



**Speciale:
Artificial Intelligence**

2/2019

 **TIM**

notiziario tecnico



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
Enrico Maria Bagnasco
Daniele Franceschini
Gabriele Elia
Elisabetta Romano
Paolo Snidero

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

Fabrizio Amorese
Patrizia Andreozzi
Sergio Augusto
Domenico Arena
Luigi Artusio
Armando Bazzani
Simone Bizzarri
Valentina Brizi
Andrea Buldorini
Giovanni Caire
Marco Caretti
Andrea de Carolis
Roberto Dagnese
Gian Michele Dell'Aera
Gianluca Francini
Marco Gaspardone
Diego Gibellino
Paolo Gorla
Roberto Lanzo
Lucy Lombardi
Antonio Manzalini
Davide Micheli
Giuliano Muratore
Simone Piacco
Mauro Piazza
Salvatore Scarpina
Andrea Schiavoni
Aldo Vannelli

Editoriale

Il mondo della tecnologia ci abitua a volte ad annunci di innovazioni piene di prospettive che vorremmo avere esaudite “tutte e subito” e che invece maturano poco per volta, fino ad avere un impatto grande e duraturo.

Questo numero del Notiziario Tecnico presenta la prospettiva dell'Intelligenza Artificiale, o AI, pensata fin dagli anni '50, ma che solo negli ultimi anni ha incominciato a dispiegare il suo potenziale. Questa “esplosione” dell'AI è in buona parte dovuta alla disponibilità di grandi quantità di dati, all'evoluzione delle risorse di calcolo e delle infrastrutture abilitanti di reti ultrabroadband e di risorse cloud computing. Tutto questo sta impattando ogni settore dell'economia e dei servizi, dalle elaborazioni delle immagini sui nostri smartphone alle nuove interfacce vocali, all'automazione delle reti, alla gestione in maniera nuova della automazione di fabbrica, spaziando quindi dall'e-commerce alla sanità.

Questo scenario è ricchissimo di stimoli, ma consegna alle macchine con i loro algoritmi di “machine learning” e a chi possiede i dati, che sono usati ad adde-

strare gli algoritmi, un potere sempre maggiore. L'evoluzione delle capacità dell'AI è diventata quindi una battaglia anche tra macro-sistemi economici quali gli Stati Uniti, l'Asia e l'Europa; inoltre solleva, per l'impatto che progressivamente sta avendo e avrà sempre più sulla vita di tutti noi, un forte dibattito legato al considerare anche gli aspetti più “impalpabili” associati alla tecnologia, quali per esempio la definizione e il rispetto di linee guide etiche che rendano “equi” e trasparenti gli algoritmi stessi.

Un esempio tra tutti, il caso, balzato agli onori della cronaca in questi mesi, di Brad Smith, presidente di Microsoft, che ha proposto al Congresso degli Stati Uniti una lista di provvedimenti legislativi da adottare per prevenire e scongiurare abusi legati all'uso discriminatorio di soluzioni di machine learning impiegate per il riconoscimento facciale; di per sé si tratta di sistemi utili per garantire la sicurezza pubblica (identificare malviventi), ma una “sorveglianza” così sofisticata comporta di definirne “il limite”, per evitare di violare indiscriminatamente la privacy su chi siamo, cosa facciamo, chi incontriamo ■

Buona lettura

Elisabetta Romano, CTO di TIM

Indice



Lucy Lombardi

AI come “cervello” della 5G Digital Platform di TIM

While AI (*artificial intelligence*) is among today's most popular topics, it was born in 1950 and went through a first hype cycle between 1956 and 1982. What seemed to truly spark the field of AI was a question proposed by Alan Turing in 1950: can a machine imitate human intelligence?



Luigi Artusio, Antonio Manzalini

Il ruolo dell'Intelligenza Artificiale nelle reti di prossima generazione

Gli Operatori di telecomunicazione, fortemente coinvolti nel processo di evoluzione e trasformazione delle proprie reti in ottica 5G, devono affrontare una doppia sfida: la crescente complessità tecnologica e la sostenibilità del business.



