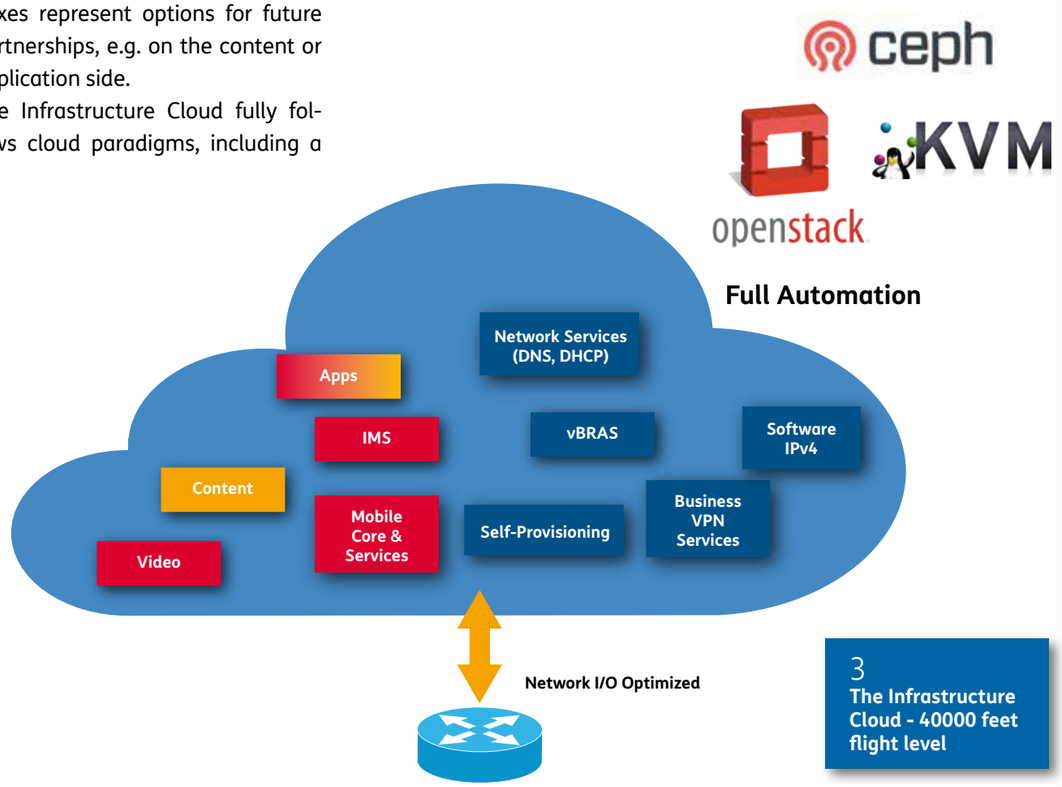
Infrastructure Cloud is fully based on Open Source. We are using KVM as Hypervisor, Openstack as Cloud Orchestration Framework and CEPH for our software defined storage approach.

Figure 3 shows a view on the Infrastructure Cloud from a very high flight level. The blue boxes represent network functions required to run the network like DNS, DHCP, virtualized routers for VPN services, the Lightweight 4over6 Softwire solution or for a migration a virtualized BRAS. The magenta boxes are representing traditional core services for fixed and mobile networks, including a packet core, IMS or video distribution systems. The yellow boxes represent options for future partnerships, e.g. on the content or application side.

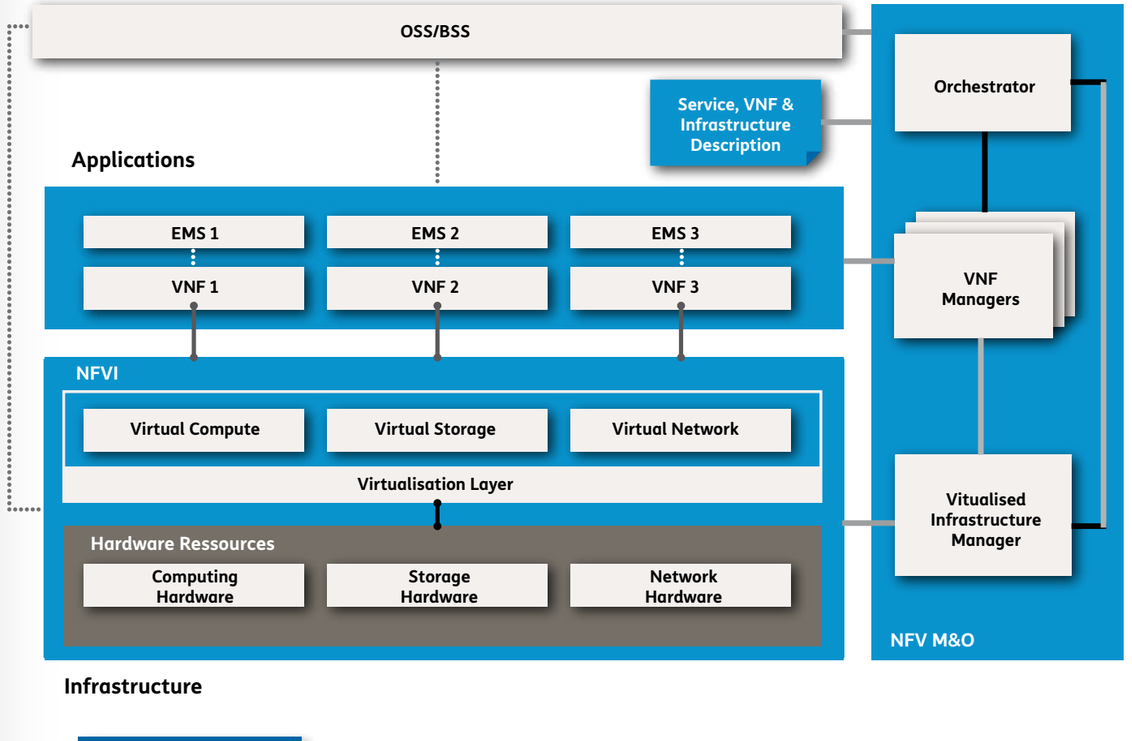
The Infrastructure Cloud fully follows cloud paradigms, including a Continuous Development / Continuous Integration / Automated testing cycle. This move to a Telco devops model still requires some focus - also on the supplier side.

The move to an Infrastructure Cloud based service production allows centralization of those services which can be centralized, and it allows to distribute what needs to be distributed. The move to virtualized or, better, cloudified network functions produced in the Infrastructure Cloud represents a major transformation for the telco industry. This is impacting the suppliers who need to partially rearchitect their network functions to make them cloud-ready, but it is also impacting our teams on the operator side. Innovation, Collaboration, and Empowerment of the teams are required to make this approach successful.

The ETSI ISG on NFV [4] had developed the reference architecture shown in **Figure 4** - the major challenge in todays implementations is on the orchestration side. While OpenStack [5] is generally accepted as Infrastructure Manager for a Virtual Machine based environment, new developments like the lighter virtualization approach using containers has to be integrated. On the overall orchestration, we are seeing



3
The Infrastructure Cloud - 40000 feet flight level



4
ETSI NFV Reference Architecture

many parallel efforts, both on commercial products as well as on Open Source - but, none of the approached currently meets all the operator requirements.

Overall, Open Interfaces and Open Standards are crucial for the success of the Infrastructure Cloud and the Cloudification of Network Functions. The role of traditional standards is in many areas replaced or at least complemented through Open Source. A word of warning: many vendors are using the word Open when they publish a specification - but, is a specification owned by one entity really open, or is it just "published"? The author strongly believes that Open approaches require a community or standardization organization behind.

The initial version of the Infrastructure Cloud is built using standard x86 server hardware. With a massive rollout, efficiency has to be a main focus. On Jan 27, 2016 a group of operators including Deutsche Telekom announced to join the OCP (*Open Compute Project*) [6], forming a TelCo working group within OCP.

OCP was originally established with the help of Facebook. Applying the Open Source spirit to hardware, open specifications developed in a community effort have revolutionized the datacenter, leading to a significantly lower Capex and Opex. OCP has developed optimized racks, servers, switches and storage systems.

The OCP approach was recently complemented through the TIP (*Telecom Infrastructure Project*) [7], applying the same Open Source mindset to the overall Telco infrastructure, including Fixed and Mobile Access, Aggregation, IP Core. We strongly believe that TIP can do to

those areas what OCP did to the datacenter. Community-driven open specifications will lead to disruptive innovation across all network areas. Within TIP, our team from Deutsche Telekom will initially focus on IP-based access, aggregation, IP and Optical integration - also bringing in some related work we are driving, for example on home networking.

Realtime Network and Service Management

The author strongly believes that all the simplification in the IP network, all the work around the Infrastructure Cloud is of limited value unless we are changing the way we are managing our networks and services. As part of TeraStream, we have developed a new realtime approach - this was inspired by some work around SDN.

We do not believe in rearchitecting the network or operational support systems for new services we want to integrate - we should be able to "program" service and fully automate the operation.

Our Realtime Network and Service Management approach (RT-NSM) is fully based on YANG, a generic schema description language standardized within the IETF (*Internet Engineering taskforce*).

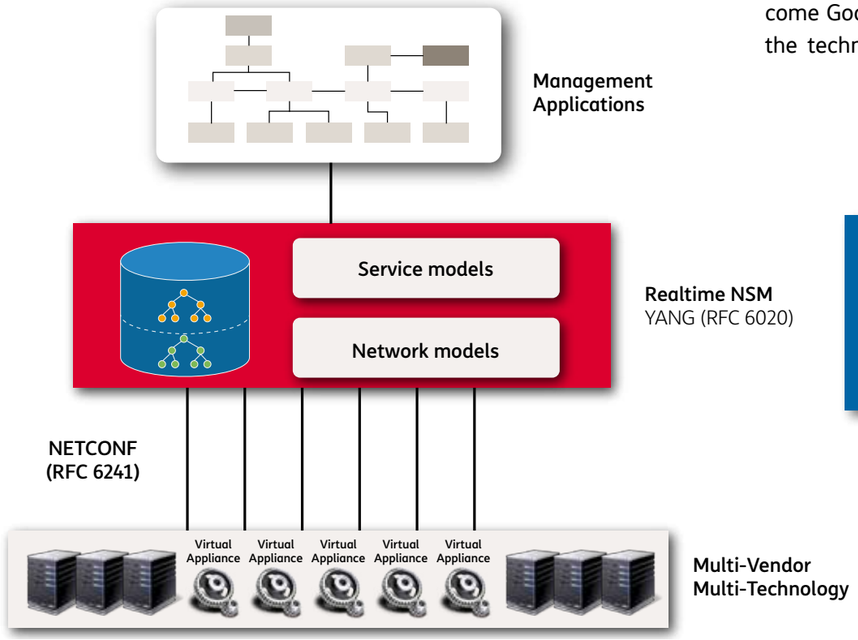
Southbound, element managers or specific integration into OSS systems have been replaced by using standardized YANG datamodels to access the physical or virtualized network elements, NETCONF is used for the communication.

But, YANG datamodels can also be used northbound towards the business support systems. Describing services in YANG leads to a fully automated YANG-based RT-NSM, addressing both the traditional fulfillment as well as the assurance space.

Summary

Software Defined Networks and the Cloudification of Network Functions sure have the potential to fundamentally change the telco landscape. Sure, telcos won't become Google II or Facebook II - but the technologies originally developed by the Internet companies are adopted by the network operators, both on the software as well as the hardware side. The Open Compute Project has changed the way large datacenters are build, the Telecom Infrastructure Project will change the way telco networks are build.

The broad adoption of the technologies described in this article will happen over the next years. Until then, a lot of focus has to go on orchestration and automation of all services, as well as the scalability and efficiency of the technologies ■



5
YANG-based Realtime Network and Service Management

Bibliografia

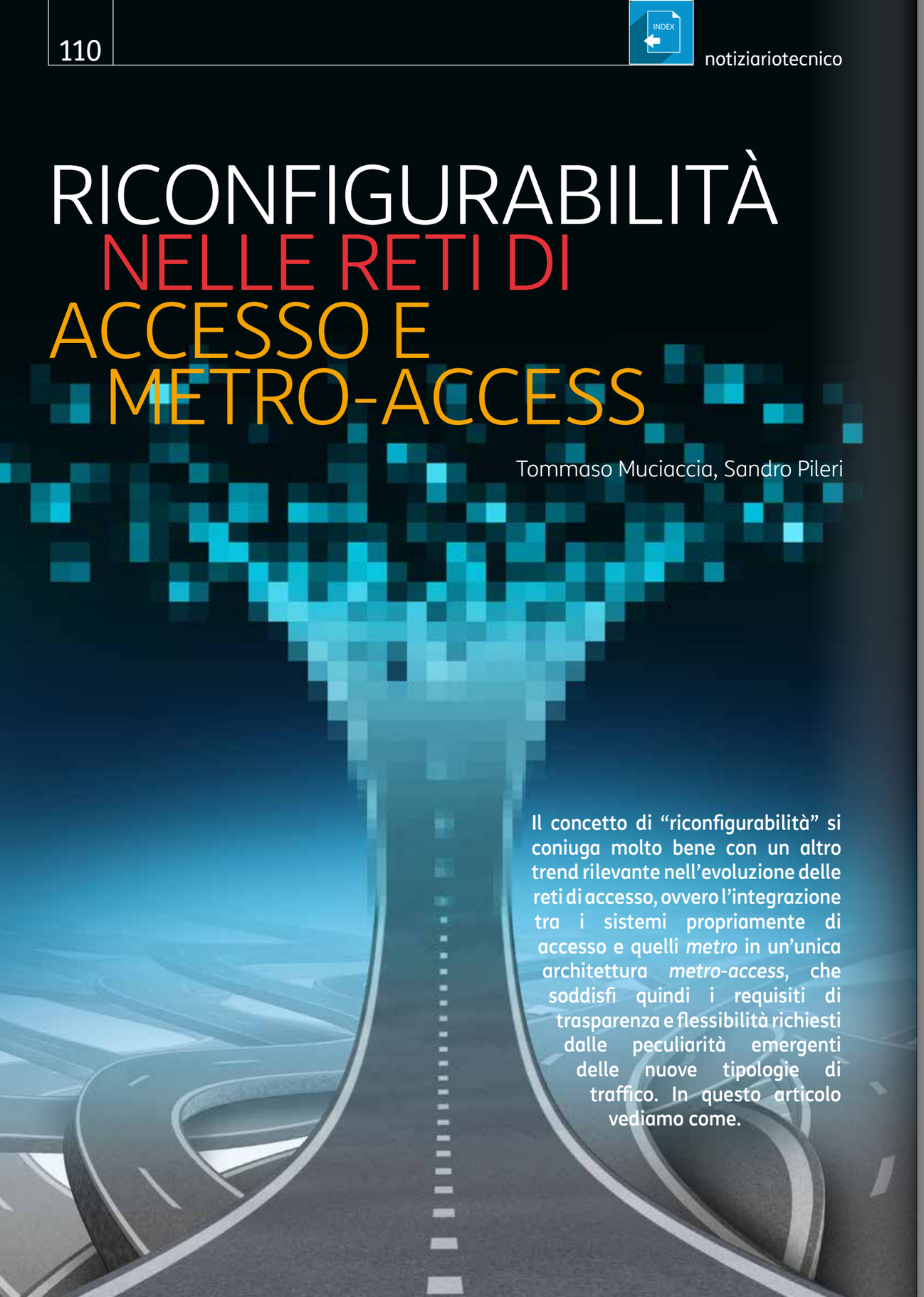
[1] *http://quoteinvestigator.com/2013/10/20/no-predict/*
[2] *https://tools.ietf.org/html/rfc7596*
[3] *https://www.telekom.com/media/company/168008*
[4] ETSI NFV ISG *http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/nfv*
[5] OpenStack *http://www.openstack.org*
[6] Open Compute Project *http://www.opencompute.org*
[7] Telecom Infrastructure Project *https://telecominfraproject.com*

Axel Clauberg *clauberg@telekom.de*

within Deutsche Telekom's Group CTO team, Axel Clauberg is responsible for Aggregation, Transport and IP. His team develops and implements TeraStream, the Infrastructure Cloud and RT-NSM. He is representing Deutsche Telekom in the board of the Open Networking Foundation and is an advisory director for MEF. Axel has been driving Deutsche Telekom's membership into OCP as well as the Telecom Infrastructure Project. Axel uses IP since 1984 when he was working on his diploma in Physics at University of Cologne. Axel lead the Networking department at the Computing Center of the University of Cologne from 1989 to 1998. Axel had various international technical leadership roles at Cisco Systems from 1998 to 2011. ■

RICONFIGURABILITÀ NELLE RETI DI ACCESSO E METRO-ACCESS

Tommaso Muciaccia, Sandro Pileri



Il concetto di "riconfigurabilità" si coniuga molto bene con un altro trend rilevante nell'evoluzione delle reti di accesso, ovvero l'integrazione tra i sistemi propriamente di accesso e quelli *metro* in un'unica architettura *metro-access*, che soddisfi quindi i requisiti di trasparenza e flessibilità richiesti dalle peculiarità emergenti delle nuove tipologie di traffico. In questo articolo vediamo come.

L'evoluzione del traffico nelle reti di accesso

Le reti di telecomunicazioni si trovano oggi di fronte ad una sfida epocale dettata dalla necessità di disporre di maggiore configurabilità, flessibilità e dinamicità. Questo approccio rivoluzionerà sia il modo di pensare alle reti (non più semplici *dumb pipes*), che il posizionamento degli operatori sul mercato dell'ICT e le loro prospettive di business. Aprire le reti significherà probabilmente favorire la generazione di un ecosistema di soggetti che graviteranno attorno all'operatore di telecomunicazioni e coopereranno per ottimizzare l'utilizzo delle risorse di rete e per offrire al cliente finale servizi sempre più *customer-tailored*.
Con il termine "riconfigurabile", nel contesto di questo articolo, si intende la possibilità per una rete di adattarsi dinamicamente, anche in tempo reale, alle variazioni delle condizioni nelle quali la rete stessa si trova ad operare, rispondendo in modo efficace ed efficiente a mutevoli requisiti di capacità, sicurezza e di QoS/QoE.
L'esigenza di rendere riconfigurabili le reti è avvertita prevalentemente a livello di reti *core* e reti di *data center*. In tali contesti si è affacciata negli ultimi anni la proposta di un nuovo paradigma, il SDN (*Software Defined Networking*), che in estrema sintesi realizza un disaccoppiamento tra il *Control Plane*, cioè il sistema che stabilisce il *routing* del traffico coordinato da un *controller* centralizzato, ed il *Data Plane*, ovvero il sistema sottostante che effettua il *forwarding* del traffico. Il controller SDN definisce la *routing table* di ciascuno *switch/router* mediante la sua interfaccia "*south-bound*" che tipicamente utilizza il protocollo standard *OpenFlow* [1].
Nella recente letteratura scientifica al modello SDN è stata dedicata una grande attenzione e, nel contesto mondiale delle telecomunicazioni, sono già stati effettuati i primi test e le prime *proof of concept*. Meno esplorata, fino ad ora, è stata invece la possibilità di applicare il concetto di riconfigurabilità all'estremità della rete più vicina agli utenti, ovvero nei segmenti di accesso e metropolitano. Scaturiscono quindi un paio di domande:

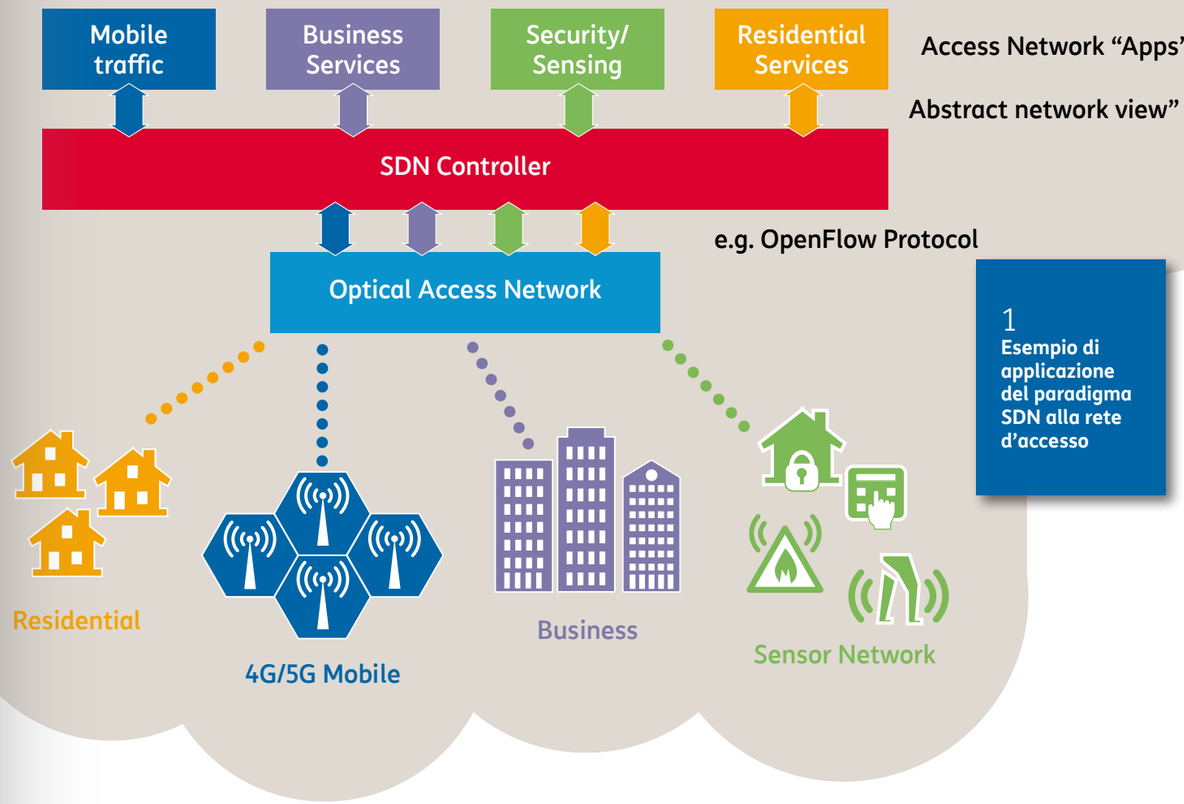
1) ha senso applicare questo nuovo approccio anche alle reti di accesso?
2) si può estendere il concetto di riconfigurabilità alle reti di accesso PON che gli operatori stanno realizzando in questi anni?

Sembra che la riposta ai due quesiti sia affermativa, almeno secondo quanto riportano alcune recenti proposte di ricerca in cui tale scenario viene denominato SDAN (*Software Defined Access Networking*) [2] o SDEN (*Software Defined Edge Networking*) [3], ma che, più in generale, potrebbe essere sintetizzato come "reti di accesso riconfigurabili", data l'eterogeneità delle soluzioni esplorate non sempre assimilabili al paradigma SDN.

Per comprendere l'opportunità dell'utilizzo del concetto di riconfigurabilità al segmento di accesso, è necessario rispondere ad un'altra domanda: come si stanno modificando la tipologia e la distribuzione del traffico sulle reti di accesso?
Da un lato è evidente che l'emergere dei servizi *bandwidth hungry* raccolti dalle nuove reti d'accesso ottiche sta portando ad una crescita del traffico secondo la legge di Nielsen (aumento del 50% all'anno).
D'altro canto è altrettanto palese che il *cloud computing* e l'impiego sempre maggiore di tecnologie mobili stanno modificando radicalmente sia le caratteristiche del *traffic pattern*, sempre più dinamico e difficilmente predicibile, che le necessità per gestirlo al meglio [4]: le capacità richieste dal *cloud* variano significativamente nel tempo, mentre le peculiarità del traffico raccolto sulla rete mobile sono principalmente la migratorietà e la volatilità [5]. Si pensi, ad esempio, alla distribuzione del traffico nell'arco di una giornata in una grande città: al mattino si potrebbe ipotizzare un picco di traffico nel quartiere d'affari o nelle zone industriali; progressivamente potrebbe spostarsi nelle zone commerciali o in zone dedicate al tempo libero (parchi, impianti sportivi, ecc.); nel corso della serata si potrebbe registrare una forte domanda di banda nelle aree residenziali.
Per gestire in modo efficiente le risorse di rete destinate a servire le diverse aree urbane, è opportuno che le piattaforme di rete siano dotate di capacità di riconfigurabilità dinamica in *real-time* in accordo alle diverse tipologie di traffico (*browsing, mailing, file sharing, mobile backhauling, audio streaming, video on demand*, servizi *cloud*), per soddisfare i diversi requisiti di prestazioni, principalmente in termini di banda disponibile (in *downstream* ed in *upstream*) e di latenza.
Ciò è valido anche e soprattutto per il segmento di accesso in cui l'infrastruttura di rete deve essere ammortizzata su un numero inferiore di utenti. Tale requisito di riconfigurabilità è necessario anche per abilitare la crescita graduale delle applicazioni legate all'IoT: una gestione flessibile del traffico consentirebbe di evitare congestioni sulle reti a causa del traffico generato dal numero enorme di dispositivi che pervadono sempre più le nostre case e le nostre città.

I vantaggi delle reti di accesso riconfigurabili

L'utilizzo di un approccio "flessibile" e "riconfigurabile" in rete di accesso può implicare la possibilità di virtualizzare ed automatizzare un insieme di operazioni che portano vantaggi agli operatori, ai *vendor* di apparati e agli utilizzatori finali: si ridurrebbero drasticamente i tempi di *provisioning* dei servizi *end-to-end*; gli OpEx per la gestione della rete sarebbero più bassi per gli operatori che potrebbero contare su "nuovi" ricavi derivanti da nuovi servizi; l'esistenza di un'interfaccia standard comune (sul modello, per esempio, di OpenFlow) semplificherebbe i requisiti per i *vendor*; gli utilizzatori finali potrebbero sperimentare nuovi servizi che potranno essere più facilmente e rapidamente sperimentati, implementati e configurati sulla base delle reali necessità dei clienti.
Una rete di accesso "programmabile", infatti, abiliterebbe o semplificherebbe una serie di funzionalità di controllo, come la gestione del traffico (*tunnel* e VLAN), la configurazione degli *access node*, la diagnostica ed il *troubleshooting*. L'operatore potrebbe intervenire nella gestione dinamica dello spettro per minimizzare le interferenze tra sistemi trasmissivi VDSL, in aggiunta eventualmente ai meccanismi di *vectoring*. Si potrebbe anche operare una differenziazione dei servizi per garantire in maniera dinamica *round-trip delay* più bassi per applicazioni come il *gaming online* o la telemedicina [6].
Queste potenzialità, unite alla virtualizzazione del CPE nella cornice della cosiddetta NFV (*Network Function Virtualization*)[1], consentirebbero di aprire tali funzionalità alla clientela e ciò potrebbe significare rispondere meglio alle esigenze dell'utente: tramite una semplice applicazione *user-friendly* installata nel CPE, per esempio, il cliente potrebbe scegliere un servizio e la qualità del servizio desiderata, essere informato della qualità del servizio e potrebbe bilanciare le sue scelte tramite un *feedback* che innescherebbe un circolo virtuoso a tutto vantaggio della QoE. Una rete d'accesso pienamente riconfigurabile consentirebbe agli utenti di richiedere banda in *real-time* in *downstream* o in *upstream* (BoD) o di controllare le priorità in base alla tipologia di traffico per gestire ad esempio i diversi *device* connessi in una stessa LAN [6].
In un contesto multioperatore, inoltre, una rete riconfigurabile (per esempio mediante i paradigmi SDN e NFV) potrebbe semplificare i rapporti tra operatore *wholesale* e *retail provider* rendendo più uniformi e facilmente implementabili le *policy* e i vincoli regolatori, poiché verrebbero gestiti logicamente da un unico sistema centralizzato: il *controller SDN*. Tale sistema centralizzato, peraltro, implementa un'astrazione della rete che potrebbe presentare un'interfaccia comune standard aperta anche ai *retail provider* o ad eventuali terzi che, in tal modo, acquisirebbero l'accesso a varie funzionalità configurative o di diagnostica che attualmente sono a carico esclusivo dell'operatore *wholesale* [6]. Si aprirebbero nuovi scenari e si potrebbero persino abilitare nuove *value-chain* e nuovi modelli di business basati sull'estensione alle reti di accesso del concetto *cloud* di IaaS [8]. Naturalmente tutto ciò implicherebbe la massima attenzione da parte del *network provider* agli aspetti di sicurezza, soprattutto nel controllare le autenticazioni in accesso, nell'arbitrare le richieste conflittuali e nel garantire comunque affidabilità all'infrastruttura fisica sottostante.
Una possibilità per raggiungere, nelle reti di accesso, l'obiettivo di riconfigurabilità dinamica per ridurre la probabilità di congestioni e limitare la latenza, è quella di estendere il paradigma SDN alle reti PON implementando nuove funzionalità prevalentemente nei layer 2 e 3 dello stack protocollare ISO/OSI. La **figura 1** illustra questo concetto: le access network "Apps" corrispondono ad

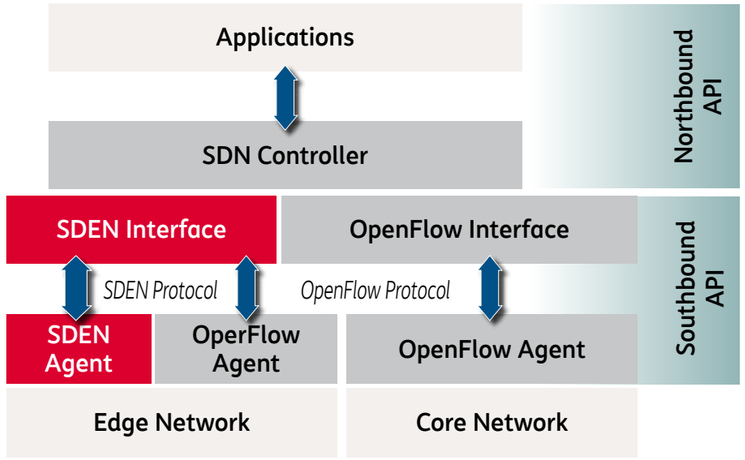


1 **Esempio di applicazione del paradigma SDN alla rete d'accesso**

applicazioni sviluppate per ottenere determinati comportamenti della rete di accesso in termini di trasporto di traffico mobile (*backhauling*), di esigenze di servizi per la clientela business e residenziale (banda, latenza, QoS, ecc.), di aspetti di sicurezza, ecc.; gli apparati della rete di accesso ottica (*Optical Access Network*) avranno funzionalità di solo *forwarding* di pacchetti (o trame) demandando allo strato di controllo SDN le funzionalità intelligenti di decisione degli instradamenti, di classificazione e colorazione del traffico, di applicazione di *policy* di trattamento del traffico, di sicurezza e così via. Il piano di controllo gestisce gli apparati di accesso (OLT) tramite un protocollo, per esempio *OpenFlow*.

La prima proposta di applicazione della SDN alla rete di accesso è stata avanzata da Parol e Pawlowski nel 2013 e successivamente ampliata da Amokrane *et al.* nel 2014 [5]. L'obiettivo di quest'ultimo lavoro consiste nell'estendere il concetto di SDN al segmento di accesso, applicando il protocollo *OpenFlow* alle reti GPON. Concretamente ciò è reso possibile dall'introduzione di due principali novità nella rete di accesso. La prima è la mappatura dei cosiddetti *flows*[2] alle porte GEM che, nello standard GPON, rappresentano una connessione logica tra ONT e OLT con una ben definita *class of service* ed un identificatore univoco. La seconda consiste nel definire un'interfaccia comune tra l'SDN *controller* e gli OLT delle PON mediante un'interfaccia API[3]; il sistema di gestione di una PON, infatti, normalmente consente all'utente amministratore una configurazione manuale della rete che include la definizione dei profili di servizio e gli attributi delle singole porte PON. L'approccio SDEN proposto da Amokrane *et al.*, invece, avendo a disposizione delle API che possono agire sugli *SDEN agent*, ovvero dei moduli collocati sui nodi OLT della rete (come riportato in **figura 2**), può consentire un controllo *real-time* della PON.

Oltre all'applicazione del paradigma SDN sopra accennato, un'altra possibilità per ottenere reti di accesso riconfigurabili è quella di implementare una configurazione dinamica a livello fisico, come è illustrato nel paragrafo successivo.



2
Architettura logica di un esempio di SDEN [5]

Riconfigurabilità a livello fisico

La dinamicità e l'adattività alla base dello scenario sinora descritto implicano, dal punto di vista dei componenti e dei sistemi *hardware*, dei requisiti cruciali che sono la flessibilità e la programmabilità. In altre parole, sarà necessario sviluppare sistemi fotonici, i cui parametri chiave siano riconfigurabili via *software*: le reti riconfigurabili e *software defined*, in definitiva, richiedono lo sviluppo di un nuovo approccio tecnologico, la *software defined photonics*.

Le proposte presenti nella letteratura scientifica riconducibili, direttamente o indirettamente, a questa tematica, sono numerosissime e riconducono per gran parte all'impiego su larga scala della fotonica del silicio (*Silicon Photonics*) in circuiti integrati fotonici. Si potrebbero sintetizzare, a grandi linee, in quattro macro-aree non mutuamente esclusive:

1) *transceiver* flessibili;
2) griglie WDM flessibili;
3) tecniche di *routing* a livello fisico;
4) tecniche di *switching* a livello ottico.

Per *transceiver* flessibili si intendono essenzialmente trasmettitori e ricevitori riconfigurabili installati "a bordo" delle OLT e ONU/ONT. Come mostrato in **figura 3**, per esempio, si potrebbero modificare in *real-time* i seguenti parametri:

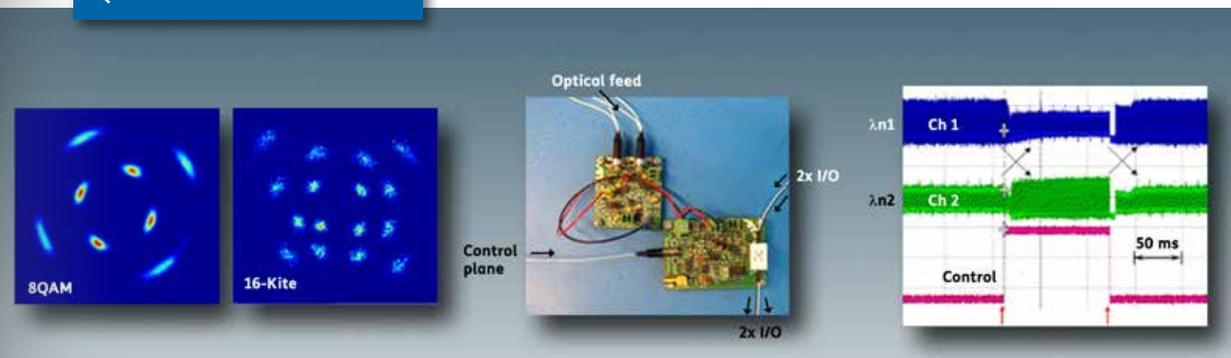
- il *bit-rate*,
- la potenza trasmessa,
- la tecnica e/o la cardinalità della modulazione,
- la tecnica di codifica,
- la lunghezza d'onda della portante ottica,
- il *payload* del FEC.

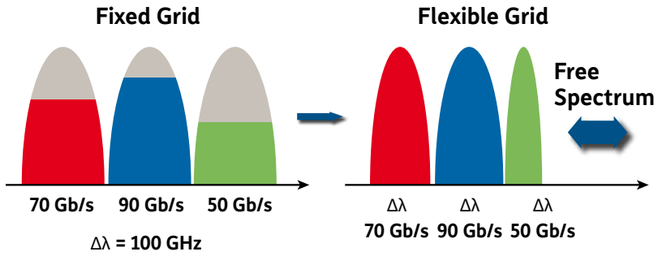
Per far ciò è necessario intervenire sulla sorgente laser, sull'elettronica di pilotaggio della sorgente o su un modulatore ottico esterno. Un esempio di applicazione di questo approccio, proposto da Vacondio *et al.*, dimostra che utilizzando *transponder* coerenti *software-defined*, i cui parametri di trasmissione variano in funzione della distanza dell'utente dall'OLT, è possibile raddoppiare la capacità media per utente in una rete d'accesso basata su multiplazione a divisione di tempo [9].

Le griglie WDM flessibili sono già da qualche anno una possibilità concreta per le reti *backbone*. Come si può notare in **figura 4**, se la spaziatura tra le portanti ottiche di un sistema di multiplazione a divisione di lunghezza d'onda non è strettamente vincolata ad una griglia prestabilita (per esempio quella DWDM), è evidente che la banda allocabile per ciascuna portante può essere gestita in modo dinamico ottimizzando l'efficienza spettrale ma anche, indirettamente, l'efficienza energetica con conseguente risparmio in termini di OpEx per l'operatore. L'estensione della modulazione WDM alle reti PON [10] renderà opportuno utilizzare tecniche come questa per adeguare la capacità del link alle esigenze degli utenti. L'impiego di griglie flessibili in rete ottica riconfigurabile RFON (*Reconfigurable Flexible Optical Network*), è stato oggetto di indagine da parte di Oliveira *et al.* su un *test-bed* costituito da 4 nodi dotati di *switch* selettivi in lunghezza d'onda (WSS), amplificatori ottici e un sistema di supervisione e *monitoring* dei canali ottici [11]. Cvjectic *et al.* hanno proposto, invece, l'utilizzo di griglie flessibili in rete di accesso e di aggregazione in un'architettura basata sul protocollo OpenFlow [12].

Il *routing* di lunghezze d'onda è un modo per instradare il traffico senza ricorrere a conversioni elettro-ottiche. Nelle reti *backbone* degli operatori sono già presenti da alcuni anni nodi ROADM in grado di operare tale funzione impiegando tecnologie MEMS o LCoS [13]. Entrambe le tecnologie non rappresentano tuttavia la soluzione ottimale per un impiego su larga scala nelle reti di accesso, in cui il costo, i volumi, i consumi energetici e l'affidabilità sono fattori estremamente critici. Soluzioni al-

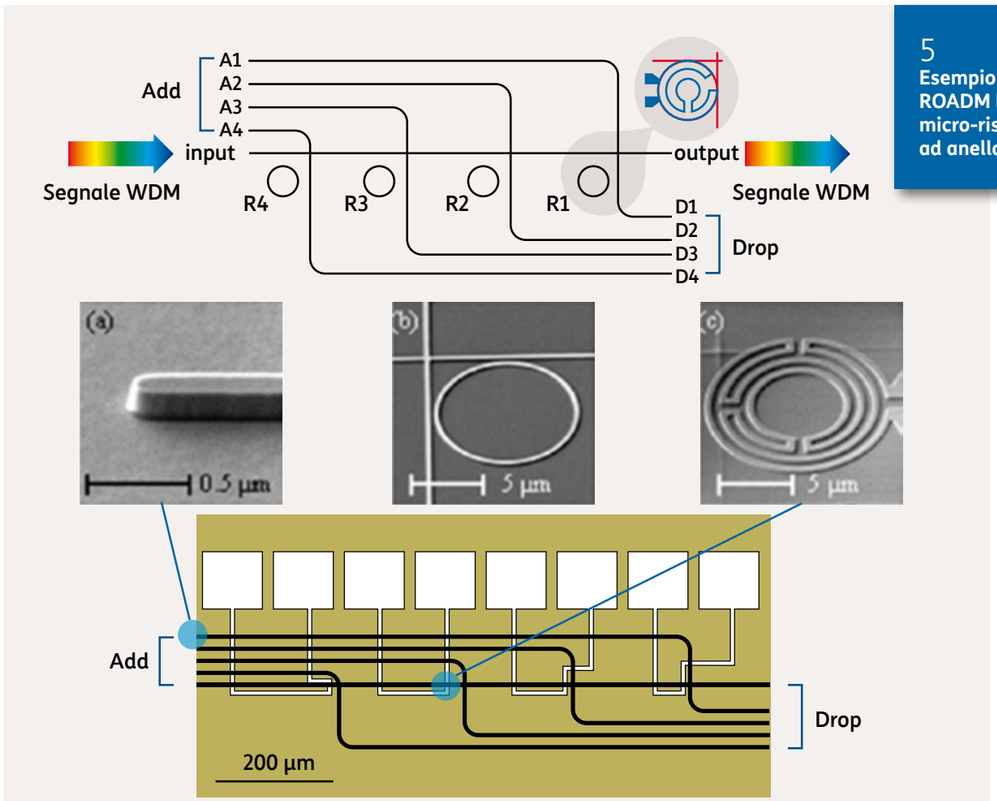
3
Transceiver flessibili ed esempi di costellazioni 8-QAM e 16-QAM [4]





4
Schematizzazione dei vantaggi nell'applicazione di griglie WDM flessibili

ternative sono state avanzate negli ultimi anni nel mondo della ricerca: si sono proposti, per esempio, ROADM basati su micro-risonatori ad anello (come quello rappresentato in **figura 5**) che sono realizzabili nella piattaforma tecnologica SOI, la più semplice da integrare con l'elettronica di controllo CMOS. L'utilizzo in rete di accesso di ROADM basati su micro-risonatori ad anello configurabili termicamente è stato dimostrato da Klein *et al.* che hanno fabbricato un dispositivo in tecnologia Si_3N_4/SiO_2 con un *footprint* di

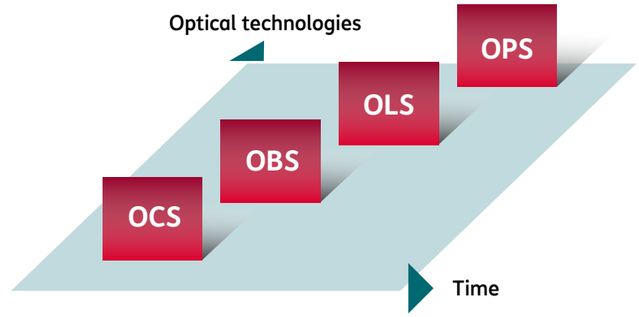


5
Esempio di ROADM basato su micro-risonatori ad anello [5]

appena $2mm^2$ in grado di operare in seconda ed in terza finestra [14]. Tre caratteristiche sono necessarie per i ROADM di nuova generazione: la proprietà "*colorless*", ovvero la possibilità di consentire l'*add/drop* di canali a qualsiasi lunghezza d'onda; la proprietà "*directionless*", ovvero la possibilità di instradare il segnale da qualsiasi porta di ingresso a qualsiasi porta d'uscita; la proprietà "*contentionless*", ovvero la possibilità di gestire i conflitti nell'utilizzo delle risorse (porte di uscita e lunghezze d'onda). A queste proprietà se ne può aggiungere una quarta, la proprietà "*gridless*", ovvero la compatibilità del dispositivo con le griglie WDM flessibili. Se il dispositivo possiede tutte e quattro le caratteristiche si parla di CDC/G ROADM.

Il *routing* di lunghezza d'onda è solo una delle possibilità per instradare il traffico in una rete WDM riconfigurabile; dal punto di vista concettuale, si tratta di una "semplice" commutazione di circuito ottico, denominata OCS (*Optical Channel Switching*). Esistono tuttavia tecniche più sofisticate, sintetizzate in **figura 6** e di seguito brevissimamente descritte, che permetterebbero di adattare la rete in modo più "granulare" ed efficiente alle variazioni del traffico.

L'approccio ideale per rispondere a questi requisiti sarebbe teoricamente la OPS (*Optical Packet Switching*), ovvero una commutazione di pacchetto eseguita interamente nel dominio ottico. L'implementazione a livello ottico della commutazione di pacchetto consentirebbe l'applicazione del concetto di IPoWDM, da molti ritenuto il "Sacro Graal" delle telecomunicazioni ottiche, che semplificherebbe notevolmente la pila protocollare, riducendo i costi operativi della rete. Poiché le tecnologie attuali non consentono questa possibilità, un approccio pratico per implementare la OPS è rappresentato dalla OLS (*Optical Label Switching*) in cui solo l'*header* del pacchetto (l'etichetta, appunto) viene processato elettronicamente. Una soluzione meno sofisticata ma più facilmente implementabile è rappresentata dalla OBS (*Optical Burst Switching*) che non ha la pretesa di instradare i singoli pacchetti ma gruppi di pacchetti (*burst*) processando un segnale *out-of-band* che contiene le informazioni per l'indirizzamento. La tecnica OBS viene talvolta definita OFS (*Optical Flow Switching*) nel caso in cui si stabilisca un flusso *end-to-end* ed i *burst* siano molto lunghi (dell'ordine di 100 ms). La tecnica OBS presuppone una netta separazione tra il piano di controllo ed il piano dati e l'utilizzo di protocolli che definiscano le modalità con cui i *burst* devono essere gestiti dai router ottici; in particolare si può operare una distinzione tra protocolli definiti "*2-way reservation*", in cui è richiesto un *acknowledgment* da parte del nodo ricevente prima dell'inoltro dei *burst*, e protocolli definiti "*1-way reservation*", che non richiedono *acknowledgment* e quindi consentono una riduzione dei tempi di latenza [15].



6
Tecnologie di switching ottico ordinate in base alla complessità implementativa e alle fasi in cui se ne prevede l'impiego

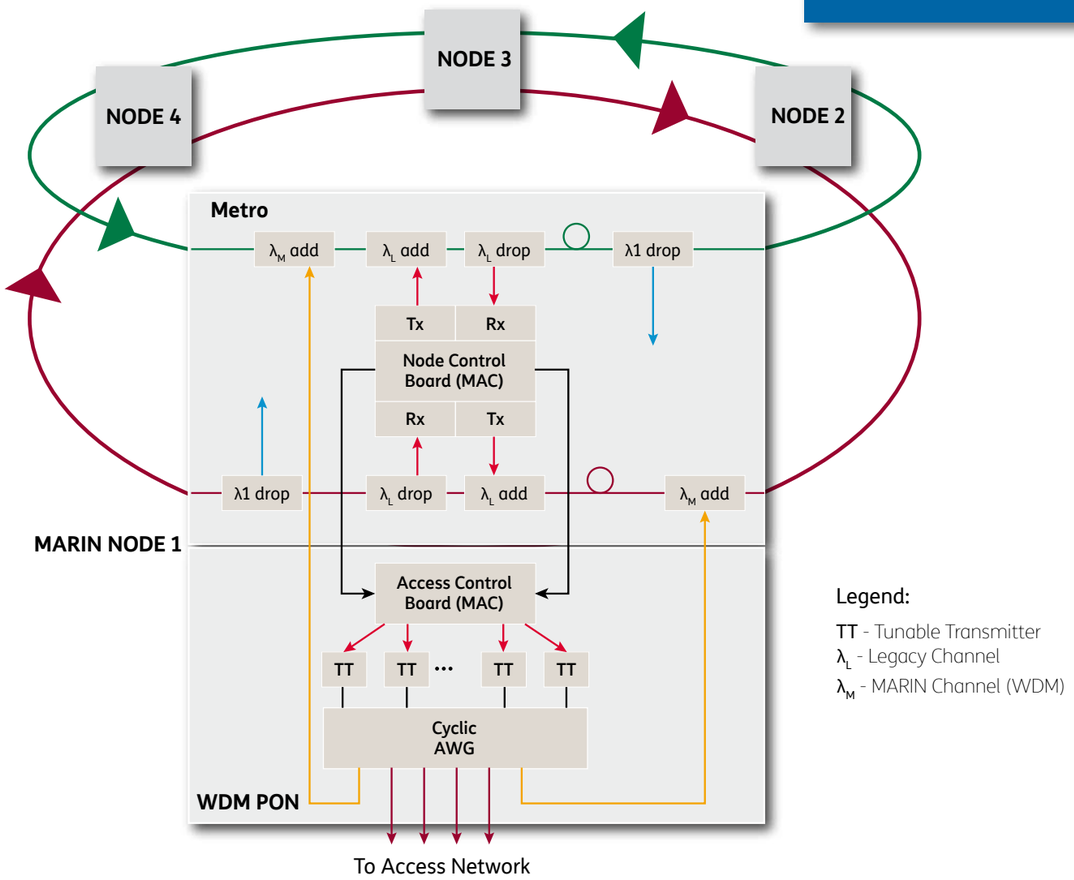
Convergenza metro-access

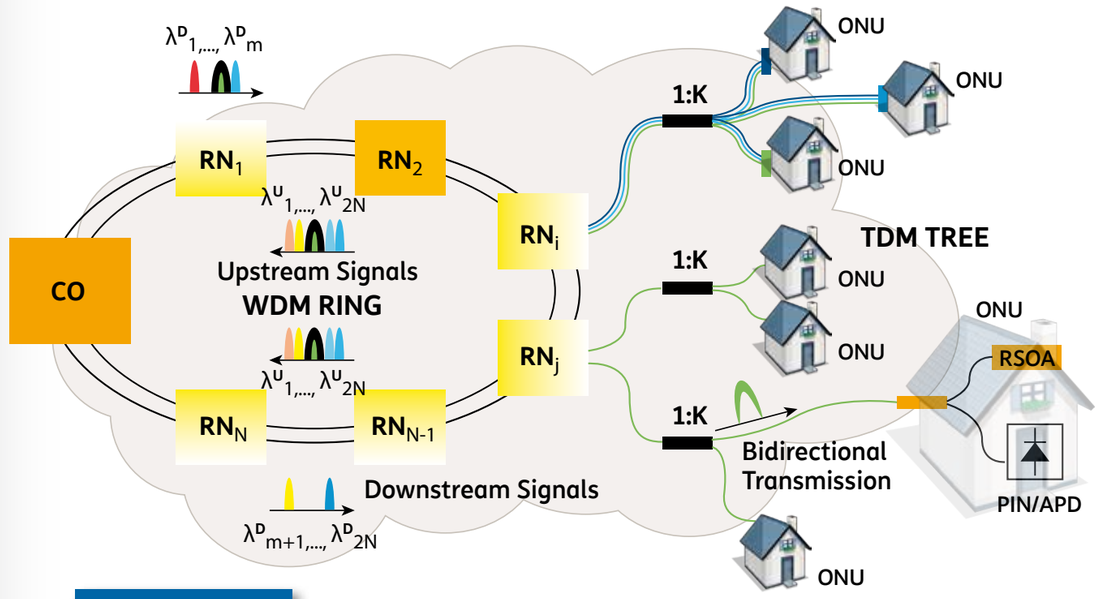
L'impiego dei ROADM e delle evolute tecniche di *switching* descritte finora consentirebbe di integrare in un'unica rete *all-optical* i segmenti *access* e *metro*: molte delle architetture proposte che realizzano tale

convergenza consistono in un anello *metro* che raccoglie il traffico da un certo numero di alberi PON collegati all'anello mediante ROADM.
L'utilizzo di architetture basate sulla WDM in rete di accesso, ritenuto un verosimile scenario a medio e lungo termine [10], estenderà il campo di applicazione delle PON rispetto agli attuali standard GPON. La riduzione delle perdite di inserzione degli splitter (sostituiti dagli AWG) con conseguente incremento del *power budget* e quindi del *reach*, abiliterà infatti l'utilizzo delle tecnologie PON nelle reti *metro-access* unificate.
Tali reti dovranno supportare tre applicazioni principali: accesso ottico residenziale condiviso, accesso ottico dedicato per i clienti *business*, *backhauling* dei nodi della rete radiomobile (4G/5G). Tali applicazioni potrebbero essere fornite da un'infrastruttura unificata ibrida WDM/TDM-PON [16].
Una possibile soluzione *cost-effective* potrebbe essere quella di utilizzare la WDM nel segmento metro e la TDM nel segmento di accesso. Ovviamente ci sarebbero sfide tecnologiche da affrontare: per ampliare il *reach* potrebbero essere necessari amplificatori ottici nei RN; andrebbe anche gestita la trasmissione *burst-mode* implicita della TDM.