Gianluca Francini, Diego Gibellino

AI in MPEG: la compressione delle Reti Neurali

Oggi l'intelligenza artificiale ed in particolare le reti neurali permettono di riconoscere oggetti, video e persone, suggerire i contenuti più appropriati in base ai propri gusti e garantire una migliore *user experience* durante lo streaming di contenuti attraverso Internet. MPEG,



Patrizia Andreozzi, Sergio Augusto, Valentina Brizi, Andrea de Carolis

Digital transformation delle reti di trasporto fotoniche

Negli ultimi anni, le tecnologie e le funzionalità della rete di trasporto di TIM sono significativamente cambiate per far fronte alle nuove esigenze del mercato, che ha visto l'evolversi dei servizi proposti e la crescita esponenziale dei volumi di traffico.



Simone Bizzarri, Paolo Gorla, Roberto Lanzo, Andrea Schiavoni

Managing complexity: augmented intelligence for 5G radio access design and optimization

5G will enable a wide variety of applications leading to significant challenges for the evolution of Radio Access design methodologies. As an example, the exploitation of "Internet-of-Things" will extend connectivity requirements to any kind of device, in any possible position, from the underground (e.g. pipe monitoring, metering, etc) to the sky (e.g. drones applications - see dedicated box "*Design of Drone Ready Radio Access Network*").



Davide Micheli, Giuliano Muratore, Aldo Vannelli

Clima, MDT e Machine Learning per osservare il comportamento delle città

La vista privilegiata offerta dalle misure radiomobili MDT rappresenta un valore anche per lo studio degli impatti ambientali e dei relativi riflessi sui comportamenti sociali. Il lavoro di ricerca analizza possibili correlazioni tra eventi meteo di piovosità e variazioni sia nella distribuzione delle persone sul territorio sia nelle misure radio effettuate dai terminali mobili.



AI COME “CERVELLO” DELLA 5G DIGITAL PLATFORM DI TIM

Lucy Lombardi

While AI (*artificial intelligence*) is among today's most popular topics, it was born in 1950 and went through a first hype cycle between 1956 and 1982. What seemed to truly spark the field of AI was a question proposed by Alan Turing in 1950: can a machine imitate human intelligence?

This triggered debates and research that culminated in the conference organized by professor John Mc-

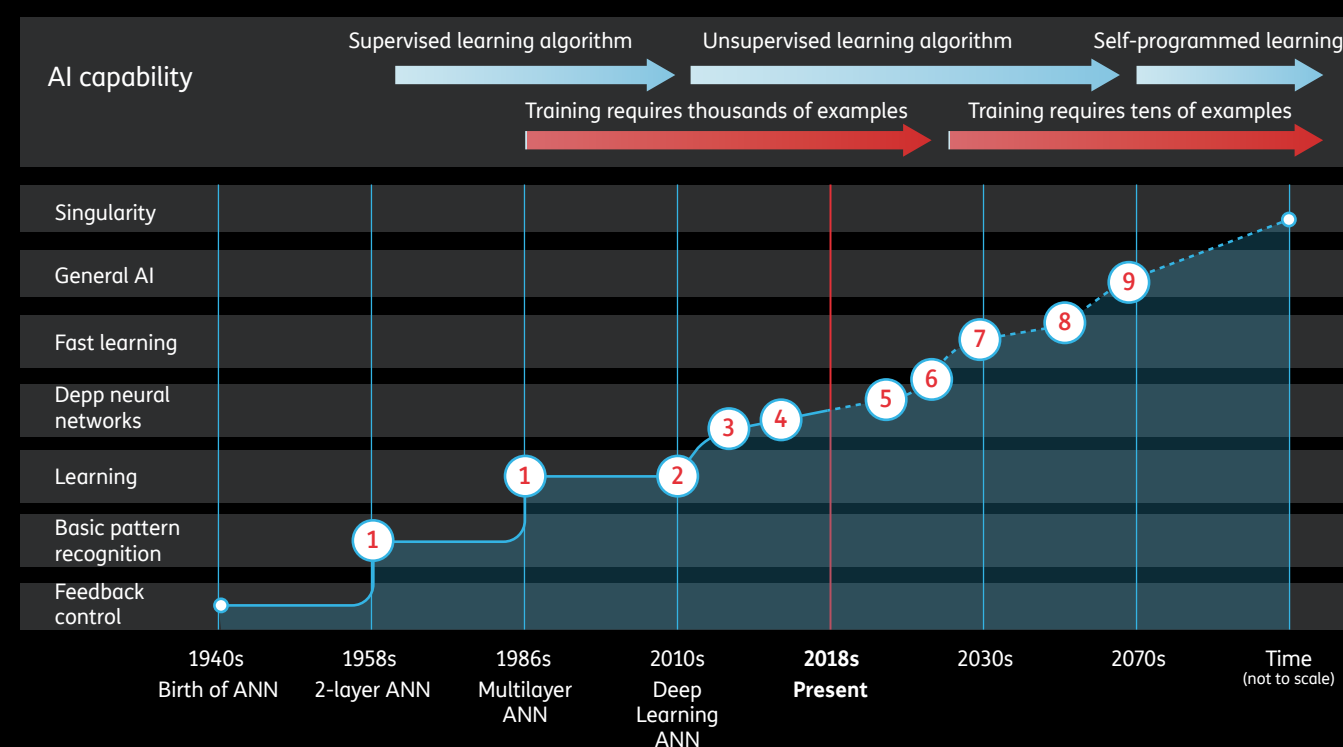
Carthy in Dartmouth in 1956 that gathered twenty pioneering researchers to "explore ways to make a machine that could reason like a human, was capable of abstract thought, problem-solving and self-improvement". At this conference the term artificial intelligence was coined and where AI gained its vision, mission, and hype.