Una delle prime proposte di convergenza *metro-access* è stata l'architettura MARIN, presentata nel 2007. Si tratta di una rete costituita da anelli DWDM interconnessi tra loro, ciascuno dei quali ha una propria CO che gestisce la distribuzione/raccolta del traffico delle WDM PON collegate all'anello. I nodi della rete sono di due tipologie: il MARIN *gateway* svolge funzioni di *add/drop* verso gli alberi PON; il MARIN *switch* svolge funzioni di *routing* del traffico metro. I nodi utilizzano trasmettitori

7
Architettura di rete metro-access MARIN [17]



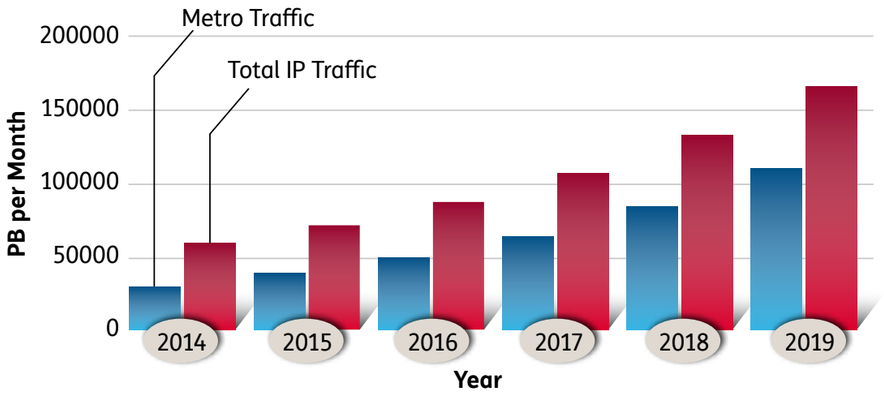


8
Architettura di rete metro-access SARDANA [18]

sintonizzabili, sfruttano le proprietà cicliche dell'AWG e fanno ricorso alla OBS (**vedi figura 7**) [17].
L'architettura SARDANA, proposta nel 2011 da un consorzio internazionale di operatori, *vendor* e istituti di ricerca, è forse l'esempio più noto di convergenza *metro-access*. Tale architettura, raffigurata in **figura 8**, prevede un anello bidirezionale WDM a 32 lunghezze d'onda che si interfaccia con degli alberi TDM PON a 10 Gbps mediante RN che effettuano l'*add/drop* dei canali. Si tratta di nodi ottici passivi, poiché tutta l'elettronica risiede in un unico nodo di controllo, ovvero un CO sede di OLT localizzato sull'anello WDM. Ciascun RN è equipaggiato con uno splitter, per la distribuzione sulla relativa PON, ed un EDFA con una pompa laser remota localizzata nel CO, per estendere il *reach*.
Le ONT sono equipaggiate con *transceiver colorless* basati su RSOA che riflettono e rimodulano il segnale ottico ricevuto in downstream per generare il traffico *upstream*. La topologia ad anello è chiaramente strategica dal punto di vista della resilienza della rete, considerando che garantisce due vie di collegamento tra l'OLT e ciascuna ONT con un tempo di ripristino, in caso di eventuale guasto, inferiore a 50 ms [18].
Recentemente sono state proposte altre architetture *metro-access* riconfigurabili. Particolarmente interessante è quella presentata da Schrenk *et al.* basata su nodi ROADM passivi che effettuano uno *switching* ottico dinamico utilizzando meccanismi di "*energy scavenging*": tali dispositivi, infatti, non necessitano di alimentazione elettrica locale ma si auto-alimentano mediante segnali ottici a -10 dBm che potrebbero anche essere i segnali di traffico, piuttosto che un segnale di pompa [19].
Un'ulteriore possibilità emergente, infine, è l'integrazione delle reti ottiche con la tecnologia *wireless* nelle reti *metro-access*, esempio del trend di convergenza fisso-mobile, che potrebbe essere effettuato secondo gli approcci MoF (*Microwave-Over-Fibre*) o RoF (*Radio-Over-Fiber*) che prevedono la modulazione del segnale a radiofrequenza sulle lunghezze d'onda ottiche [20].

Requisiti delle reti metro

Riuscire a realizzare una rete metropolitana *all-optical*, come nelle architetture *metro-access* descritte, consentirebbe di evitare le conversioni ottico-elettro-ottiche (O-E-O): si stima che circa il 60-70% dei costi operativi associati complessivamente ad una rete sia proprio legato ai *transponder* ottici che effettuano tali conversioni [13]. Ridurre le conversioni O-E-O è di fondamentale importanza non solo dal punto di vista della riduzione dei consumi energetici ma anche dal punto di vista del rispetto dell'ambiente: nel 2007 il 37% delle emissioni di carbonio dell'intero settore ICT era associato all'infrastruttura di telecomunicazione e dei dispositivi; le reti metropolitane e di accesso contribuivano all'energia totale delle reti per circa il 60% [21].
La necessità di ripensare l'architettura e la gestione del traffico sulle reti metro deriva anche da un'altra considerazione: contestualmente alla diffusione dei servizi ultra-broadband nelle reti ad alta capacità su cui negli ultimi anni si stanno concentrando gli investimenti delle telco, anche i requisiti di banda sul segmento metro aumenteranno considerevolmente, trainati essenzialmente dal video IP e dai servizi *cloud*. In altri termini, infatti, poiché le applicazioni *client-server* richiedono sempre più l'accesso a Data Base distribuiti che devono comunicare tra loro, si assiste ad un progressivo aumento del traffico "orizzontale", oltre che a quello "verticale" tra *client* e *server*. Secondo uno studio di Alcatel Lucent, il traffico sulle reti metro è in crescita del 560% dal 2012 alla fine del 2017, con un tasso pari a circa il doppio rispetto a quello previsto sulle reti *backbone* [22]. Quest'ultimo dato è confermato dalle previsioni di Cisco (riportate in **figura 9**), secondo le quali alla fine del 2019 il traffico sulle reti metro rappresenterà il 66% del traffico IP complessivo. Particolarmente indicativo è che nel 2017 si prevede che il 75% del traffico sarà terminato localmente all'interno della rete metro, ovvero solo il restante 25% uscirà da tale segmento per attraversare le reti *backbone* [23].
Fino ad oggi il traffico metro era caratterizzato prevalentemente da flussi "*north-south*", ovvero dall'utilizzatore finale ad una "sorgente di contenuti" centralizzata a livello nazionale e accessibile tramite *backbone*. Grazie allo sviluppo delle CDN, le "sorgenti di contenuti" saranno sempre più distribuite sul territorio in *data center* il più possibile vicini agli utenti per migliorare la QoE (basti pensare ad applicazioni come il *caching* di contenuti video). Per di più il traffico metro si sta evolvendo sempre di più nei flussi "*east-west*", ovvero tra nodi interni alla rete metro, tipicamente tra *data center* locali per il *delivery* dei servizi *cloud* [22].



9
Previsione di crescita del traffico
Cisco 2015 [23]

Non è inverosimile prevedere che la crescita delle tipologie di traffico sopra descritte renderanno nei prossimi anni la rete metro il nuovo collo di bottiglia dell'intera rete di telecomunicazioni per l'erogazione dei nuovi servizi *bandwidth-intensive*. Pensare di ovviare al problema incrementando semplicemente la capacità dei vari link di comunicazione probabilmente non potrà rappresentare una soluzione *cost-effective*. Un ulteriore requisito, per la verità non nuovo, per le reti metropolitane è relativo alla loro affidabilità e ai meccanismi di protezione dai guasti che possano garantire una bassa probabilità di fuori servizio. Da sempre le reti metro, infatti, hanno topologie ad anello che assicurano una doppia via fisica diversificata per i collegamenti e tipicamente nelle reti metro WDM si impiegano anelli a doppia fibra. Nell'ultimo decennio sono state proposte anche soluzioni ad anello a singola fibra bidirezionale auto-ripristinante che sono basate su particolari *add-drop multiplexer* bidirezionali. [24]
L'auto-ripristino naturalmente implica il ricorso a meccanismi di "riconfigurazione" (in questo caso di auto-riconfigurazione) che riconducono tale specifica nell'alveo del requisito principale che rimane quello della flessibilità nelle sue varie declinazioni che includono anche il supporto di VLAN configurabili, la facilità di *provisioning* dei nuovi collegamenti, tecniche di controllo della congestione e di allocazione dinamica della banda, tecniche di *policing* e di *shaping* nell'ottica di migliorare la QoS.

Conclusioni

I trend qui delineati, le sfide tecnologiche e le possibili soluzioni innovative proposte dalla ricerca scientifica pongono l'accento sulla necessità e sull'opportunità strategica di pensare a nuove soluzioni per le reti di accesso e metro-access.
In un suo saggio del 2009 [25], il sociologo Manuel Castells, riferendosi alle reti nella loro accezione di forma organizzativa (un gruppo di persone, un movimento, un'azienda, etc.), individuava tre caratteristiche principali che garantiscono la loro efficienza: la scalabilità, ovvero la capacità di variare le proprie dimensioni, la capacità di sopravvivenza, ovvero di resistere agli attacchi esterni e la flessibilità, appunto, ovvero la capacità di riconfigurarsi in sintonia con l'ambiente in mutamento. E' interessante e, al tempo stesso, affascinante riconoscere come queste peculiarità "sociologiche" corrispondano perfettamente alle opportunità "tecnologiche" offerte dall'applicazione alle reti metro e metro-access del concetto di riconfigurabilità nella prospettiva dei possibili scenari futuri ■

Note

1 Con il termine *Network Function Virtualization* si intende, semplificando molto, la virtualizzazione delle funzioni di rete implementandole in *software* (VNF) su *virtual machine*. Un altro concetto base della NFV è il disaccoppiamento delle funzioni di rete dall'*hardware* in modo che possano essere implementate su *hardware* COTS. [7]
2 Molto sinteticamente, nella terminologia di *OpenFlow*, un flusso rappresenta una sequenza di pacchetti che, all'interno di un apparato di rete *OpenFlow compliant*, hanno in comune una o più azioni eseguite dal nodo su quei pacchetti.
3 Una API è un insieme di funzioni *software* di un sistema (in questo caso del *controller SDN*) che possono essere invocate da altri sistemi (nel nostro caso dalle applicazioni). Chi invoca una funzione deve naturalmente conoscere la "segnatura" della funzione che consiste nel nome della funzione e nel tipo e numero di parametri da passare.
4 *http://www.warp5.eu/tech.html*
5 *http://ir.semi.ac.cn/bitstream /172111/7023/1/28.pdf*

Bibliografia

[1] L. Grossi, E. Maffione, G. Marasso, S. Ruffino, "*SDN e NFV: Quali Sinergie?*", Notiziario Tecnico - Telecom Italia, N. 2, pp. 48-65, 2014.

[2] K. Kerpez, G. Ginis, "*Software-Defined Access Networks (SDAN)*", 48th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), Princeton (NJ), 2014.

[3] A. Amokrane, J. Xiaoy, J. Hwang, N. Anerousis, "*Dynamic Capacity Management and Traffic Steering in Enterprise Passive Optical Networks*", IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), Ottawa (ON), 2015.

[4] R. Roy, W. van Etten, "*Case for Dynamic Reconfigurability in Access Networks*", Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Vol. 6, pp. 240-250, 2009.

[5] A. Amokrane, J. Hwang, J. Xiao, N. Anerousis, "*Software defined enterprise passive optical network*", 10th International Conference on Network and Service Management (CNSM), Rio de Janeiro, 2014.

[6] G. Ginis, S. Galli, M. Goldburg, "*Software Defined Access Networking: Taking NFV and SDN to the Edge*", ASSIA White Paper, 2014.

[7] E. Demaria, A. Pinnola, N. Santinelli, "*La Virtualizzazione di Rete: lo standard NFV*", Notiziario Tecnico - Telecom Italia, N. 2, pp. 84-97, 2015.

[8] K. Katsalis et al., "*CONTENT Project: Considerations towards a Cloud-based Internetworking Paradigm*", IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS), Trento, 2013.

[9] F. Vacondio, O. Bertran-Pardo, Y. Pointurier, J. Fickers, A. Ghazisaeidi, G. de Valicourt, J.-C. Antona, P. Chanclou, S. Bigo, "*Flexible TDMA access optical networks enabled by burst-mode software defined coherent transponders*", Eu. Conf. and Exhibition on Optical Commun. (ECOC), London, 2013.

[10] T. Muciaccia, S. Pileri, "*Reti WDM PON: principali sfide*", Notiziario Tecnico - Telecom Italia, N. 2, pp. 126-139, 2014.

[11] N. Cvijetic, A. Tanaka, P. Ji, K. Sethuraman, S. Murakami, T. Wang, "*SDN and OpenFlow for dynamic flex-grid optical access and aggregation networks*", IEEE/OSA J. Lightwave Techn., vol. 32, no. 4, pp. 864–870, 2014.

[12] J. Oliveira, M. Siqueira, G. Curiel, A. Hirata, F. van't Hooft, D. Macedo, M. Colazza, and C. Rothenberg, "*Experimental testbed of reconfigurable flexgrid optical network with virtualized GMPLS control plane and autonomic controls towards SDN*", SBMO/IEEE MTT-S Int. Microwave Optoelect. Conf. (IMOC), pp. 1-5, 2013.

[13] S. Augusto, V. Brizi, R. Tavilla, "*L'evoluzione della trasmissione ottica*", Notiziario Tecnico - Telecom Italia, N. 1, pp. 60-89, 2009.

[14] E. J. Klein, P. Urban, G. Sengo, L. T. H. Hilderink, M. Hoekman, R. Pellens, P. van Dijk, A. Driessen, "*Densely integrated microring resonator based photonic devices for use in access networks*", Optics Express, Vol. 15, No. 16, 2007.

[15] S. J. B. Yoo, "*Optical Packet and Burst Switching Technologies for the Future Photonic Internet*", Journal of Lightwave Technology, Vol. 24, Issue 12, pp. 4468 – 4492, 2006.

[16] S. Pato, J. Pedro, J. Santos, H. Silva, J. Pires, P. Monteiro, "*All-Optical Remote Node for Cost-Effective Metro-Access Convergence*", Conf. on Telecommunications (ConfTele), S.ta Maria Feira, Portugal, 2009.

[17] S. Wong, W. Shaw, K. Balasubramanian, N. Cheng, L. Kazovsky, "*MARIN: Demonstration of a Flexible and Dynamic Metro-Access Integrated Architecture*", IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '07), Washington (DC), 2007.

[18] J. Hoover, J. Van Horne, "*SARDANA Tackles The Bandwidth Challenge*", Broadband Communities, October 2011.

[19] B. Schrenk, F. Laudenbach, R. Lieger, T. Lorünser, P. Bakopoulos, A. Poppe, M. Stierle, H. Avramopoulos, H. Leopold, "*Passive ROADM Flexibility in Optical Access With Spectral and Spatial Reconfigurability*", IEEE Journal On Selected Areas In Communications, Vol. 33, No. 12, pp. 2837-2845, 2015.[24]

[20] V. Reddy, L. Jolly, "*Radio over Fiber (RoF) Technology and Integration of Microwave and Optical Network for Wireless Access*", International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET), Malaysia, 2015.

[21] P. Castoldi, L. Valcarenghi, I. Cerutti, "*Efficienza energetica nelle reti a larga banda*", La Comunicazione, Vol. LVII, pp. 37-42, 2011.

[22] *Bell Labs, Metro Network Traffic Growth: An Architecture Impact Study,* Alcatel-Lucent Strategic White paper, 2013.

[23] *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology*, 2014-2019, Cisco White Paper, 2015.

[24] Z. Wang, C. Lin, C. Chan, "*Demonstration of a Single-Fiber Self-Healing CWDM Metro Access Ring Network With Unidirectional OADM*", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 18, No. 1, 2006.

[25] M. Castells, "Communication Power", Oxford University Press, New York, 2009.

Acronimi

API	Application Program Interface
AWG	Array Waveguide Grating
BoD	Bandwidth on Demand
CDN	Content Delivery Network
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CO	Central Office
CPE	Customer Premises Equipment
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
FEC	Forward Error Correction
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Network
IaaS	Internet as a Service
IoT	Internet of Things
IPoWDM	Internet Protocol over Wavelength Division Multiplexing
LAN	Local Area Network
LCoS	Liquid Crystal on Silicon
MARIN	Metro Access Rings Integrated Network
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
NFV	Network Functions Virtualization
OBS	Optical Burst Switching
OCS	Optical Channel Switching
OFS	Optical Flow Switching
OLS	Optical Label Switching
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OpEx	Operational Expenditures
OPS	Optical Packet Switching
PON	Passive Optical Network
QoE	Quality of Experience
ROADM	Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer
RSOA	Reflective Semiconductor Optical Amplifier
RN	Remote Node
SARDANA	Scalable Advanced Ring Dense Access Network Architecture
SDN	Software Defined Network
SOI	Silicon On Insulator
TDM	Time Division Multiplexing
VDSL	Very-high speed Digital Subscriber Line
VLAN	Virtual Local Area Network
VNF	Virtual Network Function
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WSS	Wavelength Selective Switch

Tommaso Muciaccia *tommaso.muciaccia@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico, entra in Azienda nel 2012. Si è occupato della progettazione esecutiva della rete d'accesso ultra-broadband in rame e fibra ottica e di project management con riferimento ai programmi di interventi per lo sviluppo della banda ultralarga nelle regioni Puglia e Basilicata (bandi EUROSUD). Oggi si occupa della definizione operativa e del presidio a livello nazionale del piano di sviluppo FTTH relativamente alla network construction. Collabora con il Photonics Research Group del Politecnico di Bari ed è coautore di pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali. ■

Sandro Pileri *sandro.pileri@telecomitalia.it*

ingegnere elettrotecnico con master in telecomunicazioni. Assunto nel 1982 presso la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli, iniziando l'attività di docenza nel campo delle reti telefoniche PSTN, ISDN, Rete Intelligente e delle reti dati (Frame Relay, ATM e IP). Negli ultimi anni si è occupato di Telefonia su IP e di evoluzione della rete di accesso fissa. Dal 1999 al 2007 è stato professore a contratto del corso Reti e Sistemi di TLC presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di L'Aquila. Dal 2010 lavora come docente e project manager presso la società Telecom Italia HR Services nella service unit Education. ■

SPARKLE IT TRANSFORMATION

Fabrizio Bellezza, Lubiano Lucarini, Simone De Rose

Telecom Italia Sparkle agisce in un mercato internazionale caratterizzato da un'agguerrita concorrenza, in cui competono sia Communication Service Provider che operatori Over The Top, alcuni dei quali campioni del Digital Business.
In tale contesto diventa fondamentale ripensare l'azienda in ottica digitale; l'IT è quindi chiamato a una profonda trasformazione di ruolo: da automa dei processi a elemento di "intelligenza artificiale" dell'azienda, nel nome dell'IT "Factory" utilizzato come leva fondamentale per abilitare la «Digital Transformation» del Business. Vediamo come.

Contesto di riferimento

TI Sparkle e suo Mercato di riferimento

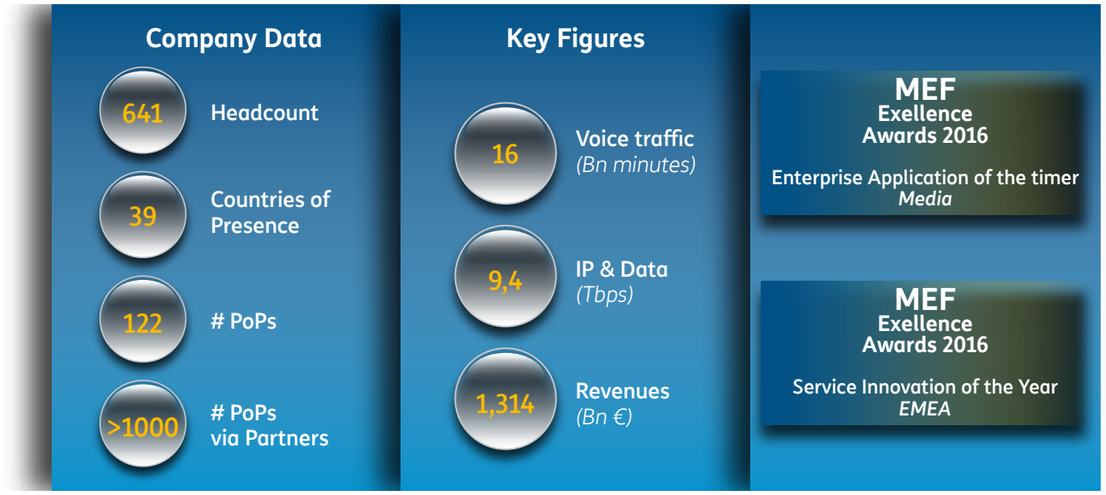
TI Sparkle[1] è proprietaria di un backbone IP che copre l'Europa, il bacino del Mediterraneo e le Americhe oltre che di una rete di cavi sottomarini che, connettendo l'Europa con il Sud-Est dell'Asia, consente di offrire un portafoglio globale di Servizi.

Il mercato internazionale è caratterizzato da una forte concorrenza perché sugli stessi clienti confluiscono soggetti equivalenti (peer) e di matrice diversa, quali gli Internet Application Provider o i Cloud Provider (Google, Amazon, Ms Azure, ecc.), che offrono soluzioni innovative sia in termini tecnologici che di business model.

Inoltre, essendo un mercato internazionale di tecnologie in rete, si agisce sempre in contesti (politici, economici, sociali) mutevoli e a forti differenziali di crescita in cui tutti possono avere bisogno degli altri, per cui si compete su un cliente e si collabora su un altro, operando scelte a volte strategiche e altre tattiche per migliorare il proprio posizionamento competitivo.

La pressione di tale concorrenza sta determinando un progressivo declino dei prezzi dei Prodotti/Servizi ICT, costringendo i CSP a ricercare nuovi modelli di business e forme organizzative per competere in un mercato dove coesistono modelli innovativi e tradizionali.

In più la richiesta dei clienti, mutuandoli dall'uso del Cloud, di fruire «as-a-Service» anche i servizi di connettività, sta determinando l'inadeguatezza degli attuali processi operativi di gestione



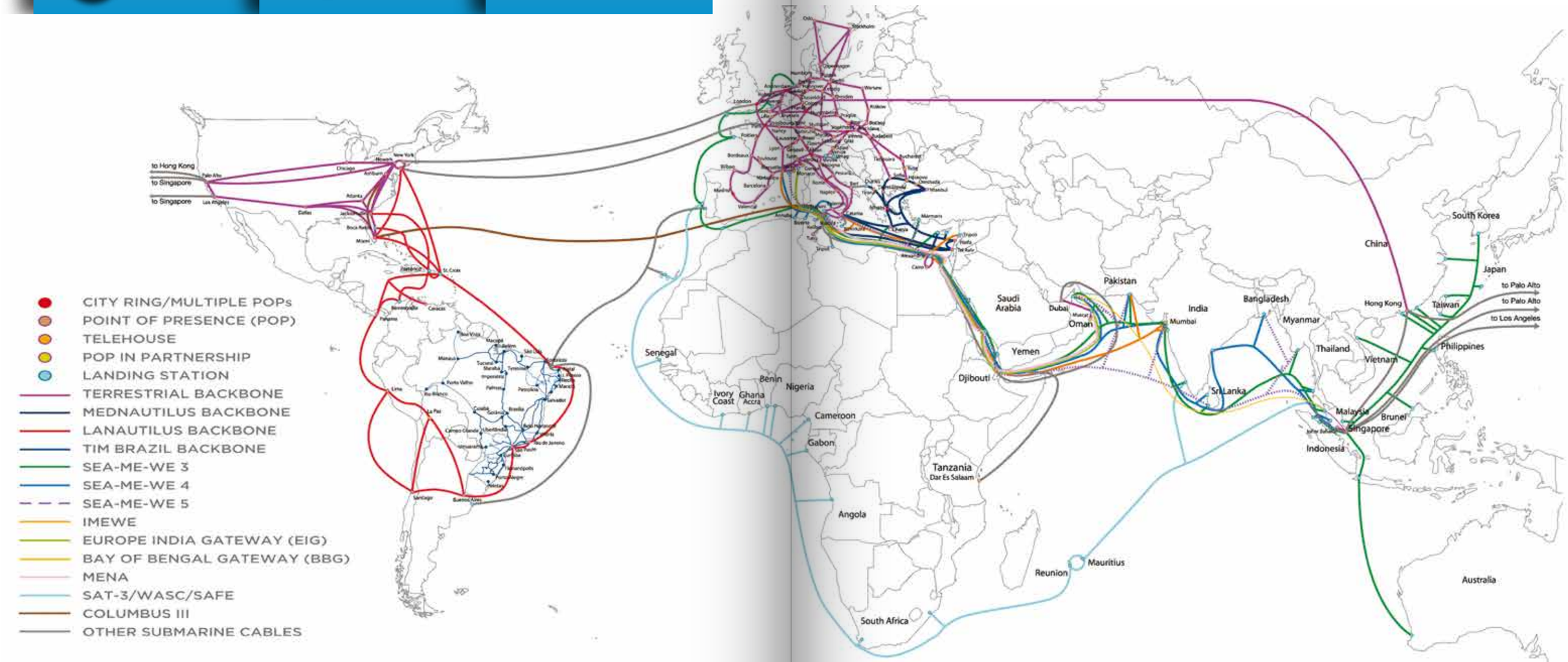
dei servizi tradizionali basati su modelli operativi dei CSP.

Per rispondere a queste richieste del mercato, le linee guida a cui si sta rivolgendo il settore sono quelle classiche: innovazione, automazione, ottimizzazione delle risorse e partnership.

In breve, quella a cui stiamo assistendo è una rivoluzione digitale del business che sta trasformando profondamente sia l'approccio al mercato che la modalità con cui vengono offerti e gestiti i servizi ICT. Sono tre assi gli principali sui quali si muove tale trasformazione:

- Offerta di Servizi Digitali ai Mercati Consumer ed Enterprise;
- Trasformazione dell'organizzazione in una Digital Business;
- Utilizzo dei canali digitali per l'interazione, acquisizione e gestione del Cliente.

Sintetizzando, i modelli di produzione ed erogazione dei servizi dei CSP, basati su silos verticali «self contained» e su asset fisici (Network), devono essere ripensati in ottica di fruizione "digitale" da parte del cliente e ciò è possibile solo investendo in nuove architetture e funzionalità IT che possono sfruttare le opportunità di un ecosistema aperto e partecipativo.



Ruolo delle Partnership come acceleratori di Business

La richiesta pressante del mercato di passare da Servizi tradizionali, «Silos-Oriented», a Servizi Digitali implica per i CSP una profonda rivisitazione del portafoglio prodotti/servizi basata su una trasformazione "copernicana" che coinvolge tecnologia, processi e competenze.

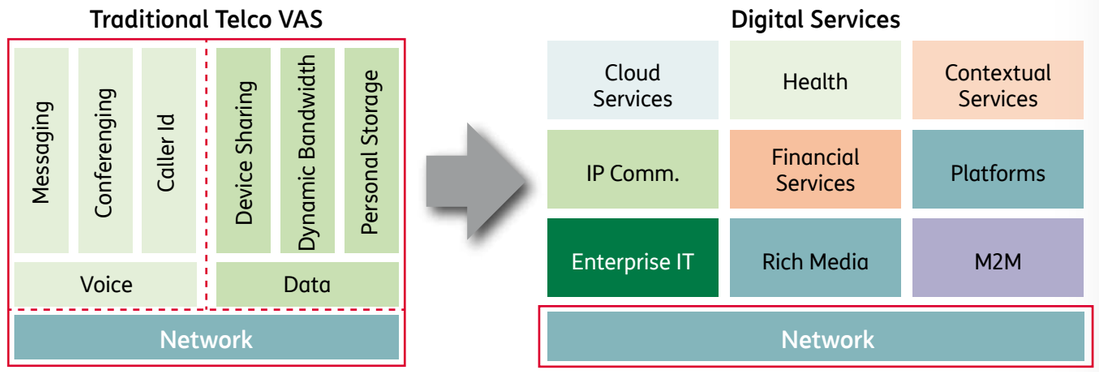
Tradizionalmente i CSP hanno sviluppato competenze molto specifiche su singole componenti di Rete, ma non sono preparati alla transizione verso un'offerta ICT e i tempi per acquisire le competenze necessarie non sono compatibili con la richiesta, da parte dei Clienti, di ridurre i costi aumentando qualità e flessibilità delle loro infrastrutture ICT anche esternalizzando tutto ciò che non è «Mission-Critical» per il loro modello di Business.

Dovendo cambiare il modello di sviluppo, la scelta per i CSP si sposta sul «Make», «Buy» or «Cooperate». I tempi e le competenze necessarie mettono in crisi la scelta «Make» lasciando sul tavolo le altre due opzioni che differiscono per i valori economici e la governance.

Principali implicazioni per TI Sparkle

In un tale contesto concorrenziale TI Sparkle, per rimanere tra i top player del mercato internazionale, ha deciso di:

- Avviare una trasformazione tecnologica per ottenere:
  - una maggiore flessibilità nel costruire nuovi servizi, facendo leva sulla digitalizzazione dell'IT, della rete e dei contenuti;
  - un'accelerazione del Time-to-Market e una riduzione dei costi migliorando l'efficienza operativa;
  - una qualità dei servizi differenziata per segmento di clientela / classe di spesa;
  - una riduzione dei tempi di fornitura dei servizi tramite l'allocazione dinamica e in modalità «self-provisioned» delle risorse di Rete e IT.
- Migliorare ed estendere la «Customer Proximity» tramite:
  - adozione di soluzioni Cloud e di Virtualizzazione per migliorare l'efficienza e la scalabilità della Rete e delle piattaforme di Servizi;
  - l'espansione del "footprint" per raggiungere nuovi target di clienti attraverso soluzioni di «Cloud Exchange», Data Center e «Media Hubs»;
  - sinergie con il gruppo TIM per indirizzare CP (*Cloud Providers*) e Broadcasters;
  - implementazione di programmi di Partnership.
- Aumentare il fatturato e la copertura di rete per il mercato Corporate rivedendo e implementando:
  - i processi di Pre-Vendita, Vendita e di Customer Care;
  - i nuovi canali di vendita, attraverso Partner ed e-commerce;
  - le Reti Metro, anche attraverso Partner, per ottimizzare i costi di accesso nelle aree di maggior interesse commerciale.



Queste scelte strategiche implicano una trasformazione anche infrastrutturale sulla Rete, l'IT e, più importante di tutte, sulle Persone che governeranno il cambiamento.

Il progetto di trasformazione IT di Sparkle

Obiettivi della Trasformazione

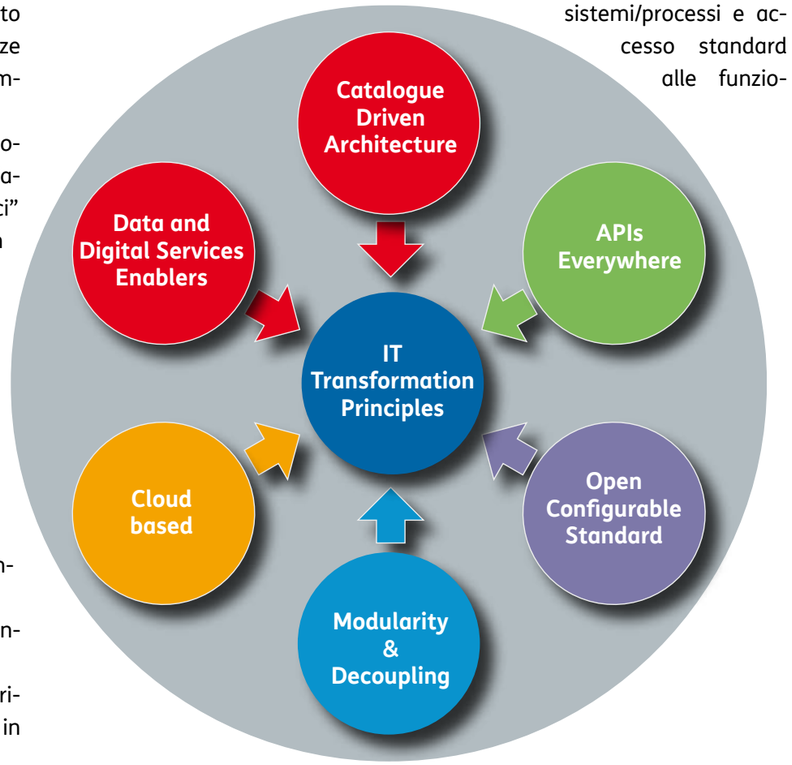
Per definire gli obiettivi della trasformazione abbiamo considerato come elementi cardine le esigenze dei nostri clienti cercando di comprendere le loro aspettative.

Da questi obiettivi di "One Customer View and Experience", abbiamo derivato gli obiettivi "tecnici" quindi declinati e raggruppati in obiettivi di Business, Organizzativi e Tecnologici.

Il macro obiettivo è quello quindi di costruire una «Software Defined Telco» che renda disponibili, in tutte le fasi dei processi aziendali, strumenti e informazioni per rispondere in maniera efficiente ed efficace ai bisogni dei clienti e creare un vantaggio competitivo sul mercato.

I principali obiettivi di Business si intendono raggiungere con:

- una architettura "Catalog Driven", che scompone i servizi in blocchetti elementari e li ri-usa per comporre servizi complessi;
- l'apertura e l'integrazione nei propri sistemi di servizi offerti da terze parti in modalità standard (API Everywhere);
- l'aumento del livello di automazione dei processi, per arrivare fino al Customer Self Service, tramite l'uso di orchestratori;
- la creazione di una piattaforma di Decision Support System che supporti le analisi e le scelte da fare tramite l'utilizzo di nuove tecnologie per la gestione dei dati interni ed esterni strutturati e non (Big Data);
- la scelta di tecnologie flessibili e abilitanti come la virtualizzazione e il Cloud Computing.



I principi guida della Trasformazione

Alla base della trasformazione ci sono alcuni principi guida che abilitano una rapida evoluzione verso l'architettura finale:

- Architettura basata su Catalogo e orchestrazione multilivello di rete e di servizio per consentire la configurabilità e il riutilizzo dei servizi.
- Approccio basato sulle API per ridurre la complessità, un migliore controllo sulle interazioni tra sistemi/processi e accesso standard alle funzio-

nalità core (anche attraverso incapsulamento tramite API per i sistemi legacy).
- Massima facilità di configurazione delle offerte commerciali. Architettura aperta per costruire un ecosistema con terze parti.
- Evoluzione verso Componenti e Micro-Services. Focus su dati e Business Logic Integrity.
- Spostamento di dati e applicazioni in Cloud (e backup on premises)

per garantire scalabilità e raggiungibilità.
- Adozione di strumenti e processi che permettano elevata automazione, sviluppo agile, facilità di gestione del ciclo di vita dei dati e dei servizi.

Il nuovo modello di sviluppo: pensare agile

L'ecosistema esterno e il tipo di competizione hanno oggi un dinamismo non conciliabile con un approccio basato su metodologie di sviluppo software tradizionali in quanto occorre essere agili e rispondere velocemente alle esigenze del mercato (System of Innovation).
L'agilità è possibile realizzando delle discontinuità sia di visione architetturale che culturale organizzativa.
Il disegno applicativo deve abbandonare la concezione di silos verticali e piuttosto passare a moduli/componenti atomiche, che offrono e consumano servizi via API dalle altre componenti cosicché più team possano lavorare in parallelo sulle componenti.
Il cambio di approccio implica impostare team interdisciplinari; produrre software in tanti e contigui sprint; accettare il cambiamento come fatto ordinario, osservare l'obiettivo finale di business e non il singolo task; accettare un debito tecnico dell'applicazione da colmare quando possibile.

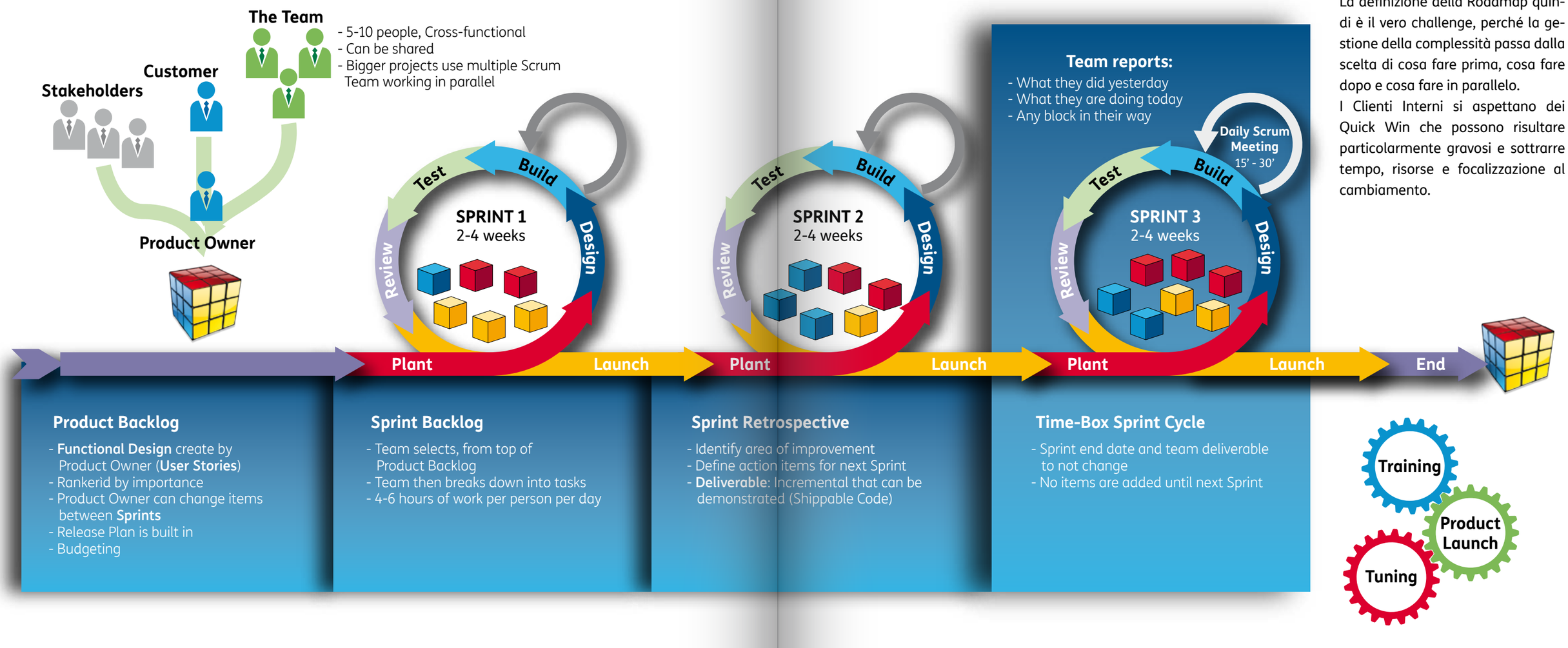
La governance della Trasformazione

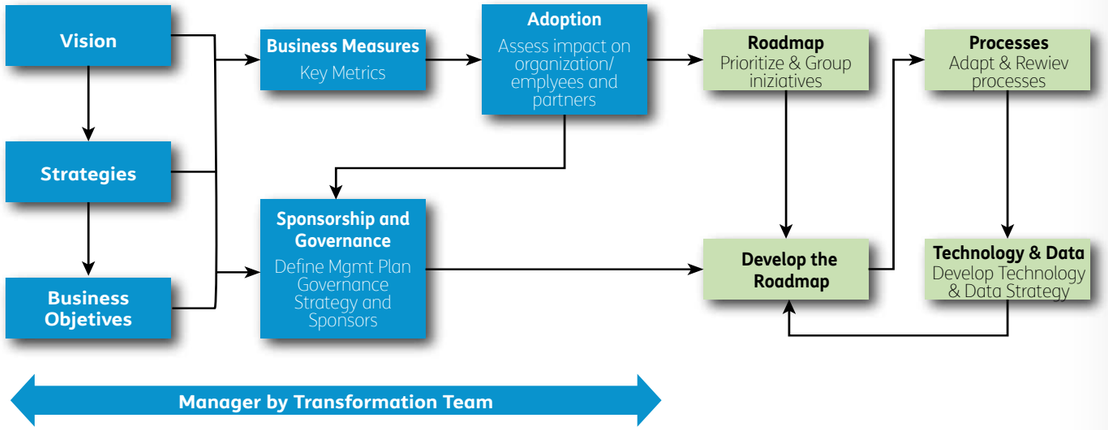
Per gestire la trasformazione è stato costituito un team di progetto congiunto fra IT e Sparkle che ha il compito di risolvere tutte le problematiche che si presentano in corso d'opera e di coordinare le interazioni fra i vari Stream mantenendo la coerenza del progetto stesso. Tale teamrisponde ad un Steering Committee che indirizza e verifica la coerenza dello sviluppo alle scelte strategiche.

Fattori critici di successo e Challenge (la strategy migration)

La Business Digital Transformation è spesso indicata in letteratura come un viaggio, ma ciò che non si esplicita è che non si può tornare indietro.
La definizione della Roadmap quindi è il vero challenge, perché la gestione della complessità passa dalla scelta di cosa fare prima, cosa fare dopo e cosa fare in parallelo.
I Clienti Interni si aspettano dei Quick Win che possono risultare particolarmente gravosi e sottrarre tempo, risorse e focalizzazione al cambiamento.

La metodologia Scrum utilizzata per gli Stream di progetto



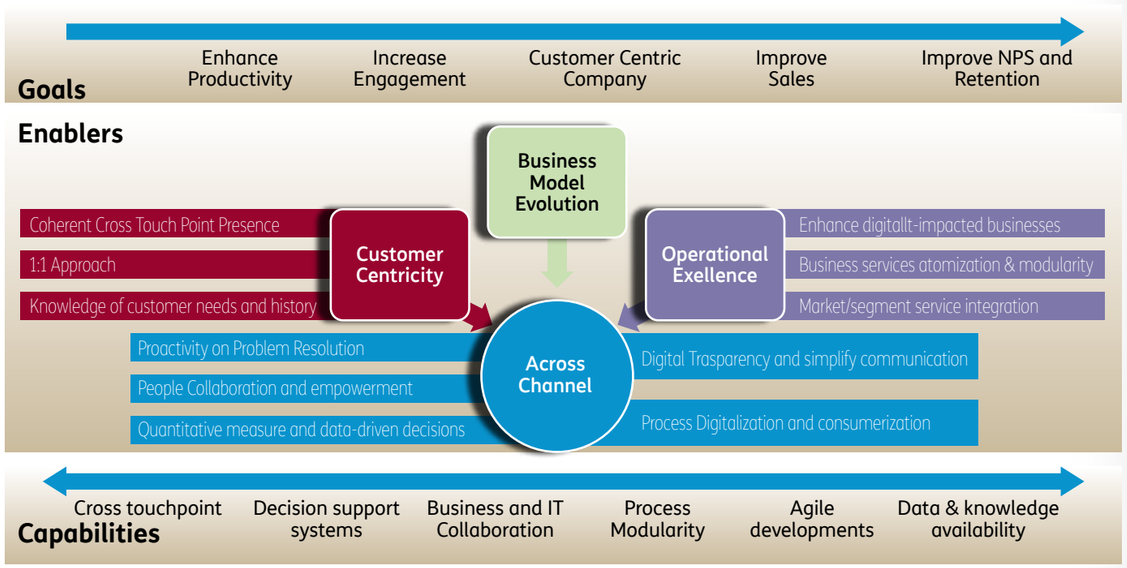


È necessario bilanciare queste necessità che aiutano l'Adoption con quelle di avere sempre in mente il porto d'arrivo.
Chiave di volta della trasformazione restano comunque i processi aziendali in quanto gli strumenti scelti aiutano il cambiamento ma bisogna spendere il giusto tempo nel coinvolgimento di tutte le risorse operative per superare la resistenza al cambiamento.

Il valore atteso per TI Sparkle

Il valore atteso dalla trasformazione è quello di ridisegnare i processi e costruire strumenti in grado di migliorare il posizionamento competitivo di TI Sparkle.
In quest'ottica diventano fondamentali:

- La Customer Experience.
- La Sales Force Automation.
- La predisposizione dei Building Block e della Service Chain per creare nuovi servizi e bundle.
- L'integrazione con servizi di terzi e l'offerta delle proprie API.
- La riduzione del Time to Market per i nuovi servizi e del tempo di Sale to delivery.
- Il valore dell'informazione: la predisposizione di una piattaforma di Decision Support System.
- La produttività come fattore chiave di successo.
- L'innovazione sui servizi: la trasformazione dell'IT in una Service Factory.

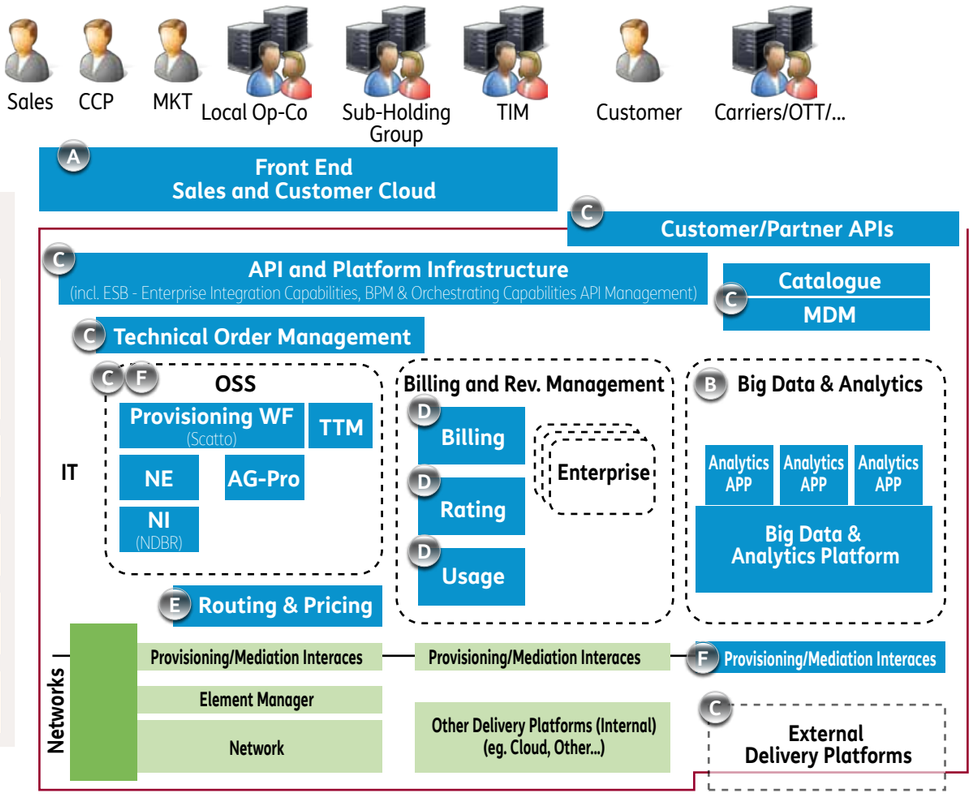


La Trasformazione in atto: gli Stream di progetto IT

Stream A: Front End Sales Force Automation and Customer Cloud

L'attuale piattaforma CRM è stata realizzata nel 2003 sulla base dei processi rivisti per la "new born" TI Sparkle secondo le raccomandazioni del TM Forum (eTOM).
Al fine di rinnovare il parco applicativo rendendolo compliant con gli

Architettura di Riferimento



ultimi standard tecnologici, è stato avviato un programma di IT Transformation che come primo step prevede l'inserimento di una nuova piattaforma di CRM in cloud con l'obiettivo di supportare i processi di Sales Force Automation e, successivamente, anche quelli di Customer e Order Management, andandosi a integrare con tutti i sistemi di backend aziendali.
Il nuovo strumento scelto introdurrà già nella prima release una serie di nuove funzionalità e di benefici che cambieranno il modo di lavorare della forza vendita e delle strutture a supporto.
Tutte le informazioni poi saranno centralizzate e accessibili da qualsiasi dispositivo, anche in mobilità, velocizzando il processo di vendita, semplificando il lavoro del venditore e migliorando la Customer Experience.
Grande importanza verrà data anche alla fase di gestione del funnel di vendita, con strumenti direzionali di pianificazione e reportistica.
Con le successive release, la nuova piattaforma sarà in grado di gestire logiche complesse di catalogo servizi e di pricing, di fornire ai Clienti un accesso in self-service per visualizzare lo stato degli Ordini e delle Richieste di Assistenza, di supportare i processi del Customer Service e del Marketing.
Sono evidenti i benefici di una tale iniziativa: il dato viene reso patrimonio informativo dell'azienda, aumentando la visibilità sul business e la pipeline; il cliente diventa il punto centrale dei processi aziendali, con impatti sulla customer experience e quindi satisfaction; i requisiti del Business vengono supportati da una piattaforma più agile e flessibile, adatta a gestire il cambiamento.
Un simile processo di trasformazione presenta innumerevoli complessità. Come primo step è necessario ridisegnare i processi esistenti andando ad integrarli con i nuovi. Ma soprattutto è necessario integrare questo nuovo sistema all'interno dell'architettura esistente).