Notwithstanding exemplary research that followed, it wasn't until

2005 that the pace of research and development picked up substantially thanks to important technology developments that led to an AI re-birth, especially with respect to machine learning and, more specifically, deep learning. Chips were faster and cheaper and could support the processing speeds needed by AI and cloud-based storage and compute capacity were increasingly available on an on-demand basis.

1

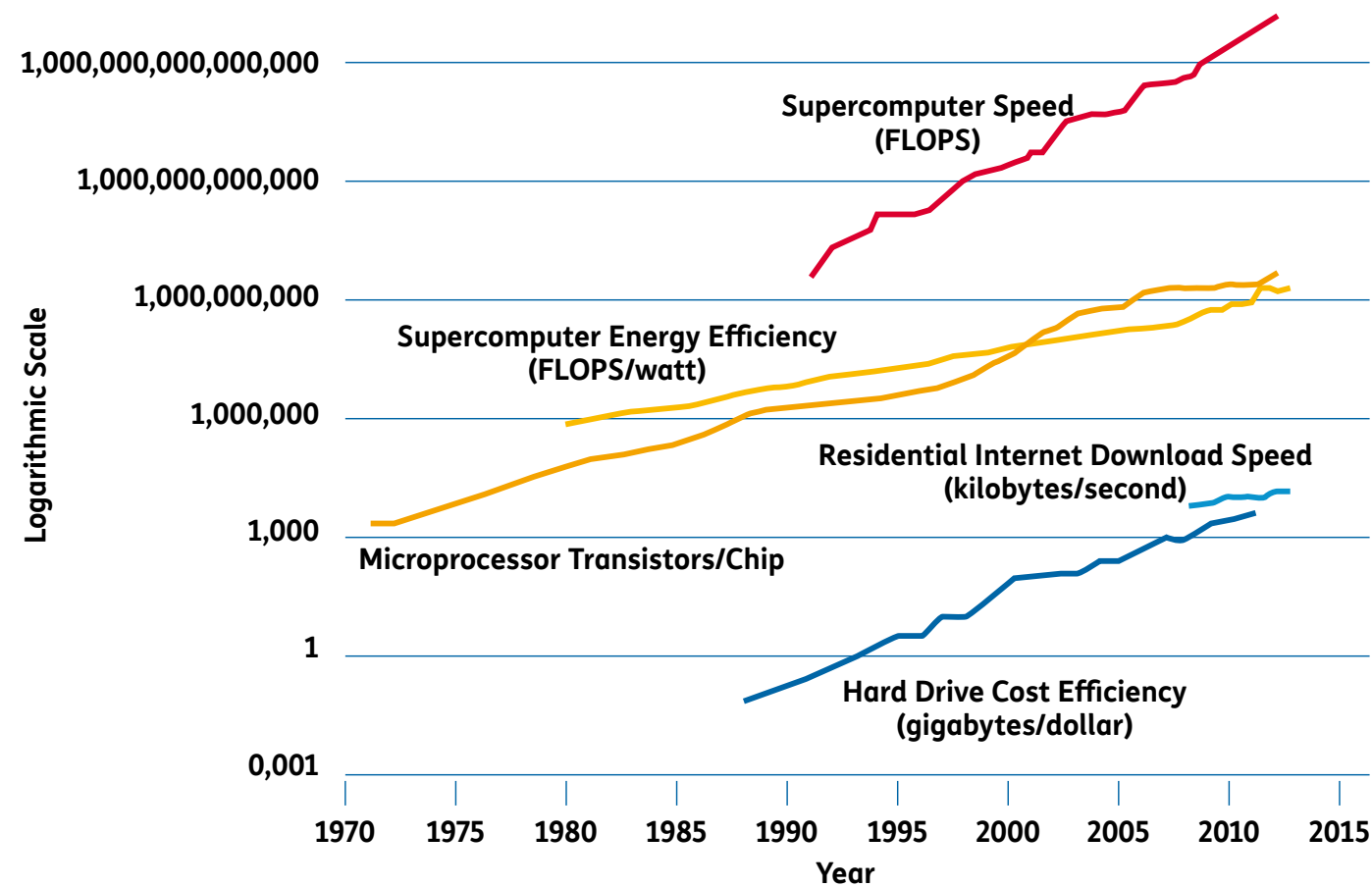
The long history of AI (AI past, present, future) - (Source: Ovum)