Stream B: Big Data and Analytics Platform

L'architettura attuale dell'IT di TI Sparkle non ha una soluzione di Big Data: esistono sistemi di Datawarehouse organizzati in "silos" specifici per servizi e processi (es. sistemi di analisi del traffico voce distinti per viste tecniche o di avanzamento economico) e applicazioni di Analytics associate ai principali sistemi operazionali (CRM, Network Inventory, Trouble Ticket Management, ecc.).
I driver principali per cui si è identificato tra gli Stream di trasformazione l'introduzione di una infrastruttura di Big Data possono così essere sintetizzati:

- Gestione della Customer Experience tramite l'evoluzione e l'integrazione "cross-domain" delle funzionalità di reporting e l'utilizzo di informazioni "non strutturate" provenienti anche dai social media, a supporto della sentiment analysis.
- Ottimizzazione delle risorse interne (IT e di rete) tramite efficaci strumenti di analisi predittiva.
- Aumento del grado di servizio sfruttando meccanismi efficienti di Service Quality Management.
- Nuove opportunità di business grazie a efficaci strumenti di Market Analytics e possibilità di "monetizzare" il patrimonio dei dati aziendali.

L'architettura dell'infrastruttura della piattaforma di Big Data è stata definita a seguito di un processo di raccolta puntuale delle esigenze guidato da una libreria di "use case" definiti in ambito TM Forum.
Tale libreria ha guidato l'identificazione di Use Case potenzialmente d'interesse per le linee utente (Marketing, Caring, Network, Enterprise).
In particolare poi per ogni Use Case è stato specificato:

- l'impatto sull'Execution Layer ovvero la necessità di prevedere o meno, per la reale fattibilità dello stesso Use Case, il completamento di funzioni in carico ai sistemi operazionali alimentanti la piattaforma di Big Data.
- un indice di "Temperature" riferito al requisito di Velocità di acquisizione e trattamento dei dati (Real Time, Near Real Time, Batch o Misto).

Le linee guida per la definizione dell'architettura derivanti dall'analisi delle esigenze sono:

- Abilitare strumenti che garantiscano l'integrazione di grandi moli di dati acquisiti da sorgenti sia interne che esterne, in modo controllato, veloce e sicuro.
- Consolidare su un'unica piattaforma sia l'ambiente di Datawarehouse esistente che tutto il resto del patrimonio informativo aziendale.
- Fornire una «base comune» su cui innestare una piattaforma analitica orientata a supportare più modelli di fruizione dell'informazione dall'esplorazione ed analisi del dato, al reporting operazionale o data browsing, al supporto alle «decisioni» Real Time basate sull'analisi di dati "actionable".

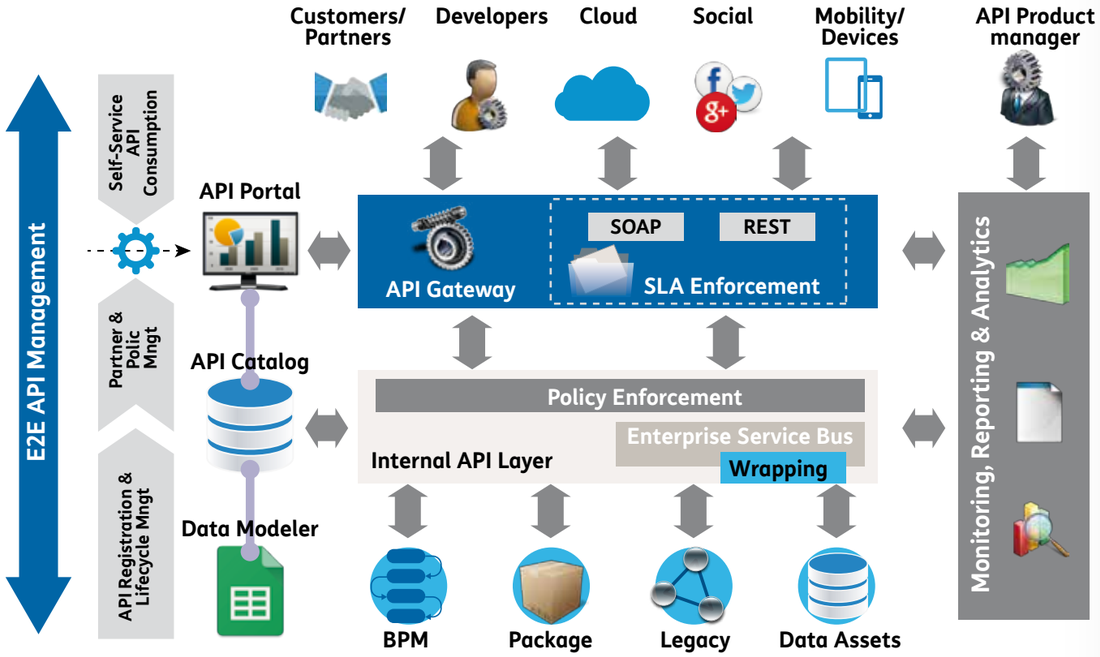
A partire da queste linee guida sono stati specificati i requisiti e nello schema seguente è esposta la rappresentazione schematica dell'infrastruttura Big Data identificata, con la descrizione delle componenti:

- **Business Intelligence**: Classe di prodotti che coprono le funzionalità di reportistica, OLAP, Dashboard, etc.
- **Advanced Analytics**: Applicazioni per il data mining e l'analisi statistica dei dati.
- **Real-Time "Actionable" Insight**: Processamento di informazioni in real-time a supporto di decisioni di business e abilitanti l'esecuzione automatica di business rules.
- **Data Integration Governance**: Strumenti a supporto ai processi ETL / ELT, di gestione della governance dei dati inclusa la qualità.
- **Enterprise DWH**: DB basato su modello dati relazionale e ottimizzato per il processamento massivo parallelo e orientato al query & reporting standard.
- **Information Flow Processing**: Classe di prodotti per il processamento in streaming di dati in real-time.
- **Integration Data Store & Processing Layer**: Sistemi altamente scalabili per la memorizzazione e il processamento di dati strutturati e non.

Stream C: API and Platform Infrastructure

Obiettivo dello Stream è costruire un'infrastruttura software SOA (*Service-Oriented Architecture*) che fornisca in maniera consistente servizi di coordinamento, sicurezza, messaggistica, instradamento intelligente e trasformazioni, agendo come una dorsale attraverso la quale viaggino servizi software e componenti applicativi. TI Sparkle intende dotarsi di una piattaforma di gestione ed esposizione controllata delle API sia verso potenziali Clienti che verso i Partner che forniscono Servizi integrabili nel portafoglio prodotti.
Il risultato che si prefigge lo stream è quello di aprire i Servizi sotto forma di API per essere utilizzate da partner interni, esterni e sviluppatori di App, attraverso processi strutturati, disciplinati e governati.
Poiché il valore di un'API si misura in base al suo utilizzo, è necessario che le API siano progettate in modo da massimizzare il grado di qualità e la semplicità di utilizzo agendo anche sui feedback per le azioni di miglioramento o per cogliere nuove opportunità.
L'architettura che si sta definendo, illustrata nella figura seguente, riassume a grandi linee le principali componenti che saranno messe in campo ma, in questo caso, la tecnologia non è che un tassello di un puzzle più ampio.
È possibile osservare il framework da due punti di vista:

- un *Functional Framework* che definisce lo scopo dell'API Management attraverso:
  - *API Governance* che definisce Policies e Standard da utilizzare, le linee guida, il modello delle API, il loro ciclo di vita e ne garantisce l'operatività;
  - *API Architecture Management* che definisce il modello di riferimento, la relativa architettura e il modello dei dati aziendale ;
  - *API Design & Build* che documenta e sviluppa i Servizi SOA e le risorse REST;
  - *API Operation* che elabora e analizza le metriche run-time e gli SLA consentendone anche la monetizzazione;
  - *API Integration & Interoperability* che, tramite l'*Integration Competence Center*, definisce l'architettura, gli scenari e le linee guida dell'integrazione;



- *API Security Management* che garantisce e controlla l'adozione di standard di sicurezza, l'amministrazione, l'autenticazione e l'audit delle API;
- *API Quality Management* che definisce e misura la qualità fornita dalle API nonché la loro evoluzione.

• *Environmental Elements* che individua l'impatto su ognuna delle dimensioni che costituiscono un'azienda:
- *People*: Organizzazione, Ruoli e Responsabilità, Competenze necessarie;
- *Technology*: API Management, Data Modeling, Collaboration, Monitoring & Reporting, Analytics;
- *Processes*: Identificare le Best Practices, Common Approach, Dependencies, Sequence & Flow, Use Case Scenarios.

Correlando i due punti di vista si ottiene una matrice d'insieme che consente di individuare priorità e impatti in modo da definire correttamente il piano di intervento sia per lo sviluppo dei nuovi sistemi che per la fase di transizione.

Stream D: Rating and Billing Platform

Il sistema ABACUS (*Accounting, Billing and Charging Usage Services*) è la piattaforma unificata di Billing di TIS ed è costituito da quattro macro-componenti:

• *Usage Collection*: comprende le funzionalità di acquisizione e elaborazione del traffico dei diversi servizi (Voce, Global Signaling, SMS, LTE, ...). Include funzioni di gestione delle anagrafiche, gestione degli scarti e dei ricicli e storicizzazione dei dati.

• *Rating & Discounting*: comprende le funzionalità di acquisizione e gestione di Listini e Accordi, i processi di valorizzazione del traffico e di applicazione degli sconti. I dati valorizzati aggregati, oltre all'utilizzo interno al sistema, vanno ad alimentare il DWH.

• *Billing*: comprende i processi di validazione del valorizzato, creazione dei documenti di Billing (fatture, conti attesi), calcolo dei delta, acquisizione delle fatture dai fornitori, gestione dei Benestare al pagamento, tracciamento delle contestazioni, alimentazione del sistema SAP.

• *Gestionale*: comprende i processi di consuntivazione mensile e intramese, riconciliazione, gestione delle ipotesi di accordo, produzione della business view, degli avanzamenti contabili e del forecast, utilizzati dalle funzioni commerciali e AC di TIS.

Da fine 2013 il sistema gestisce anche la fatturazione dei servizi IP & Data, acquisendo dal CRM i relativi ordini.

Di seguito sono riportati i principali volumi gestiti dalla piattaforma nel 2015:

• oltre 67 milioni di CDR giornalieri per i servizi LTE, Global Signaling, SMS, TSU-Voce:
• quasi 14.000 fatture prodotte;
• oltre 5.000 fatture passive acquisite.

In generale il progetto si pone come obiettivo la sistematizzazione dell'integrazione dei servizi di billing, anche sfruttando funzionalità native di pacchetti o servizi di terze parti, nell'ambito dell'architettura enterprise di TIS, al fine di garantire la massima configurabilità e il riuso di soluzioni già utilizzate nell'ambito di offerte commerciali già attive, migliorando il time to market dei nuovi servizi.

Stream E: Voice and Mobile Services Platform for Extended Routing & Pricing

L'efficienza della piattaforma IT rappresenta un elemento distintivo per ogni operatore di servizi di telecomunicazione, ma per un operatore Wholesale come TI Sparkle, che ricava la propria redditività dall'arbitraggio tra costi di acquisto e prezzi di vendita, la disponibilità di un efficiente sistema di ottimizzazione degli instradamenti delle chiamate è un elemento fondante dell'operatività dell'Azienda.

Per questo motivo TI Sparkle sin dal 2004 si è dotata di un sistema di Routing & Pricing, che supporta il processo di identificazione dei migliori instradamenti commerciali e tecnici al fine di massimizzare la redditività, la relativa realizzazione in rete e la definizione del "pricing".

A tale scopo, il sistema effettua un'analisi dei costi effettivi (outpayments) e analizza tutte le possibili vie di instradamento, suggerendo al Voice Trader le opportunità che garantiscono il livello di servizio contrattualizzato al miglior costo di mercato.

Il sistema è collegato a un servizio web di interscambio listini che permette a TI Sparkle di scambiare continuamente prezzi e costi (Continuos Trading) con la quasi totalità degli Operatori Wholesale presenti sul mercato in maniera standardizzata e completamente automatizzata.

Inoltre il sistema realizza le variazioni di instradamento in rete attraverso il collegamento diretto con i moduli di commutazione, con la conseguente ottimizzazione del "time-to-market".

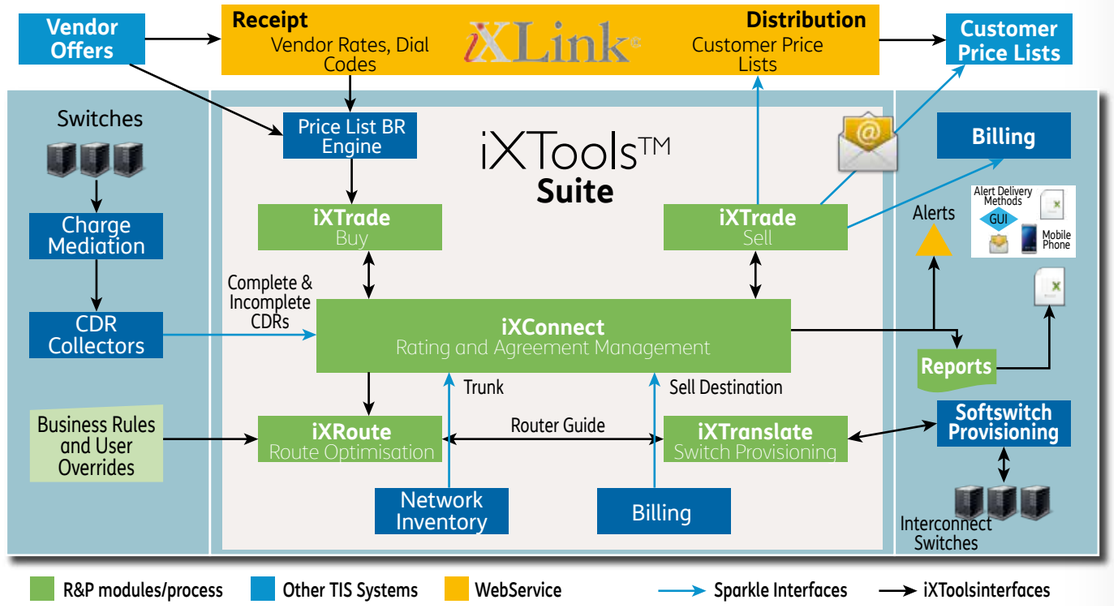
I principali valori gestionali sono di seguito riassunti:

• 40 milioni di CDR giornalieri (Billable & Unanswered);
• oltre 1800 destinazioni di Routing per circa 256 Country Code;
• 21.000 Area Code raggruppati in circa 1000 oggetti di vendita.

Il primo scenario che verrà implementato in questo Stream di Trasformazione è quello relativo al segmento di business "SMS Transit" per il quale la piattaforma di Routing & Pricing dovrà elaborare piani di instradamento del traffico sulla base di criteri di costo, qualità e capacità di terminazione di ogni singolo Termination Provider. L'algoritmo di ottimizzazione dovrà selezionare il fornitore (Termination Provider) più idoneo al trasporto del traffico SMS proveniente da un cliente e destinato a un operatore mobile sempre con l'obiettivo di massimizzare la redditività, massimizzare l'efficacia del delivery e la definizione del "pricing".

Stream F: OSS Evolution

L'attuale architettura dei sistemi OSS è stata realizzata sulla base di un modello a silos, in cui le informazioni necessarie ai processi gestio-



nali (Planning, Provisioning, Fault & Performance Management, etc) sono distribuite su diversi punti non consentendo quindi di avere una visione unificata dei servizi e del loro stato.

La complessità dei nuovi servizi emergenti insieme alla necessità di aumentare la Customer experience rende mandatario un processo di evoluzione dei sistemi OSS verso un'architettura «agile», eliminando i silos architetturali legacy e predisponendo un ecosistema OSS con le seguenti caratteristiche :

- *OSS Real time* in grado di fornire una vista integrata dello stato dei servizi e della rete in tempo reale.
- Supporto alle nuove tecnologie in ottica *NFV/SDN*.
- *Orchestrazione* dei servizi (anche ibridi).
- *Technical Product Catalogue* driven per la definizione semplificata dei servizi commerciali.

In questo contesto, TI Sparkle ha avviato il processo di evoluzione OSS che, nella fase iniziale, è rivolto alla:

- Estensione dei sistemi OSS alle consociate Med Nautilus e LAN nel paradigma "One Company".
- Realizzazione di un sistema di Inventory unico per la documentazione delle risorse fisiche e logiche a supporto dei processi di Network Creation (inside plant e outside plant) e di Service Fulfillment con funzionalità di rappresentazione grafica della rete e dei servizi configurati.
- Disponibilità di un "Product Catalogue" tecnico per la documentazione strutturata e segmentata dei servizi tecnici in modo da rendere l'offerta commerciale flessibile e veloce.

Lifecycle Service Orchestration

L'attuale mercato dell'ICT presenta nuove sfide commerciali e tecniche indirizzate a garantire un maggiore livello di controllo e gestione di ambienti altamente dinamici.

I servizi finali utilizzati dall'utenza vivono infatti sempre più in ecosistemi software in cui confluiscono tecnologie quali il cloud computing, virtualizzazioni di funzionalità di rete e SDN (*Software Defined Network*) che consentono alle varie funzioni abilitanti il servizio di raccordarsi dinamicamente in real-time.

In questo ambito per i CSP diviene prioritario aumentare il valore dei propri servizi garantendo ai clienti una migliore esperienza di acquisto e di utilizzo, sia in termini di creazione e consegna dei servizi che di riconfigurazione di componenti e capacità in un'ottica flessibile e on-demand.

Allo scopo TI Sparkle si sta dotando di un LSO (*Life Service Orchestrator*) ovvero di una piattaforma software dedicata a specificare processi di orchestrazione che automatizzano sequenze di attività, lavorazioni, ruoli e policy necessarie per creare, modificare o rimuovere risorse di rete, infrastrutture di servizio o applicazioni.

LSO provvede a una orchestrazione ad alto livello ed ha una vista end-to-end degli ambiti infrastrutturali, di rete e applicativi su cui funziona e si sviluppa l'intero ciclo di vita dei diversi servizi.

Piuttosto che utilizzare un singolo e monolitico layer di controllo verso i sottostanti domini fisici e logici su cui poi si istanziano effettivamente le varie tipologie di servizio (Cloud, Network, Application), LSO coordina e demanda le azioni southbound a diversi controller specializzati.

I controller dei singoli domini sono applicazioni intimamente collegate con gli elementi di rete e le risorse di computing e storage essendo capaci di mettere in atto, in real-time, le configurazioni e le policy delle componenti distribuite dei servizi gestiti, controllandone lo stato funzionale.

La nuova piattaforma permetterà l'introduzione di Servizi basati sul paradigma «Network as a Service» consentendo al Cliente il Self-Provisioning e il self-management funzionale e capacitivo «On-Demand» con nuovi modelli di fatturazione a consumo. I primi Servizi che saranno rilasciati sono relativi al Layer 2 (Carrier Ethernet 2.0) per estendersi successivamente al Layer 3.

Sicurezza

Una corretta gestione della sicurezza informatica è oggi sempre più riconosciuta come elemento in grado di contribuire alla creazione di valore per un'azienda sulla spinta di alcuni importanti fattori:

- Il Presidio della sicurezza, percepito come elemento distintivo della qualità del servizio offerto da un fornitore di servizi TLC ai clienti finali.
- Esigenza di controllo, come garanzia di riservatezza nel trattamento dei dati relativi al cliente finale: le leggi in materia di Privacy e Resiliency richiedono di garantire elevati livelli di sicurezza, sia tramite l'adozione di apposite misure tecnologiche sui sistemi e sulle piattaforme aziendali, sia attraverso opportuni interventi nell'organizzazione delle attività.
- Necessità di assicurare la protezione della propria infrastruttura ICT per la tutela del proprio business da potenziali frodi informatiche e per la riservatezza dei dati relativi al cliente finale.

Per TI Sparkle è quindi importante assicurare un presidio strutturato e sistematico per soddisfare le crescenti richieste di ICT Security provenienti sia dall'interno che dall'esterno.

Ad oggi ciascuna delle diverse realtà del Gruppo Sparkle ha strutturato un proprio modello di Governance della ICT Security in funzione delle proprie specificità. I processi di sicurezza non sono sviluppati in modo omogeneo e non è prevista una gestione unitaria per il controllo e il miglioramento di tali processi attraverso la misurazione di indicatori di performance sul grado di maturità degli stessi.

Nell'ambito del progetto di IT Transformation, TI Sparkle avvierà quindi una profonda revisione delle attività di ICT Security in ottica end to end attraverso un piano di sviluppo organizzativo e tecnologico della Security con i seguenti obiettivi:

- Definire un unico modello di Security Governance per tutto il gruppo Sparkle per un presidio strutturato delle attività di ICT Security, nelle due accezioni: erogazione servizi di protezione dell'infrastruttura aziendale e proposizione dei servizi di sicurezza in ottica commerciale.
- Rafforzare i processi di Governance per un pieno controllo della compliance ICT e per il presidio delle performance dei processi operativi di ICT Security.

- Estendere i Servizi di Sicurezza alle realtà del gruppo Sparkle non attualmente coperte e avviare di servizi specialistici di Cyber Security H24x7.
- Sviluppare le capacità per una progressiva erogazione di servizi di Cyber Security verso i clienti di TI Sparkle.
- Definire i requisiti di sicurezza in ottica "nativa" per i nuovi sistemi introdotti nell'ambito dell'intero piano di IT Transformation di Sparkle al fine di introdurre in esercizio sistemi intrinsecamente sicuri e compliant alle normative nazionali ed internazionali.

Il Reference Model per le attività di ICT Security in Sparkle

Il Reference Model suddivide i servizi di sicurezza, erogati a protezione di sistemi e infrastrutture interne e in prospettiva verso i Clienti, in alcuni pillar di riferimento:

- Identity & Access Management;
- End Point Security;
- Log Collection & Auditing;
- Network Perimeter Security;
- Security Monitoring & Incident Handling;
- Security Assessment.

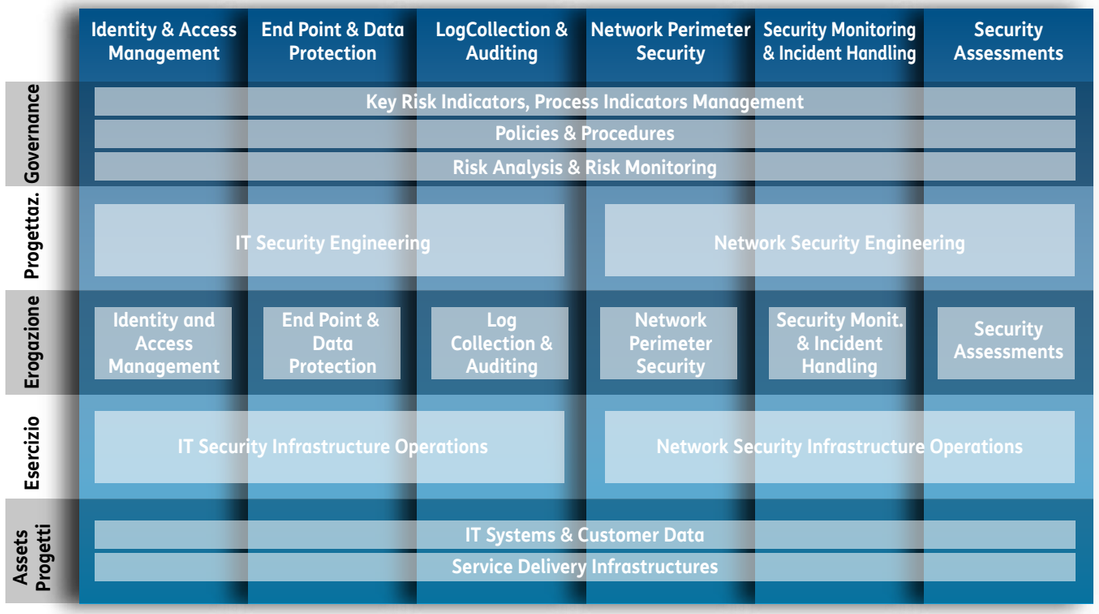
Per tali servizi di sicurezza sono definiti i Processi di Governance, Ingegnerizzazione ed Esercizio delle piattaforme abilitanti oltre che di Erogazione dei servizi stessi.

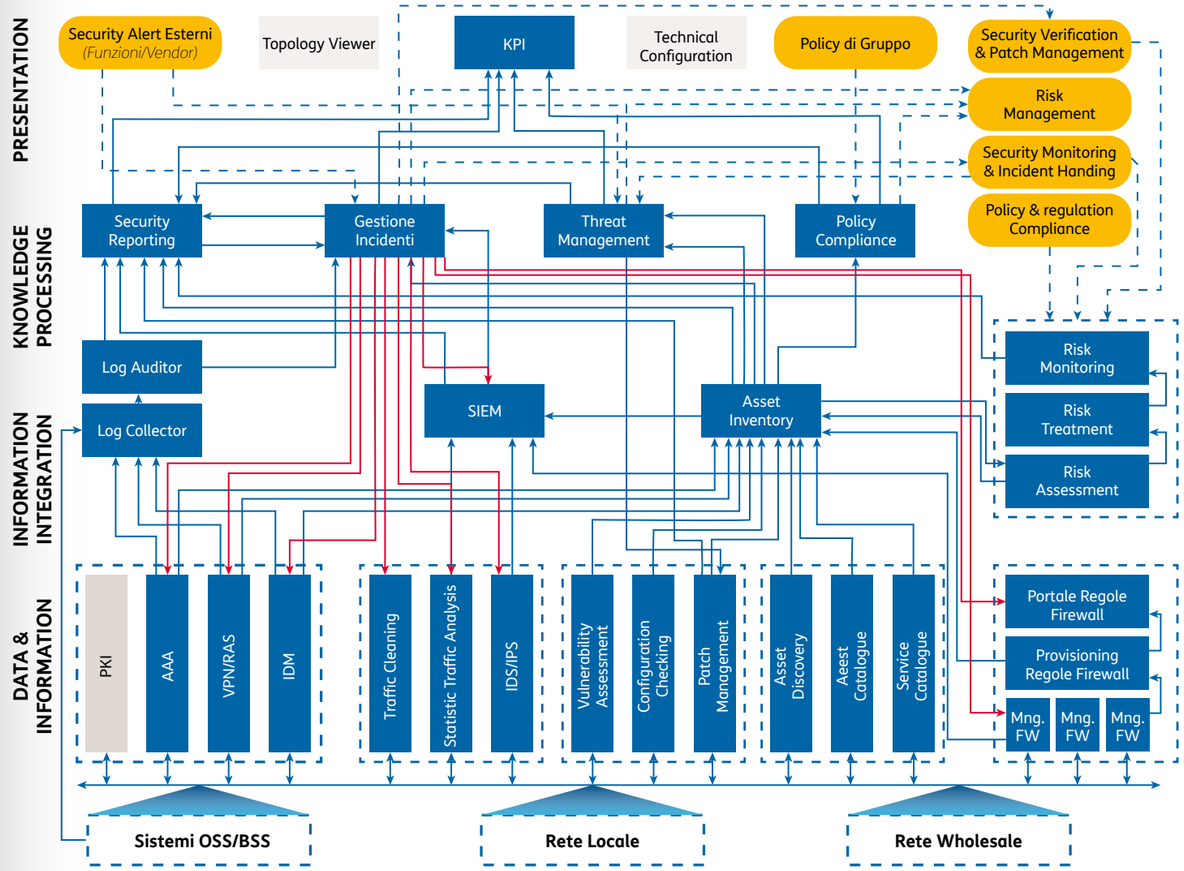
L'evoluzione dei Servizi di Sicurezza a protezione degli asset di Sparkle è guidata dal processo di ICT Risk Management (definito nell'ambito della Governance), che segue tutte le fasi del processo d'industrializzazione di un qualsiasi asset ICT aziendale In funzione del rischio potenziale stimato per ciascun asset interno, il processo di ITRM definisce le strategie per il trattamento e la mitigazione del rischio e di conseguenza l'evoluzione o estensione dei servizi di sicurezza a protezione dell'asset.

Tutte le soluzioni tecnologiche a supporto dei servizi di sicurezza (piattaforme abilitanti) dovranno essere contestualizzate nell'ambito di un framework tecnologico di riferimento.

Tale Framework è definito per guidare l'evoluzione delle soluzioni di sicurezza in maniera efficace ed organica. Il Framework tecnologico di riferimento aiuta a:

- Definire una roadmap d'implementazione delle soluzioni di sicurezza, finalizzata ad introdurre nuove funzionalità, o estendere la copertura di soluzioni già in essere.
- Sviluppare ed usare le risorse ICT in modo sinergico ed integrato.
- Migliorare la capacità di gestire le risorse disponibili, indirizzando gli investimenti in base alla priorità definite.





Framework Tecnologico di Sparkle

Nell'ambito della IT Transformation verrà implementato un importante piano di sviluppo tecnologico, guidato dal framework tecnologico definito, per introdurre nuove tecnologie best of breed o evolvere le attuali, al fine di estendere progressivamente i servizi di sicurezza a protezione di tutto il Gruppo Sparkle.

Per l'erogazione dei servizi di sicurezza saranno definite importanti partnership con player interni ed esterni al Gruppo TIM, permettendo a Sparkle di rafforzare gradualmente il presidio interno e il proprio posizionamento.

Il piano ipotizzato costituisce una importante sfida e una grande opportunità di crescita per Sparkle: l'erogazione di servizi di Security è sempre più un'attività basata su competenze specialistiche pregiate più che sulla mera disponibilità di strumenti di erogazione. Gli strumenti, pur necessari, sono solo un utensile tecnologico nelle mani degli esperti di sicurezza.

Conclusioni

Il progetto di trasformazione di TI Sparkle costituisce, per la sua complessità, un'entusiasmante sfida professionale per il team congiunto TI Sparkle e TI.IT.

Per abilitare TI Sparkle nel viaggio verso il «Digital Business», che permetterà di avere un vantaggio competitivo e rispondere alle esigenze del cliente in modo rapido ed efficace, occorre ricomporre tutte le tessere del puzzle IT con competenza, professionalità ed energia, lavorando in modo coordinato: una navigazione che ci porterà dalle sponde del business tradizionale a quelle nuove del business digitale ■

Note

1 TI Sparkle (***www.tisparkle.com***), costituita nel 2003 con l'obiettivo di sviluppare il mercato Wholesale e Retail internazionale, è un CSP (*Communication Service Providers*) che opera sul mercato globale fornendo le proprie soluzioni (IP & Data, Cloud & Data Center, Corporate, Mobile e Voce) a CSP (es. AT&T, Level 3, Colt), ISP (*Internet Service Provider*), OTT (*Over The Top*), Media e Content Players, ASP (*Application Service Providers*) e aziende multinazionali che hanno sedi in differenti paesi e con sofisticati bisogni ICT.

Fabrizio Bellezza *fabrizio.bellezza@tisparkle.com*

responsabile IT di TI Sparkle. Laureato In Ingegneria delle Tecnologie Industriali con PhD in Ingegneria dei Sistemi. È stato VP di Telecom Italia sia in ambito Wholesale come Responsabile di Market Development che in ambito Equivalence and Regulatory Affairs come responsabile di Equivalence.
Nella sua carriera professionale è stato CTO in Edisontel e ha collaborato con Tiscali, Wind e Huawei Technologies. In qualità di responsabile del Marketing dei Servizi di Rete, nel 1997 ha partecipato in Spagna al lancio di Retevision, di Amena e degli Operator de Cable. Dal settembre 1994 ad aprile 2000 ha negoziato per Telecom Italia tutti gli accordi con gli altri operatori e con l'AGCom i listini di interconnessione.
Ha partecipato nel 1994 al progetto di creazione di Telecom Italia in qualità di progettista di organizzazione ■

Lubiano Lucarini *lubiano.lucarini@tisparkle.com*

laureato in Scienze dell'Informazione, entra in Italcable nel 1981 per occuparsi di Ricerca Operativa applicata alla progettazione di cavi sottomarini. Dopo aver ricoperto varie posizioni in ambito Rete ed IT, assume la responsabilità dei Sistemi Informativi di 9 Telecom in Francia dal 1997 al 2000.
Fino a metà del 2001 ha la responsabilità in Retevision dello sviluppo dell'offerta Internet. Al suo rientro in Italia partecipa allo start-up di Sparkle con la responsabilità del Customer Care fino al 2009.
Negli ultimi anni ha ricoperto la responsabilità del Product Innovation, sia in ambito Strategy che Marketing, focalizzandosi specialmente nel business development in Grecia, Turchia ed Israele e sulle offerte CDN, Video, Data Center, Cloud, LSO e NaaS ■

Simone De Rose *simone.derose@it.telecomitalia.it*

responsabile TI Information Technology dell'area Application Development & Management per i sistemi di CRM e Portali Business e del progetto di Trasformazione IT Sparkle. Laureato In Ingegneria Elettronica.
Dal 2001 è stato Responsabile per TIM e Telecom Italia come VP nell'ambito dell'Information Technology per lo sviluppo e la manutenzione dei sistemi di CRM Consumer, Business, e Wholesale e dei sistemi di Billing & Credit Management.
Nella sua carriera professionale ha partecipato nel 1998 allo start-up di Wind Telecomunicazioni e dal 1993 ha collaborato a progetti di Ericsson AB e Motorola Inc. in qualità di progettista software ■

EVOLUZIONE DELL'ACCESSO

Marco Caretti, Paola Cinato, Umberto Ferrero, Roberto Mercinelli

L'articolo propone una sintesi delle architetture e delle tecnologie per le redi di accesso fissa e mobile. Partendo da una panoramica delle soluzioni attualmente in campo per l'accesso broadband, si descrivono le architetture e le tecnologie evolutive per entrambi i tipi di rete di accesso e se ne evidenzia la naturale convergenza in un'ottica di sinergia per le reti di nuova concezione 5G. La progressiva diffusione di collegamenti in fibra in rete di accesso, oltre a premettere offerte ultrabroadband per l'accesso fisso, abilita anche la realizzazione di reti wireless sempre più performanti e diffuse, che permetteranno la fruizione di servizi con accesso ad altissima velocità anche in mobilità, annullando, nella percezione dei clienti, la distinzione tra rete fissa e mobile.

Introduzione

Negli ultimi anni la richiesta di servizi a larga banda ha avuto una crescita esponenziale spinta da un lato dalla sempre maggior esigenza di vivere socialmente "connessi", dall'altro dall'imporsi di esigenze di fruizione di contenuti video di altissima qualità. Come noto la normativa Europea ha colto queste esigenze presentando "l'agenda digitale europea" che è una delle iniziative di riferimento della strategia Europa 2020: l'obiettivo da raggiungere è offrire connettività ad almeno 30 Mbit/s con copertura del 100% della popolazione ed avere almeno il 50% della popolazione connessa a 100 Mbit/s.

Contemporaneamente le abitudini d'uso, l'incremento delle prestazioni e delle dimensioni dei terminali, e la diffusione di dispositivi controllati in remoto (Internet of Things) impongono nuovi requisiti alla rete mobile in termini di volumi di traffico, numero di dispositivi collegati e prestazioni. Le tecnologie mobili rendono disponibili prestazioni molto simili a quelle ottenibili sulla rete fissa: i clienti si aspettano di essere sempre connessi con elevate prestazioni a prescindere dalla rete alla quale sono collegati: in questo senso la differenza tra servizi mobili e fissi, nella percezione del cliente, tende a scomparire ed essere sostituita dalla nozione di "migliore prestazione possibile" ottenibile in un dato luogo.

Questo scenario ha imposto una forte accelerazione all'evoluzione sia delle architetture di rete fissa e mobile sia delle tecnologie abilitanti a supporto di tali architetture.

Evoluzione delle architetture in rete di accesso

Per far fronte alle esigenze imposte dal mutato contesto di riferimento,

gli operatori di telecomunicazioni nei vari Paesi hanno adottato differenti scelte tecnologiche e architetturali, condizionate da vari fattori quali:

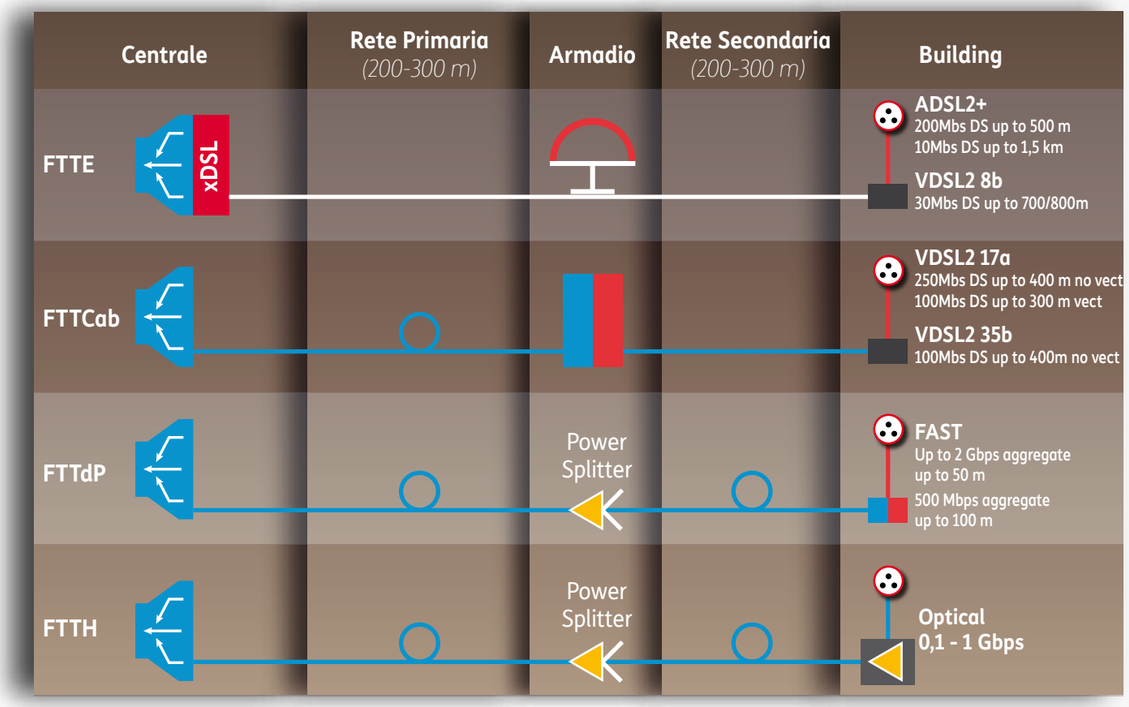
- la struttura della loro rete di accesso fisica (es. lunghezza dei collegamenti, tipo/caratteristiche/obsolescenza degli apparati impiegati);
- regolamentazione esistente e livello di competizione;
- aspetti economici (es. disponibilità di contributi pubblici per lo sviluppo dei servizi TLC).

Al di là di tali fattori, tutti gli attori del settore TLC sono unanimemente concordi nel considerare ineludibile la necessità di rendere sempre più capillare e pervasiva la diffusione della fibra ottica nella rete di distribuzione. La disponibilità della fibra in rete di accesso abilita anche la realizzazione di reti mobili dotate di prestazioni sempre maggiori e presenza sempre più capillare.
Questo orientamento è condiviso sia per quanto concerne lo sviluppo delle architetture di rete fissa, sia per lo sviluppo e l'evoluzione delle tecnologie mobili: si viene pertanto a prefigurare una naturale sinergia e convergenza nello sviluppo delle reti fisse e mobili.

Architetture di rete di accesso fisso

Come anticipato, l'evoluzione delle tecnologie di accesso è caratterizzata da una progressiva introduzione della fibra ottica, con l'obiettivo di raggiungere nel lungo periodo gli utenti direttamente in fibra.
Questo obiettivo tuttavia verrà raggiunto gradualmente, valorizzando il più possibile l'attuale rete di distribuzione in rame, che costituisce ancora un patrimonio e un asset strategico per gli operatori del settore (per quanto riguarda il contesto italiano basti pensare ai 570 mila km di cavo, ai 102 milioni di coppie in rame o ai 152 mila armadi ripartilinea), grazie alla sua capillarità; al di là dell'aspetto economico, l'adozione di architetture che sfruttano la rete in rame esistente, costituisce un importante vantaggio in termini di mercato, consentendo di accelerare i tempi di sviluppo e dispiegamento della rete così da raggiungere nel più breve tempo possibile il maggior numero di potenziali clienti.

1
Architetture di rete di accesso fisso



Il naturale percorso evolutivo che si è venuto a delineare pertanto vede un progressivo avvicinamento dell'infrastruttura in fibra al cliente finale associato all'adozione di tecnologie trasmissive in rame che, sfruttando le distanze via via più brevi da coprire, consentono di assecondare la richiesta di connettività a velocità sempre maggiori; tale percorso evolutivo si articola nei seguenti passi:

- FTTE (Fiber To The Exchange);
- FTTCab (Fiber To The Cabinet);
- FTTdP (Fiber To The distribution Point);
- FTTH (*Fiber To The Home*).

L'architettura FTTE è stata adottata nella seconda metà anni '90 primi anni di introduzione sul mercato di accessi a larga banda, ed associata alla tecnologia ADSL ha consentito a milioni di utenti iniziare a sperimentare le opportunità offerte dai servizi a larga banda; le lunghe tratte di rete in rame e lo stato della tecnologia (ADSL 20/1 Mbit/s Downstream/Upstream rispettivamente) tuttavia, non consentiva di raggiungere i target di prestazioni che il mercato andava chiedendo.
Negli anni successivi (a partire circa dal 2010) lo sviluppo della tecnologia VDSL ha consentito una prima importante evoluzione architetturale che prevede l'installazione dell'elettronica a livello di armadio ripartilinea; l'architettura FTTCab prevede infatti di raggiungere un'unità remota ONU (*Optical Network Unit*) con un collegamento in fibra ottica dedicato in grado di portare fino a 1 Gbit/s simmetrico. La tratta in rame da coprire in questo caso è solo quella della rete di distribuzione secondaria a valle dell'armadio ripartilinea e le velocità raggiungibili crescono in modo significativo, consentendo di avvicinarsi ai target imposti dall'agenda digitale Europea.
In questo periodo di tempo le soluzioni di collegamento puramente in fibra (architetture FTTH) sono state marginali in termini di consistenza, ma molto rilevanti in termini di mercato, essendo queste rivolte a un'utenza particolarmente pregiata (es. collegamenti punto-punto dedicati per utenza business, applicazioni di Backhauling di stazioni radiobase della rete mobile, ...), oppure per clientela residenziale in aree selezionate e circoscritte del territorio (collegamenti punto-multi-punto con tecnologia trasmissiva GPON).
Inoltre nell'immediato futuro è previsto un forte allargamento del bacino di utenza a cui offrire connettività FTTH, adottando una topologia di distribuzione ottica punto-multipunto PON (*Passive Optical Network*) basata su diramatori ottici passivi a divisione di potenza (power splitter) associata alla tecnologia GPON e alle sue evoluzioni (XG-PON/XGS-PON/NG-PON2: vedi riquadro dedicato). Questa ulteriore evoluzione architetturale potrà assecondare le richieste di connettività presenti e future, consentendo di andare anche oltre gli attuali obiettivi previsti dall'Agenda Digitale Europea, e costituirà anche un importante elemento di sinergia tra lo sviluppo della rete di accesso fissa e mobile, offrendo a quest'ultima gli strumenti trasmissivi ed infrastrutturali necessari per il backhauling/fronthauling di micro/nano celle diffuse capillarmente sul territorio.
Un'altra architettura che sta raccogliendo sempre maggiore interesse tra gli Operatori è quella FTTdP (*Fiber To The distribution Point*): questa è caratterizzata dall'adozione di un'unità attiva nelle immediate prossimità dell'utente (es. all'ultimo distributore della rete in rame, alla base dell'edificio o sul marciapiede o in un pozzetto subito al di fuori di un edificio). L'ultima tratta della rete in rame da coprire in questo caso sarà molto breve (50-150m) e potrà pertanto essere adottata un'innovativa tecnologia trasmissiva in rame in fase di sviluppo (G.fast) ottimizzata per queste brevi distanze.
Un altro elemento caratterizzante l'architettura FTTdP è l'adozione dell'alimentazione dell'apparato direttamente da casa del cliente RPF

TECNOLOGIE IN RAME
INNOVATIVE IN RETE DI ACCESSO

Umberto Eula
umberto.eula@telecomitalia.it

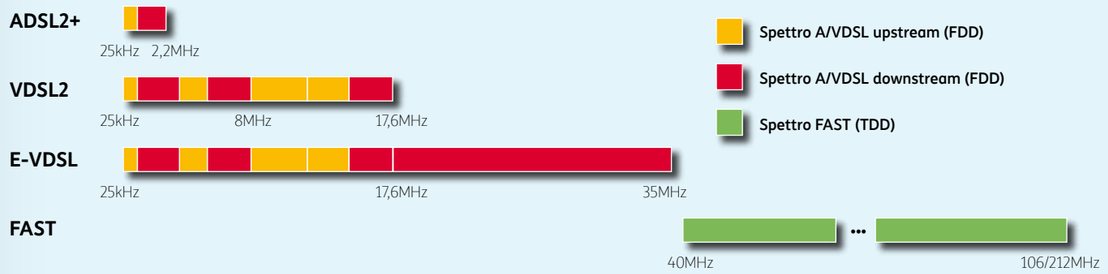
Le architetture descritte per la rete di accesso tendono a sfruttare, quando possibile l'infrastruttura in rame esistente, che grazie alla sua capillarità e all'evoluzione delle tecnologie trasmissive permette di raggiungere velocità elevate su distanze medio corte, e concentrare gli investimenti per un deployment FTTH/FTTdp inizialmente nelle aree più strategiche. Naturalmente, maggiore è la velocità che si vuole offrire sulla tratta in rame e più esteso deve essere lo spettro utilizzato dal sistema trasmissivo. Purtroppo sia l'attenuazione sia la diafonia sono fenomeni che peggiorano al crescere della frequenza, perciò per poter sfruttare le frequenze elevate è necessario accorciare la lunghezza della tratta in rame [7].