- 1 Step-change breakthroughs followed by plateaus (AI winters)
- 3 IBM Watson DeepQA win "Jeopardy" TV show
- 5 Accelerated progress through open collaboration
- 7 Accumulated learning
- 9 Survival instinct, curiosity

- 2 Nvidia GPUs accelerate training time
- 4 Google DeepMind AlphaGo beats world Go champion Lee Sedol
- 6 In-built morals and ethics
- 8 Gains quasi-consciousness

ANN = Artificial neural network



2

The Second Machine Age

(Source: Brynjolfsson, McAfee-Cummings)

We are currently in yet another Artificial Intelligence hype triggered by the wonderful opportunities that all the data generated by the IoE (*Internet of Everything*) will produce and by the increased complexities in telco infrastructure deployments: AI is consistently listed among the major technological trends alongside 5G.

In this article we will explore how AI plays a fundamental role on telco's digital transformation and why it is

at the heart of TIM's 5G Digital Business Platform approach.

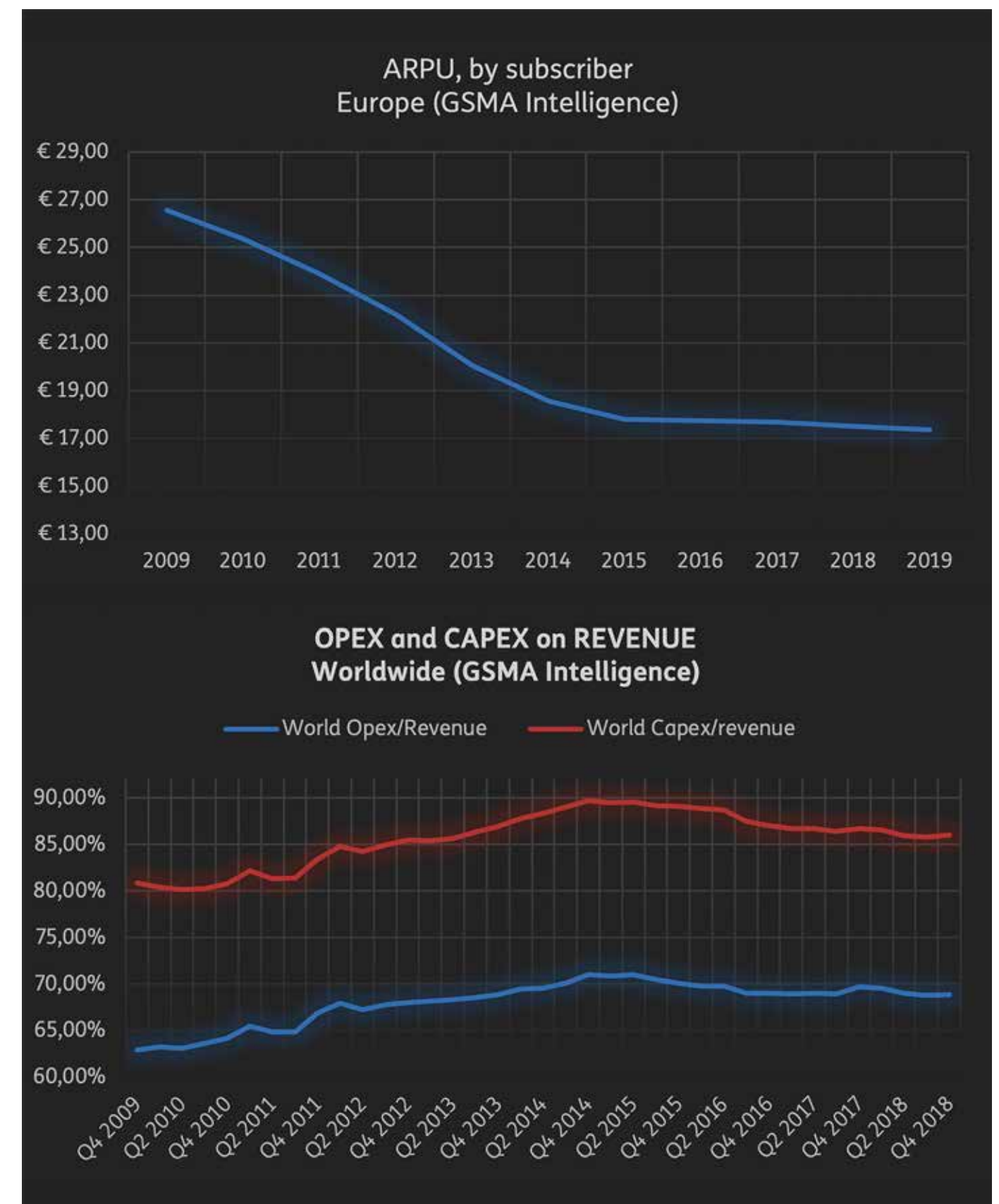
Telco challenges

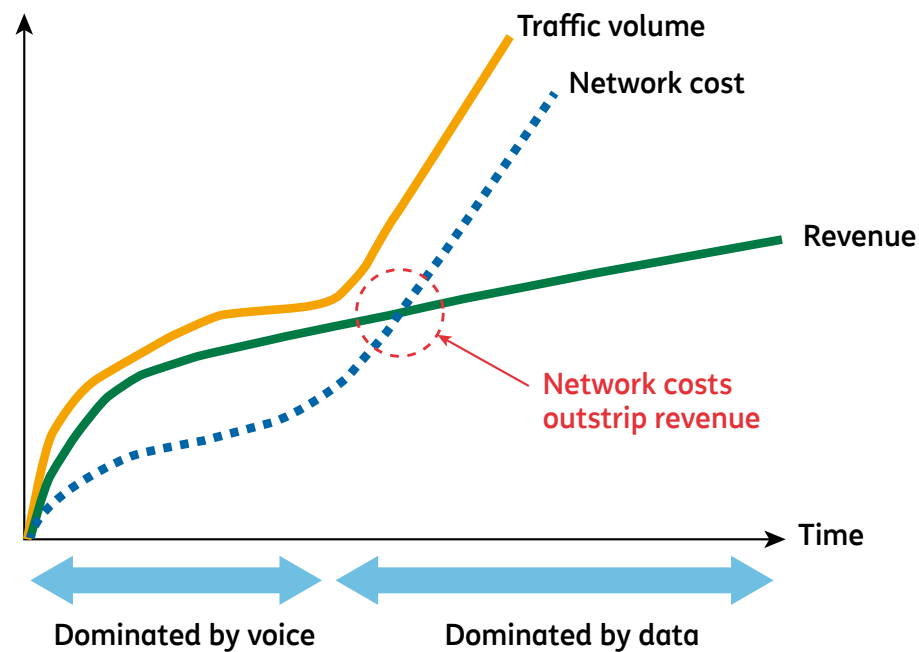
As Kodak's story teaches us, when your core business is going well, the incentives for change are weak. The situation Telcos are in today however, is very different from the one Kodak was in at the dawn of the

digital photography age, and digital transformation seems to be a necessary evolution.

Over the past ten years competition and the proliferation of over-the-top players has significantly impacted telco revenues. According to GSMA Intelligence data, in Europe the average ARPU has decreased 37% in the past ten years.

In the same period Telcos have experienced an increase in Opex and Capex investments due to the in-





crease in traffic in the networks and to the introduction of newer generations of mobile technology.

Since the introduction of data in the mobile network technology that triggered the merger between telecommunications and internet, telecom providers have seen an increased decoupling of mobile revenue and network cost.

5G will open opportunities to capture value from new 5G use cases and widespread adoption of the IoT (*Internet of Things*), but it will increase infrastructure investments in 5G while telcos are still investing in upgrading 4G infrastructure to cope with growing traffic demand. In an analysis of one European country, McKinsey & Company [note 1] predicted that network-related capital expenditures would have to increase 60 percent from

2020 through 2025, roughly doubling TCO (*Total Cost of Ownership*) during that period.

Unlike what we've learned from the Kodak experience, the conditions are mature for Telcos to take the opportunity of 5G to introduce a wider deep technological transformation in their technical approach to infrastructure deployment and operations.

AI for telcos

AI is a broad term that includes different areas spanning from natural language, to deep learning passing by robotics process automation. In general, we can think of it as a human-like intuition that links analytics - which is a way to make correla-

4 Decoupling of mobile revenue and network cost (Source: Analysys Mason)

tions - and automation - which is a final action in a sequence.

The most common form of AI today is ML (*Machine Learning*). Rooted in statistics and mathematical optimization, Machine Learning is the ability of computer systems to improve their performance by exposure to data without the need to follow explicitly programmed instructions. Machine Learning is the field of study that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed, sort of like teaching a dog how to catch a ball as opposed to teaching someone to follow a cake recipe. The first one is by trying giving feedback and letting the dog figure it out; the second is a step-by-step instructions to be followed.

Going forward ML will be key to making sense of the explosion of data generated by IoT as it is able to automatically spot patterns in large amounts of data that can then be used to make predictions.