La tecnologia VDSL2, come definita dallo standard ITU-T G.993.2, rappresenta l'evoluzione naturale dell'ADSL/2+, e ne incrementa la velocità di linea, utilizzando uno spettro molto più ampio, che si sfrutta bene su lunghezze di collegamento più corte, dell'ordine di alcune centinaia di metri. Questa tecnologia, che utilizza tecniche di frequency duplexing FDD (Frequency Division Duplexing) per separare le trasmissioni upstream da quelle downstream, prevede più profili, ottimizzati per l'utilizzo in scenari diversi: profili fino a 8MHz e 12 MHz per l'utilizzo da centrale, dove le linee sono mediamente più lunghe, profili fino a 17MHz e 35MHz (di recente definizione) per l'utilizzo da cabinet, dove le linee sono più corte. Il profilo a 17MHz è già diffusamente utilizzato in campo per le offerte ultrabroadband FTTCab degli operatori italiani, e permette di offrire velocità downstream intorno ai 50-100M, a seconda della lunghezza del collegamento, mentre per il dispiegamento da centrale, tipicamente per le linee in rete rigida (linee che non transitano attraverso un armadio ripartilinea, ma sono collegate direttamente in centrale), si utilizza il profilo a 8MHz, con velocità intorno ai 30-50Mbit/s su linee mediamente più lunghe. Nel corso del 2015 è stato approvato in ITU un nuovo profilo VDSL2, denominato Enhanced VDSL2 (Annex Q dell'Amendment 1 alla Raccomandazione G.993.2 "Enhanced data rate 35 MHz VDSL2 vectoring compatible with profile 17a"), con spettro fino a 35MHz, nato dall'esigenza di sfruttare al massimo le potenzialità del rame e gli investimenti fatti dagli operatori al cabinet, e contemporaneamente di mantenere la compatibilità con i profili 17MHz in campo, anche in presenza di vectoring, grazie alla spaziatura delle portanti a 4kHz. Con questo nuovo profilo si stima che in rete italiana siano possibili velocità ben superiori a 100Mbit/s per distanze inferiori ai 150-200m, e che si possa incrementare significativamente la percentuale di clienti a cui si potrà offrire 100Mbit/s, anche in assenza di vectoring.

Poiché come si è detto al crescere della frequenza il disturbo di diafonia aumenta, e diventa su distanze medio brevi il fattore principale del degrado delle prestazioni, negli ultimi anni è stata standardizzata la tecnologia del Vectoring (ITU-T G.993.5), una soluzione che, grazie al coordinamento dei segnali trasmessi nello stesso ambiente cavo e alla preventiva valutazione delle caratteristiche di diafonia del cavo, premette di pre-compensare i segnali trasmessi in downstream, sottraendo in anticipo il contributo di rumore di telediafonia (FEXT) che questi riceveranno durante la trasmissione nel cavo. Una elaborazione in post processing viene applicata invece ai segnali ricevuti in direzione upstream, in modo da concentrare la complessità elaborativa del vectoring sull'apparato di rete (ONU). Questa soluzione permette di cancellare il rumore FEXT prodotto dai sistemi omologhi presenti nel cavo, e di ottenere dunque prestazioni più elevate ed indipendenti dallo riempimento del cavo. Il vectoring può essere applicato alla tecnologia VDSL, ma anche alle evoluzioni successive delle tecnologie trasmissive su rame, come il FAST.

La tecnologia FAST rappresenta un ulteriore salto tecnologico, ed è stata specificata per lavorare in maniera ottimale fino a circa 100m (su doppino da 0.5mm di diametro) e raggiungere target prestazionali compresi tra i 500Mbit/s e il 1Gbit/s aggregati (download + upload). Standardizzato nel corso del 2014 (Raccomandazioni ITU-T G.9700 e G.9701), il FAST a differenza delle tecnologie DSL (FDD), è un sistema a divisione di tempo (TDD - Time Division Duplexing). Questa scelta ha permesso di semplificare il design e la complessità del transceiver e di contenerne i consumi. Inoltre attraverso l'uso del TDD, gli operatori possono ottenere una ripartizione tra banda downstream e upstream più flessibile, in modo da poter definire un portafoglio servizi broadband più ampio. A livello spettrale, il FAST può utilizzare frequenze comprese tra 2MHz e 106MHz, ma sono già previste, in future evoluzioni dello standard, ulteriori estensioni che permetteranno l'utilizzo di frequenze fino a 212MHz. Per garantire la coesistenza nello stesso ambiente cavo con sistemi DSL legacy (figura A), quali il VDSL2 dispiegato da cabinet, la frequenza da cui il FAST è abilitato a trasmettere può essere opportunamente configurata e sono stati introdotti opportuni meccanismi in grado di limitare i disturbi arrecati dal FAST nello spettro di frequenze utilizzate per le trasmissioni radio in FM. Nel corso del 2015 si sono resi disponibili i primi prototipi di DPU e CPE in tecnologia FAST, che hanno dimostrato velocità aggregate superiori a 800Mbit/s su collegamenti di 50m (distanze tipiche per il dispiegamento in FTTdp). Il numero di porte dei primi apparati disponibili è fino a 16, poiché i requisiti espressi dalla maggior parte degli operatori, prevedono applicazioni dalla base degli edifici, in architettura FTTdp (Fiber To The Distribution Point), con modularità di 8/16 porte. Date le altre frequenze di lavoro, il FAST è particolarmente sensibile al crosstalk di linee omologhe sviluppate dallo stesso sito: in presenza di rumore le prestazioni del FAST possono risultare particolarmente basse, simili a quelle che si otterrebbero con un sistema VDSL2. A tale scopo quindi è stato reso obbligatorio dallo standard l'utilizzo di tecniche di vectoring in grado di cancellare il rumore di FEXT presente sulle linee ■

A
occupazione spettrale delle tecnologie DSL per la compatibilità nello stesso ambiente cavo



(*Reverse Power Feeding*): in questo caso il singolo cliente eroga dalla propria abitazione l'energia necessaria ad alimentare l'interfaccia trasmissiva in rame a lui dedicata e contribuisce all'alimentazione delle parti comuni dell'apparato. L'interesse per questa architettura discende dal fatto che consente di superare i problemi legati ad eventuali difficoltà impiantistiche nel realizzare in fibra ottica l'ultimo tratto di rete (rete di edificio e/o rete in casa utente), e supera l'esigenza di predisporre un punto di fornitura di energia elettrica per strada o in aree comuni alla base dell'edificio.

Architetture di rete di accesso mobile

Le reti mobili hanno visto un rapido sviluppo della tecnologia attraverso varie generazioni di reti e di terminali: a partire dai primi anni '90 si sono avvicendate quattro fasi principali (analogico, 2G–GSM, 3G–UMTS e 4G–LTE), a loro volta sviluppate attraverso la continua introduzione di miglioramenti tecnologici soprattutto orientati al miglioramento delle funzionalità di trasmissione dati [10] .

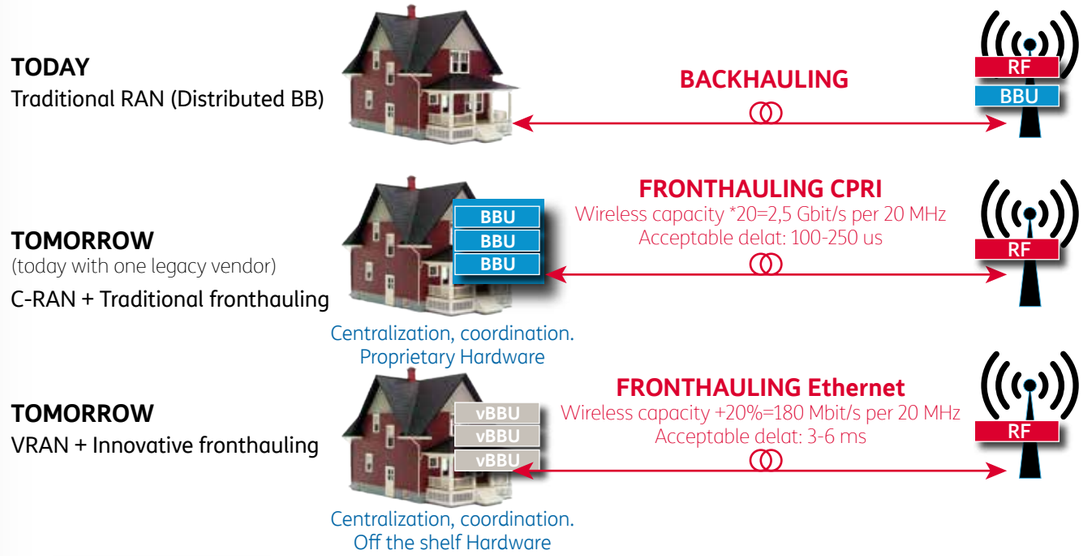
La rete 4G–LTE è diventata commerciale alla fine del 2012: da allora è stata arricchita da varie funzionalità LTE Advanced [11, 12] che ne hanno ulteriormente incrementato le prestazioni. In particolare grazie alla Carrier Aggregation, a due e a tre portanti, oggi è possibile raggiungere la velocità di 300 Mbit/s in downlink ed è stata recentemente dimostrata in campo anche la possibilità di raggiungere i 75 Mbit/s in uplink [13 e 14].

Lo sviluppo della rete radiomobile è ora focalizzato sull'ampliamento della copertura LTE, oggi in Italia pari al 91% della popolazione, e sul continuo incremento delle prestazioni e della capacità. La rete LTE di TIM utilizza oggi le bande 800 MHz, 1800 MHz e 2600 MHz, ma in futuro potrà ulteriormente ampliare la sua capacità, utilizzando anche altre porzioni di spettro oggi in uso da altri sistemi (per esempio la 2100 MHz, attualmente impiegata per il 3G UMTS), o appositamente assegnate al 4G (per esempio la banda L, intorno a 1500 MHz in modalità supplementary downlink recentemente assegnata anche in Italia).

Dal punto di vista architetturale, le reti mobili sono prevalentemente basate su siti macro collegati alla rete core in fibra ottica, o in alcuni casi attraverso ponti radio, attraverso la rete di trasporto. I siti radiomobili ospitano alcuni elementi funzionali: l'antenna, la sezione a radiofrequenza (spesso indicata come RRU (*Radio Remote Unit*)) e la sezione di banda base, dedicata all'elaborazione dei segnali (indicata come BBU (*Base Band Unit*). Il collegamento tra radiofrequenza e banda base viene comunemente indicato con il termine fronthauling per differenziarlo dal backhauling, ovvero la connessione che dal sito va alla core network.

Questa architettura, indicata come distribuita, viene attualmente utilizzata nelle reti mobili in modo del tutto generalizzato: la maggior parte dei circa 20.000 siti della rete TIM è realizzata in questo modo. Tuttavia le prestazioni LTE Advanced per essere utilizzate nel modo migliore, richiederebbero il coordinamento di più siti attraverso l'impiego della stessa banda base. Per esempio la Carrier Aggregation oggi funziona solo con portanti gestite dalla stessa banda base: in una architettura distribuita i terminali ricevono e aggregano quindi i soli segnali provenienti da uno stesso sito. In questo modo la prestazione è disponibile in aree limitate, definite dalle caratteristiche propagative della frequenza più alta. Analogamente anche le funzionalità di coordinamento dei segnali e cancellazione dell'interferenza, quale per esempio il CoMP (*Coordinated Multi Point*), che permettono il miglioramento delle prestazioni soprattutto a bordo cella, richiedono che le antenne che vengono coordinate siano collegate alla stessa banda base: nel caso di un'architettura distribuita i benefici effettivi di miglioramento delle prestazioni si ottengono in aree molto limitate.

La possibilità di centralizzare la banda base che gestisce più siti offre vari benefici ulteriori: gli apparati sul sito di antenna sono meno numerosi, meno voluminosi e consumano meno energia. Gli apparati centralizzati permettono una migliore condivisione statistica delle risorse



2
Evoluzione della rete di accesso radio verso CRAN e VRAN

elaborative (pooling gain): in pratica si ottiene un dimensionamento più efficiente della rete di accesso radio. Per poter sfruttare nel modo migliore le funzionalità LTE Advanced, ottenendo per esempio un'ampia disponibilità della velocità massima di trasmissione ottenibile con la Carrier Aggregation e il miglioramento delle prestazioni a bordo cella, è indispensabile quindi centralizzare le bande base dei siti, consentendo il coordinamento tra di essi. Questa architettura è il punto di arrivo di due passaggi:

- Centralizzazione della banda base: i moduli sono spostati in una sede opportuna (es. centrale); questa architettura è in genere definita Centralized RAN (o base-band hotel).
- Coordinamento della banda base: i moduli oltre a essere centralizzati, sono realizzati in modo da coordinarsi tra loro, ottimizzando le prestazioni delle funzionalità LTE Advanced; questa architettura è generalmente definita Cloud RAN.

I moduli di banda base e i moduli di radiofrequenza sono collegati attraverso un collegamento generalmente in fibra ottica, o più raramente in ponte radio appositamente progettato, con un'interfaccia in grado di trasportare e ricostruire il segnale radio: l'interfaccia nata per i sistemi mobili delle precedenti generazioni, chiamata CPRI, è tuttavia particolarmente inefficiente per le reti 4G. Ogni 20 MHz di spettro radio sono richiesti 2,5 Gbit/s sul fronthauling , con vincoli di latenza massima dell'ordine della decina di microsecondi: siti multi cella e multifrequenza richiedo quindi capacità trasmissive molto elevate, rendendo l'interfaccia CPRI, definita per applicazioni in contesti diversi, non adatta per realizzare una Cloud RAN 4G in modo efficiente.

Per queste ragioni, da alcuni anni sono in corso attività di ricerca e prototipazione sul tema *functional split,* ossia la ripartizione più efficiente delle funzionalità tra modulo di banda base e di radiofrequenza, cercando da un lato di ridurre i requisiti di banda (portandoli a valori vicini alla capacità trasportata), e di latenza (arrivando a valori dell'ordine dei millisecondi), dall'altro cercando di mantenere il più possibile

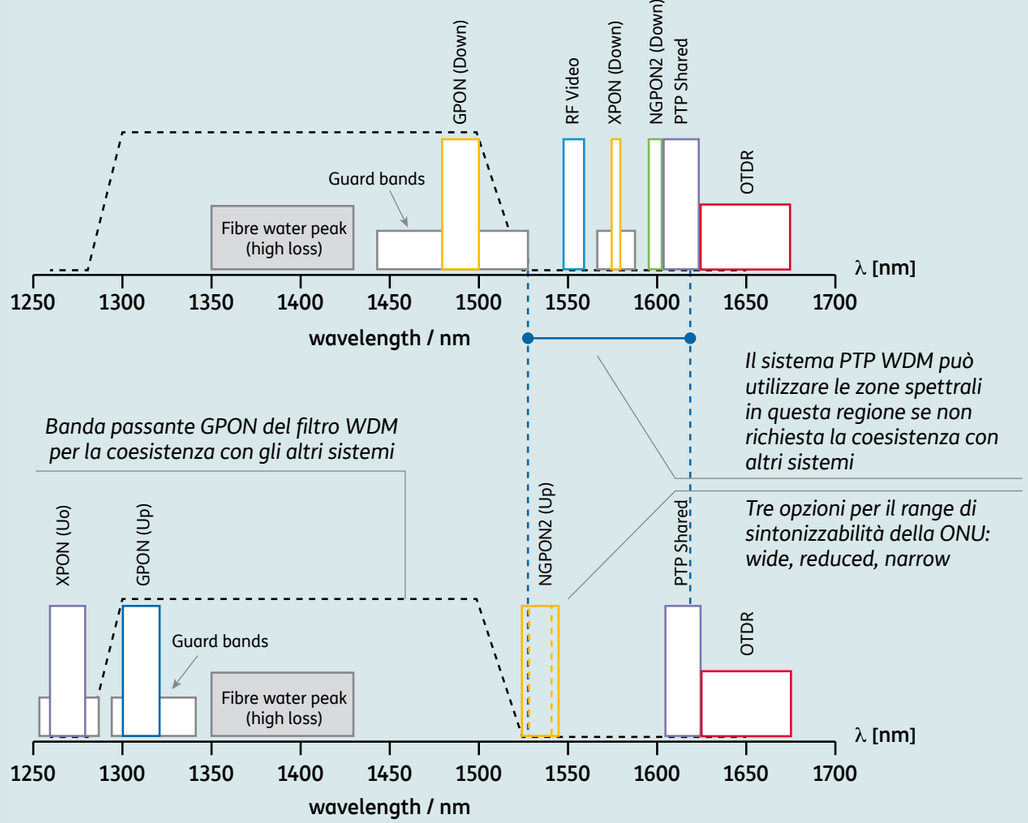
TECNOLOGIE OTTICHE INNOVATIVE IN RETE DI ACCESSO

Maurizio Valvo
maurizio.valvo@telecomitalia.it

E' universalmente riconosciuto che le tecnologie ottiche innovative in rete di accesso si basano su un'infrastruttura ottica passiva punto-multipunto (PON – Passive Optical Network) operanti su rete di distribuzione ottica con topologia ad albero, basata su diramatori ottici passivi (power splitter): questo indirizzo discende dall'opportunità di condividere la stessa infrastruttura ottica e l'interfaccia ottica di centrale tra più utenti, con ovvie ricadute in termini di contenimento del costo per cliente, inoltre si rende possibile una flessibile allocazione delle risorse trasmissive (ad esempio in termini di banda per cliente) tra utenti con requisiti differenti.
La standardizzazione dei sistemi PON è in corso da numerosi anni (a partire dagli anni '90) in ambito ITU-T ed ha visto susseguirsi la definizione di diverse generazioni via via più performanti di sistemi PON; una prima generazione dei sistemi GPON consente di disporre di 2,5/1,25 Gbit/s rispettivamente downstream/upstream da condividersi tra gli utenti attestati allo stesso albero ottico.
Successivamente (2010) è stata definita in ambito ITU-T una seconda generazione denominata XG-PON che ha consentito di ottenere un forte incremento di capacità trasmissiva rispetto alla precedente generazione dei sistemi GPON (10/2,5 Gbit/s rispettivamente DS/US): tali sistemi XG-PON, sebbene disponibili già da qualche anno, non sono ancora diffusi in rete se non a livello di sperimentazione o in contesti molto limitati. La ragione della scarsa diffusione di questi ultimi sistemi probabilmente è da ricercare da un lato nella attuale mancanza di richiesta di servizi di massa con requisiti di banda particolarmente spinti e da un maggior costo di questi sistemi rispetto ai molto più diffusi sistemi GPON tradizionali.
Negli ultimi anni (a partire dal 2012) si è avviata la definizione in ambito ITU-T di una successiva generazione di sistemi denominata NG-PON2 che prevede due possibili opzioni, denominate TWDM PON e PtP WDM PON: la prima specifica un sistema in cui ciascun canale ottico è condiviso tra più utenti, la seconda un sistema in cui ciascun canale ottico è dedicato al singolo utente (punto-punto logico su rete punto-multipunto).
In linea di principio il sistema TWDM PON consiste nella sovrapposizione di più sistemi (fino a 8) XG-PON operanti a lunghezze d'onda differenti, realizzando quindi un sistema di trasmissione ottica multi-canale in grado di offrire sul singolo albero ottico fino a 8 volte la capacità trasmissiva di un singolo sistema XG-PON (80/20 Gbit/s rispettivamente DS/US e opzionalmente anche 80/80 Gbit/s). Ulteriori dettagli sul funzionamento dei sistemi NG-PON 2 possono essere consultati in [6].
E' opinione condivisa che la prossima disponibilità dei sistemi NG-PON2 potrà assecondare al meglio gli imminenti incrementi di domanda di prestazioni in termini di banda sia per soddisfare l'utenza consumer sia per assecondare l'evoluzione architetturale dei servizi mobili che prevede una sempre maggior capillarità sul territorio di stazioni radiobase da raggiungere con un'importante capacità trasmissiva.

Un'importante caratteristica, voluta da tutti gli Operatori, che accomuna tutte le generazioni di sistemi PON è quella di poter coesistere tra loro sulla stessa infrastruttura in fibra ottica, grazie all'utilizzo di una differente allocazione di lunghezze d'onda; questo consente all'Operatore di introdurre gradualmente in rete i sistemi di nuova generazione, anche ove sia già stata adottata la consolidata tecnologia GPON, per offrire il servizio a maggior capacità solo dove necessario, senza arrecare disservizio ad altri utenti che condividono la stessa infrastruttura in fibra. In figura A è riportata l'allocazione spettrale delle varie generazioni di sistemi PON, dalla quale si può vedere come l'utilizzo di porzioni disgiunte di spettro consente la coesistenza sullo stesso albero PON di sistemi di differente generazione.
E' attualmente in fase di approvazione in ITU-T lo standard di un'ulteriore tipologia di sistema PON che si colloca tecnologicamente a metà strada tra i sistemi XG-PON ed i sistemi NG-PON2: tale sistema, denominato XGS-PON, consiste in una versione "simmetrica" del sistema XG-PON (capacità trasmissiva 10/10 Gbit/s rispettivamente DS/US); l'interesse verso questo sistema discende dal fatto che essendo tecnologicamente più semplice dei sistemi NG-PON2 (non essendo multicanale) si stima possa raggiungere rapidamente la maturità ed essere commercialmente disponibile in tempi brevi ■

B
Allocazione spettrale dei sistemi PON



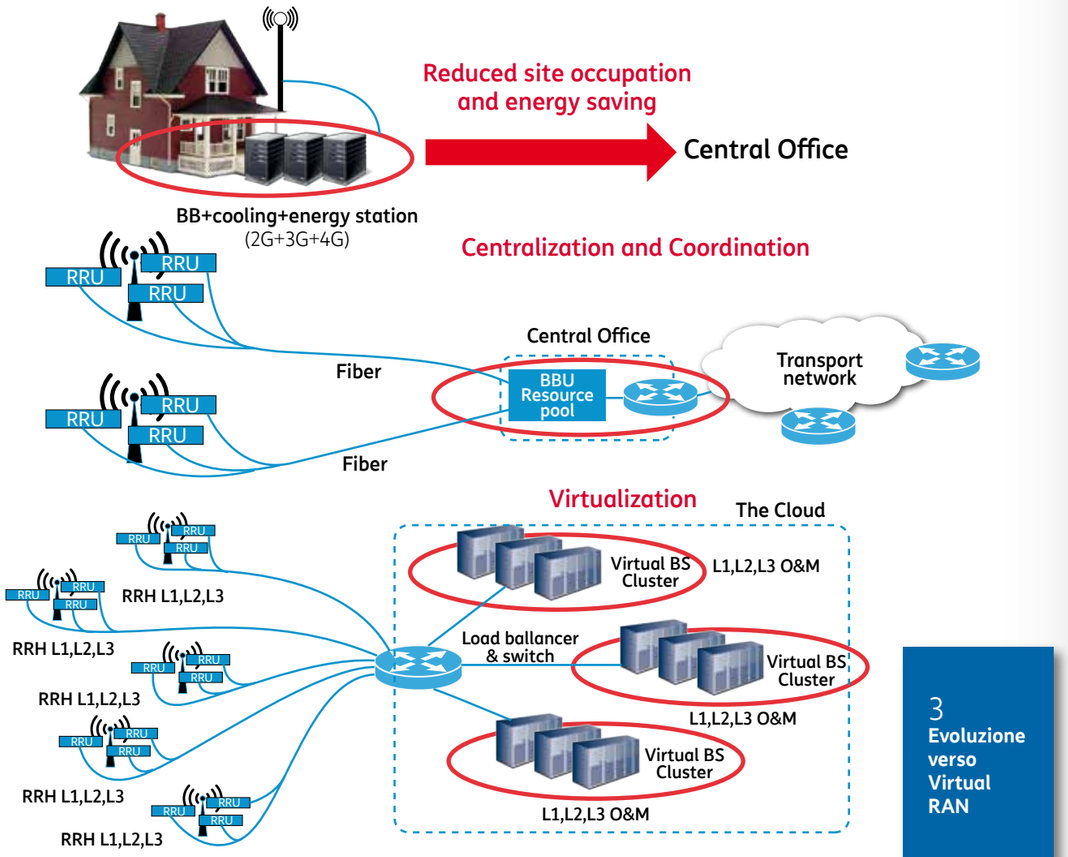
le prestazioni LTE Advanced simili a quelle ottenibili in architetture tradizionali Cloud RAN con CPRI. Le migliori soluzioni di *functional split* consentono di ottenere elevate prestazioni LTE Advanced utilizzando per il fronthauling un trasporto basato su Ethernet: richiedono il trasporto della capacità da trasmettere in aria e un overhead dell'ordine del 20%, e possono funzionare correttamente con una latenza dell'ordine di alcuni millisecondi.

La centralizzazione delle bande base permette un ulteriore passaggio architetturale: le tecnologie di virtualizzazione rendono possibile la realizzazione della bande base su hardware commerciale in modalità NFV. L'utilizzo di un fronthauling efficiente basato su Ethernet e la virtualizzazione della bande base permettono il passaggio dalla Cloud RAN alla Virtual RAN.

L'architettura Virtual RAN rende possibili contemporaneamente numerosi vantaggi:

- centralizzazione e coordinamento delle bande base, con i benefici in termini di prestazioni e risparmi già evidenziati per l'architettura Cloud RAN;
- fronthauling efficiente, che consente la realizzazione dell'architettura limitando gli investimenti a livello di trasporto (sostanzialmente basato su Ethernet);
- impiego di tecnologie di tipo IT e soluzioni NFV, con vantaggi in termini si scalabilità, costi e resilienza.

TIM ha recentemente sperimentato una soluzione VRAN (15), che costituirà il riferimento architetturale per l'evoluzione e la trasformazione della rete di accesso mobile. La tecnologia VRAN infatti consente di realizzare la rete di accesso radio con prestazioni migliori e contemporaneamente costi inferiori, e costituisce anche un elemento architetturale determinante per la futura architettura 5G in corso di definizione negli enti di standardizzazione.