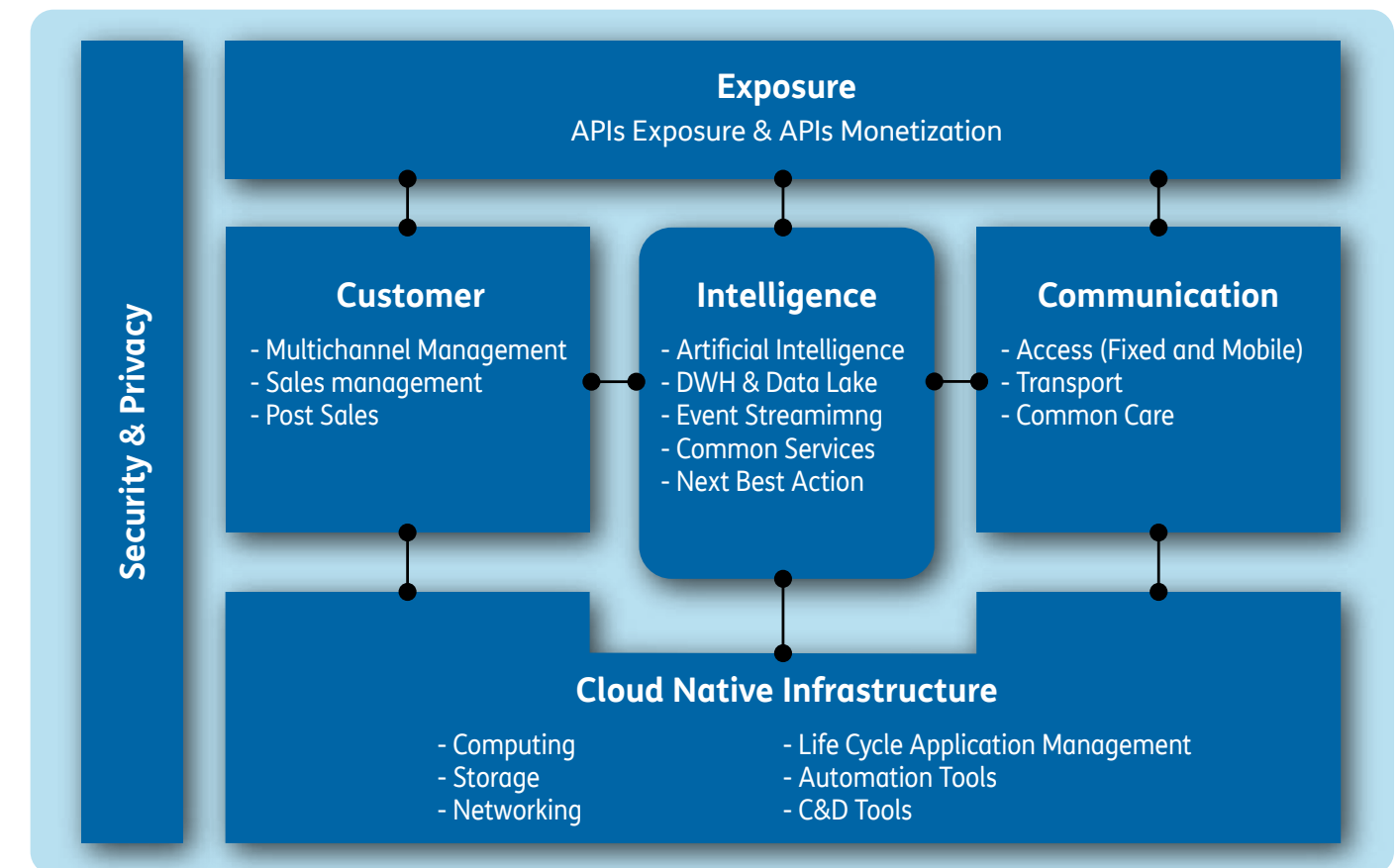
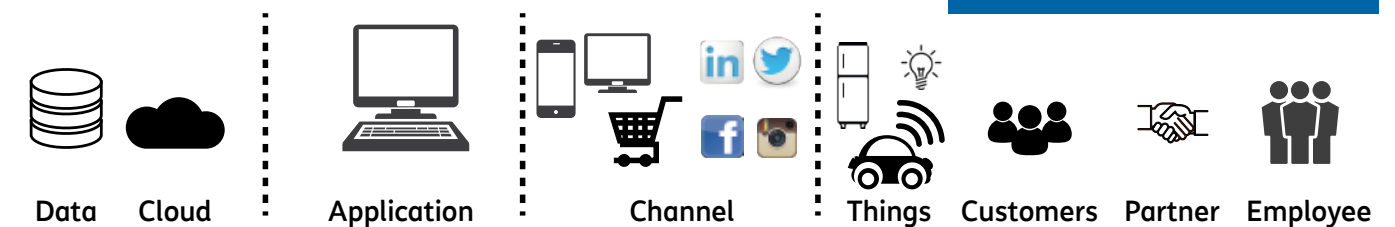
5G, in fact, is the first mobile standard built natively to enable both human and non human use cases. 5G will enable the IoT through connected hardware with embedded sensors that will digitalize all sorts of information: air humidity, energy consumption, number of people in

transit, heartbeat, driving pattern, etc... GSMA estimates that by 2025 there will be 25 billion IoT connections. Making sense of all this data will require advanced techniques such as Machine learning to drive out patterns and deviations. Besides effectively enabling a whole new stream of IoT, 5G also presents an important opportunity for telcos to drive digital transformation within their own infrastructure. 5G in

fact, introduces innovative technological features that enable a more flexible network. The Radio Access will be composed of a combination of small cells alongside macro cells, antennas will become active with the possibility of beam forming, virtualisation of the RAN will enable the separation of the antenna and the baseband unit with the possibility of centralising the latter. As a consequence, topologies will

grow more complex with small cells and new antennas, usage patterns will become less predictable from humans alone, the radio propagation models will become harder to compute with new radio spectrum bands and denser topologies.