3
Evoluzione verso Virtual RAN

L'introduzione in rete di un'architettura Virtual RAN si combina bene con il concetto di functional split precedentemente introdotto, permettendo di lasciare alcune funzioni (tipicamente quelle che richiedono maggiore capacità di processing) sul modulo di radiofrequenza.

La **figura 4** illustra i possibili punti di separazione funzionale: un'elevata centralizzazione impone stringenti requisiti di banda e di latenza, ma permette anche i massimi benefici prestazionali. Al contrario, trasferendo un maggior numero di funzionalità in prossimità della radiofrequenza, si possono minimizzare i requisiti trasmissivi, pur mantenendo guadagni prestazionali importanti.

La definizione del *functional split* ottimale costituisce pertanto un fattore di successo determinante per le architetture Cloud e Virtual RAN.

Se infatti la ripartizione funzionale è opportunamente selezionata la soluzione VRAN è applicabile all'attuale architettura di siti macro, aumentando capacità e prestazioni della rete a parità di frequenze e siti, minimizzando quindi gli investimenti legati allo sviluppo della rete. La capacità della rete di accesso radio potrà poi essere ampliata introducendo nuove frequenze, per esempio quelle liberate da sistemi progressivamente obsoleti (es. refarming frequenze 2G e 3G) e la realizzazione di ulteriori siti.

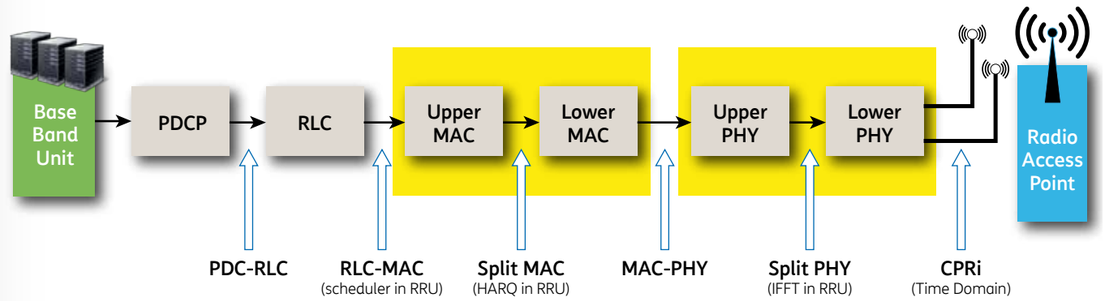
Ulteriori ampliamenti di capacità potranno essere realizzati anche attraverso l'impiego di small cell, creando delle reti eteogenee: anche le small cell, per esempio di tipo micro e pico, potranno essere collegate ad un'architettura VRAN, mantenendo i benefici di coordinamento e ottimizzazione delle prestazioni.

L'evoluzione della rete di accesso mobile richiede anche di predisporre soluzioni in grado di rendere possibili servizi di tipo Internet of Things (IoT): accanto alle prestazioni ultra-broadband offerte da LTE Advanced, la rete 4G deve anche permettere comunicazioni tra oggetti in modo efficiente. In particolare esiste una crescente esigenza di collegare dispositivi che generano poco traffico e richiedono bande di trasmissione modeste, ma sono estremamente numerosi e caratterizzati da specifici requisiti di copertura.

Lo standard 3GPP di LTE prevede un'estensione, chiamata NB-IoT, proprio per soddisfare queste esigenze. Grazie a questa tecnologia la rete 4G LTE potrà essere utilizzata anche per avviare una nuova gamma di servizi legati all'Internet of Things.

Anche la tecnologia NB IoT costituisce un anticipo del futuro standard 5G: le funzionalità della rete 4G LTE

4
Functional split, le possibili alternative



ANTICIPARE IL 5G: NB IOT

Ivano Salvatore Collotta - Bruno Melis
ivanosalvatore.collotta@telecomitalia.it
bruno1.melis@telecomitalia.it

La soluzione NB-IoT (*Narrow-Band Internet of Things*), le cui specifiche tecniche saranno rilasciate entro il primo semestre 2016 in ambito 3GPP, consentirà di indirizzare secondo uno standard condiviso e riconosciuto a livello mondiale le applicazioni di *Internet of Things su reti 4G*, quali smart meters (p.es. contatori del gas, dell'acqua e dell'energia elettrica), logistica e numerosi casi di applicazione che potranno ampliarne le economie di scala. Tali applicazioni sono caratterizzate da un numero di terminali potenzialmente molto più elevato rispetto al numero di terminali tipicamente presenti in una rete radiomobile e da requisiti molto peculiari, per esempio in termini di costi molto bassi del modulo radio, capacità trasmissiva ridotta a quanto necessario per gli use case di interesse, estensione di copertura radioelettrica ed incremento del tempo di vita della batteria.

Lo standard NB-IoT rientra nell'evoluzione delle reti LTE (3GPP release 13) che gestiranno anche altri casi di applicazioni M2M come ad esempio le smart grid, fleet tracking, wearables, connected car, industry 4.0. Si tratta quindi di uno standard voluto da tutta l'industria del settore e che potrà quindi beneficiare di grande economia di scala a livello mondiale.

Nel seguito sono elencati i principali requisiti della soluzione NB-IoT:

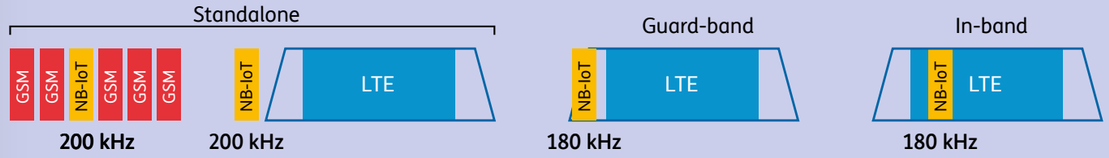
- Prestazioni di **copertura radioelettrica** in grado di garantire la propagazione del segnale anche da e verso sensori dislocati in seminterrati e racchiusi in contenitori metallici. Sul piano tecnico, il requisito sulla copertura si traduce in un miglioramento delle prestazioni rispetto a quelle della rete GSM/GPRS e comporta un incremento del parametro MCL (Maximum Coupling Loss) di 20 dB con un valore target risultante di 164 dB;
- **Numero di sensori** pari ad almeno 50 mila per ciascun settore di un sito radiomobile con canale di 180 kHz [3GPP Technical Report TR 45.820];
- **Data rate bidirezionale minimo pari a 160 bit/s/sensore**, in grado di soddisfare i requisiti di capacità di trasmissione nelle condizioni più svantaggiose in cui si può trovare un sensore. A livello dimensionale le reti garantiranno a bordo cella bit rate dell'ordine di 1 kbps con picchi fino a 250 kbps in buona copertura;
- **Alta efficienza energetica**, in grado di garantire un consumo energetico molto inferiore rispetto all'attuale tecnologia dei meter di prima generazione. Nel caso di moduli NB-IoT dotati di batteria, infatti, si stima una vita utile della stessa superiore a 10 anni;
- **Bassa complessità ingegneristica** (e conseguente costo contenuto del dispositivo), inferiore a quella degli attuali terminali M2M basati sullo standard GPRS (Release 3GPP 1997), con un valore target di **costo del modulo di comunicazione di circa 5$** che potrà beneficiare di ulteriori margini di riduzione a seguito del raggiungimento di economia di scala mondiali;
- **Uso delle bande radio già licenziate** che consentono all'Operatore di garantire la qualità del servizio che non è soggetto ad interferenza proveniente da altri sistemi non sotto il proprio controllo. In particolare la soluzione NB-IoT prevede tre possibili modalità di dispiegamento, illustrate in **figura C**:

- **In-Band**: mediante l'utilizzo di uno o più Resource Blocks di 180 kHz allocati all'interno della banda del segnale LTE per il normale traffico dati
- **Guard Band**: mediante l'utilizzo di uno o più Resource Blocks di 180 kHz posti agli estremi dello spettro del segnale LTE e non utilizzati per il normale traffico dati
- **Standalone**: mediante l'utilizzo di uno o più canali a 200 kHz come risultato del refarming di una o più portanti GSM
- **Infrastruttura LTE esistente di stazioni radio base**. L'implementazione dello standard richiede solo un aggiornamento software dell'infrastruttura con un'attivazione immediata dell'intera copertura nazionale già sviluppata per i servizi LTE commerciali. È opportuno ricordare come già oggi sia prassi comune degli operatori mobili eseguire aggiornamenti software periodici (effettuati più volte all'anno) e che l'aggiornamento di tutte le stazioni radio base del territorio nazionale richieda tempi inferiori a 4 settimane. Inoltre il riutilizzo dell'infrastruttura esistente consente all'Operatore di ottimizzare gli investimenti sia in termini di Capex, sia di Opex (gestione della rete condivisa con altri servizi commerciali LTE).

A livello di roadmap tutti i principali vendor di telecomunicazione sono già impegnati nello sviluppo di questa nuova soluzione accelerando fortemente nella creazione dell'ecosistema:

Continua→

C
Modalità di dispiegamento della soluzione NB-IoT



←*Segue*

- I fornitori di rete dichiarano che l'aggiornamento software per i nodi di rete sarà disponibile nel 2H 2016 per un possibile dispiegamento commerciale già a inizio 2017;
- I fornitori di chipset e moduli NB-IoT produrranno i primi modelli a metà del 2016 con previsione di crescita in volumi a partire dall'inizio del 2017.

Relativamente alla disponibilità dei servizi, la copertura attuale LTE di TIM sulla quale sarà veicolata la soluzione NB-IoT, in outdoor è pari a oltre il 90% della popolazione nazionale e il piano di sviluppo triennale prevede forti investimenti al fine di portare tale copertura al 98% per la fine del 2018. Secondo simulazioni radioelettriche effettuate da TIM, nei casi maggiormente sfavorevoli (c.d. meter deep indoor, posti in scantinati o sotto teche e tombini metallici) con il dispiegamento attuale di LTE, la copertura radio con la tecnologia NB-IoT, sarà già superiore al 90% a inizio 2017 e raggiungerà livelli maggiori al 95% l'anno successivo.

La soluzione NB-IoT si sposa con la disponibilità della tecnologia e-SIM che abilita la configurazione da remoto e il cambio di operatore senza la sostituzione fisica della SIM. La complessità gestionale dell'alto numero dei terminali NB-IoT potrà quindi essere gestita da remoto minimizzando l'accesso ai terminali medesimi da parte del personale tecnico.

A testimonianza dell'impegno di TIM per questa tecnologia, è in corso di realizzazione a Torino il primo Open Lab di ricerca e innovazione in Italia dedicato al NB-IoT, aperto ad aziende e sviluppatori per favorire e accelerare la crescita dei servizi Internet of Things e lo sviluppo di applicazioni industriali.

L'iniziativa è stata recentemente comunicata in occasione del Mobile World Congress 2016 di Barcellona ed ha lo scopo di accelerare lo sviluppo di soluzioni dedicate all'Internet of Things basate sulla tecnologia NB-IoT, permettendo di accrescere e promuovere questo nuovo mercato.

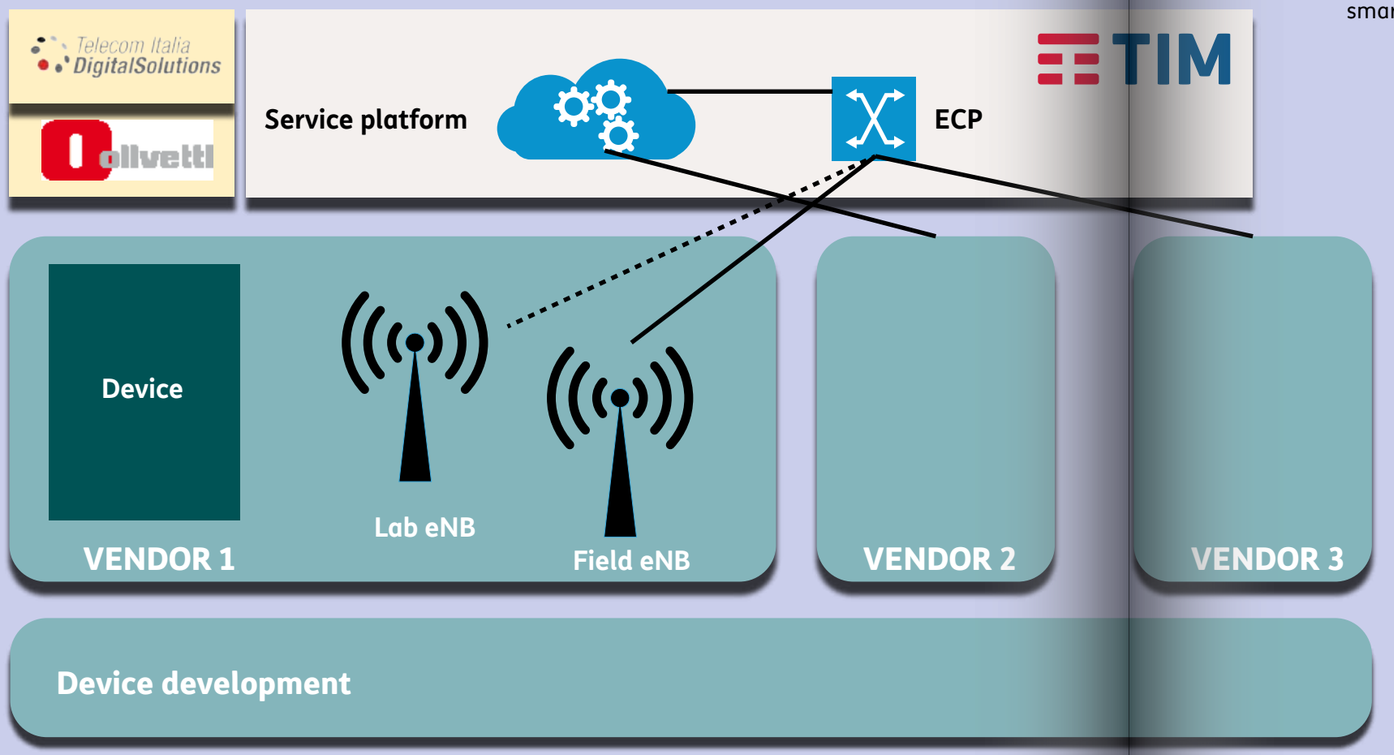
TIM sperimenterà le soluzioni NB-IoT in laboratorio e in campo insieme a partner di diversi settori industriali, facilitando così l'introduzione e l'adozione di questa tecnologia nel mercato. Il primo partner individuato è Huawei, con cui è stato siglato un Memorandum of Understanding dedicato alla tecnologia NB-IoT.

Il laboratorio, come illustrato schematicamente in **figura D**, comprenderà:

- Soluzioni di rete di accesso NB-IoT;
- Rete core e ambienti di servizio;
- Ambienti e strumentazioni necessari per consentire lo sviluppo e la validazione dei servizi, delle applicazioni e dei dispositivi basati sulla tecnologia NB-IoT.

Il laboratorio, inoltre, renderà disponibile anche un'area dimostrativa, dove potranno essere provati alle aziende interessate, servizi e applicazioni.

In tal senso, Telecom Italia condurrà specifici approfondimenti e sperimentazioni legati ai servizi di smart metering ■



D
Struttura del NB-IoT Open Lab di TIM

vengono ampliate per soddisfare nuove esigenze di servizio. TIM ha recentemente avviato la sperimentazione e lo sviluppo di questa tecnologia [16].

Conclusioni

Le reti di accesso fissa e mobile continuano a vivere un percorso di innovazione molto rapido e sempre più strettamente correlato. Le abitudini d'uso e le caratteristiche dei terminali, tendono a fare percepire in modo sempre più integrato l'accesso da rete fissa e da rete mobile. Le prestazioni richieste dalla rete mobile rendono sostanzialmente indispensabile la disponibilità di una rete fissa capillare e con elevate prestazioni. In particolare il percorso di trasformazione della rete di accesso radio verso architetture di tipo Cloud e Virtual RAN impone l'utilizzo di collegamenti in fibra per unire i siti, e i relativi apparati a radiofrequenza, con gli apparati di banda base centralizzati. Successivamente, l'evoluzione della rete di accesso mobile verso reti eterogenee, ossia con ampio utilizzo di small cell, incrementerà ulteriormente la presenza dei siti mobili rendendoli capillari. Lo sviluppo della rete mobile futura, anche in vista della prossima generazione, detta 5G, si basa pertanto sulla presenza di una rete di accesso fissa ad altissime prestazioni ■

Acronimi

DPU - Distribution Point Unit
eMBMS - evolved Multimedia Broadcast Multicast Services
FDD - Frequency Division Duplexing
FEXT - Far End Cross Talk
FTTCab - Fiber To The Cabinet
FTTdp - Fiber To The distribution point
FTTE - Fiber To The Exchange
FTTH - Fiber To The Home
LTE - Long Term Evolution
LTE-A - Long Term Evolution – Advanced
PON - Passive Optical Network
RPF - Reverse Power Feeding
TDD - Time Division Duplexing

Bibliografia

[1] Tecnologia VDSL2 e Enhanced VDSL2: "*Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)*", Raccomandazione ITU-T G.993.2, Gennaio 2015 e Amendment 1, Novembre 2015.

[2] Vectoring: "*Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers*", Raccomandazione ITU-T G.993.5, Aprile 2010.

[3] Sistemi GPON: serie di Raccomandazioni ITU-T G.984.1 – G.984.7, G.988

[4] Sistemi XG-PON: serie di Raccomandazioni ITU-T G.987, G.987.1 – G.987.4, G.988

[5] Sistemi NG-PON2: serie di Raccomandazioni ITU-T G.989, G.989.1-G.989.3

[6] "*Le reti ottiche e la loro evoluzione negli standard*", G. Ferraris, L. Pesando, M. Valvo - Notiziario Tecnico TI 2/2015

[7] "*Evoluzione tecnologica per la rete NGAN*", P. Cinato, F. Marigliano, M. Valvo – Notiziario Tecnico TI 2/2012

[8] Tecnologia FAST: serie di Raccomandazioni ITU-T G9700-9701

[9] Sistemi XGS-PON: Raccomandazione ITU-T G.9807.1

[10] Easy LTE, P. Semenzato (a cura di), *http://www.telecomitalia.com/tit/it/innovation/books/easy-lte.html*

[11] "*Da LTE a LTE-ADVANCED: l'evoluzione tecnologica*", U. Ferrero, M. Gamberini, Notiziario Tecnico Telecom Italia 2/2013

[12] "*Il mobile broadcast*", D. Angelicone, U. Ferrero, M. Gamberini, F. Gatti, Notiziario Tecnico Telecom Italia 3/2014

[13] "*TIM: accelera nello sviluppo della tecnologia LTE e porta le connessioni fino a 300 Mbit al secondo*" http://www.telecomitalia.com/tit/it/archivio/media/note-stampa/market/2015/tim-lte-three-carrier-aggregation.html

[14] "*TIM sperimenta a Palermo il 4G Plus superveloce anche in upload*" http://www.telecomitalia.com/tit/it/archivio/media/note-stampa/market/2016/TIM-Dual-Carrier-Aggregation-Palermo.html

[15] "*TIM tests Virtual Radio Access Network technology*" http://www.telecomitalia.com/tit/en/archivio/media/note-stampa/market/2016/TIM-test-VRAN-Technology.html

[16] "*TIM e Huawei: accordo per lo sviluppo sulla rete mobile di soluzioni dedicate all'Internet of Things*" http://www.telecomitalia.com/tit/it/archivio/media/note-stampa/market/2016/TIM-Huawei-MoU-21-02-2016.html

[17] "*Mobile Trends: Self-Organizing Networks*", S. Bizzarri, A. Buldorini, G. Catalano, Notiziario Tecnico Telecom Italia 2/2014

[18] "*L'evoluzione dell'accesso radio LTE*" A. Buldorini, M. Fodrini, G. Romano, Notiziario Tecnico Telecom Italia 2/2015

Marco Caretti *marco.caretti@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico, è entrato nel 2000 in Azienda per occuparsi di analisi delle prestazioni dei sistemi 2G/3G tramite simulazione e di tematiche di dimensionamento e pianificazione di sistemi radiomobili. In seguito si è occupato dello studio delle prestazioni dei sistemi OFDMA (WiMAX e poi LTE) tramite attività di simulazione e sperimentazione. In tale ambito ha seguito per TIM i lavori del gruppo TSG RAN WG1 e successivamente del WG4 del 3GPP responsabili, rispettivamente, della standardizzazione dell'interfaccia radio dei sistemi radiomobili e dei relativi requisiti di prestazione. Attualmente lavora in Wireless Innovation all'analisi di prestazioni del sistema LTE Advanced/LTE Advanced Pro e di alcune funzionalità candidate per la definizione dei sistemi di nuova generazione (5G) e segue le attività di sperimentazione e prototipazione di sistemi di accesso radio in architettura Cloud e Virtual RAN ■

Paola Cinato *paola.cinato@telecomitalia.it*

laureata in ingegneria elettronica e certificata PMP dal 2007. In azienda dal 1987, si è occupata inizialmente di sistemi di commutazione e tecnologie ottiche e nel '91 ha lavorato per un anno presso i laboratori Bellcore, a Morristown NJ (USA), sulle interconnessioni ad alta velocità nei moduli multi chip. Negli anni successivi ha coordinato le attività sul risparmio energetico nei sistemi di energia e condizionamento per telecomunicazioni, per poi occuparsi di planning strategico e negli ultimi anni di tecnologie trasmissive per la rete di accesso in rame.
Attualmente coordina, nel ruolo di Project Manager, le attività di innovazione sulle tecnologie trasmissive xDSL, con particolare focus sul VDSL2, E-VDSL, G.fast e sulle architetture per la rete di accesso fisso NGAN ■

Umberto Ferrero *umberto.ferrero@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico è responsabile in ambito Engineering & TILab – Wireless Access delle attività di Wireless Innovation, dove si occupa di attività di studio, simulazione, specifica e sperimentazione di nuove architetture e tecnologie di accesso radio.
Entra in Azienda nel 1992, dove inizia a occuparsi di soluzioni trasmissive broadband innovative su fibra ottica e su rame, nell'ambito di progetti nazionali e internazionali.
Successivamente si occupa di tematiche di pianificazione e architetture di rete con particolare interesse per l'evoluzione della rete broadband fissa. Tra il 2006 e il 2012 in ambito TILab – Testing Labs è stato responsabile delle attività di program, reporting, testing dei servizi end to end e delle sperimentazioni in campo. ■

Roberto Mercinelli *roberto.mercinelli@telecomitalia.it*

ingegnere elettronico, entra in Azienda nel 1990, per occuparsi principalmente della rete di accesso. In particolare ha condotto studi sulle caratteristiche trasmissive della rete di distribuzione in rame in termini di diafonia, attenuazione resistenze di loop e di isolamento. Questi studi sono stati la base per successive indagini sui limiti di funzionamento in rete dei sistemi ADSL/VDSL che hanno contribuito alla stesura delle linee guida per l'inserimento in rete di tali sistemi in architetture FTTCab. Successivamente le attività di ricerca si sono focalizzate sulla valutazione di soluzioni architetturali d'accesso basate sull'impiego di fibra ottica ed in particolare ai sistemi PON (GPON). Attualmente si occupa dello studio delle possibili evoluzioni delle architetture di rete di accesso fissa sia su rete in rame (E-VDEL, G.FAST) sia su rete ottica (XG-PON, NG-PON2) ■

Notiziario Tecnico
Anno 25 - Numero 1, Aprile 2016
www.telecomitalia.com/notiziariotecnico
ISSN 2038-1921

Registrazione
Periodico iscritto al n. 00322/92 del Registro della Stampa Presso il Tribunale di Roma, in data 20 maggio 1992

Gli articoli possono essere pubblicati solo se autorizzati dalla Redazione del Notiziario Tecnico.
Gli autori sono responsabili del rispetto dei diritti di riproduzione relativi alle fonti utilizzate.
Le foto utilizzate sul Notiziario Tecnico sono concesse solo per essere pubblicate su questo numero; nessuna foto può essere riprodotta o pubblicata senza previa autorizzazione della Redazione della rivista.

TIM Impresa Semplice

Portare la complessità fuori dalla tua azienda è davvero semplice.

Con i servizi di **Cloud Computing** puoi creare un nuovo modo di lavorare.
La tua azienda libera l'energia necessaria per immaginare nuovi scenari e il tuo business cambia, si evolve e cresce con te.

TIM

Per maggiori informazioni sui servizi vai su **impresasemplice.it**

Spedizione in A.P. -45% - art.2 20B Legge 662/96 - Filiale di Roma
ISSN 2038-1921