5 The 5G Digital Business Platform: Functional view



On the Core Network side, the SDN and NFV trends will develop further to mold into a new cloud native infrastructure based on micro-services and containers. Today's networks are hugely complex already, and, going forward, they will acquire a whole new level of sophistication. Network Operators will require more dynamic methods and AI-based technology offer a useful support to get the best from the infrastructure. We are at the brink of AI/ML development whereby AI technologies will increasingly permeate processes and procedures supporting human activities and providing a variety of services on the networks and a higher quality, for the benefit

of all. How the telco infrastructure is changing (and the 5G Digital Business Platform).

TIM's approach to 5G, builds on the paradigm of the 5G Digital Business Platform that was discussed in the previous number of the Notiziario Tecnico. What we will address here is how and why AI is a fundamental element of the 5G Digital Business Platform.

Radio

Mobile networks are designed and managed by telecom experts who rely on their extensive knowledge of

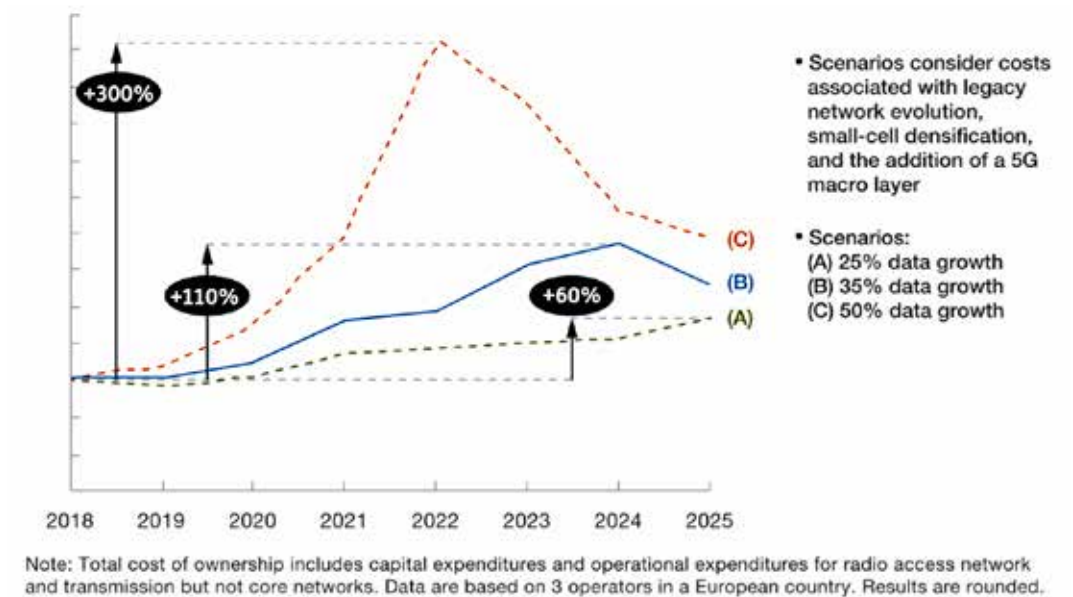
the network topology, the subscriber's mobility/usage patterns and the radio propagation models to design and configure the orchestration of the network. With 5G however, this traditional approach will be challenged as the variables to take into consideration will grow significantly. First and foremost, 5G introduces the use of mmWaves therefore enabling the flexibility of using a combination of macro cells or small cells for coverage). This will introduce diversification and possible densification, allowing a wider choice of options for radio planning.

Radio components will be more flexible in their deployment as openness and virtualisation are in-

troduced. Today, radio architectures are distributed with Radio and Baseband Units part of an integrated solution that is deployed as a whole allowing for quick rollouts, ease of deployments and standard IP-based connectivity. Several operators however are testing and deploying centralised architectures whereby the Baseband Unit is closer to the core network and serves potentially several Radio units. The connectivity between the Radio Unit and the Baseband Unit needs to ensure very low latency which can imply the deployment of fiber directly to the Radio Unit.

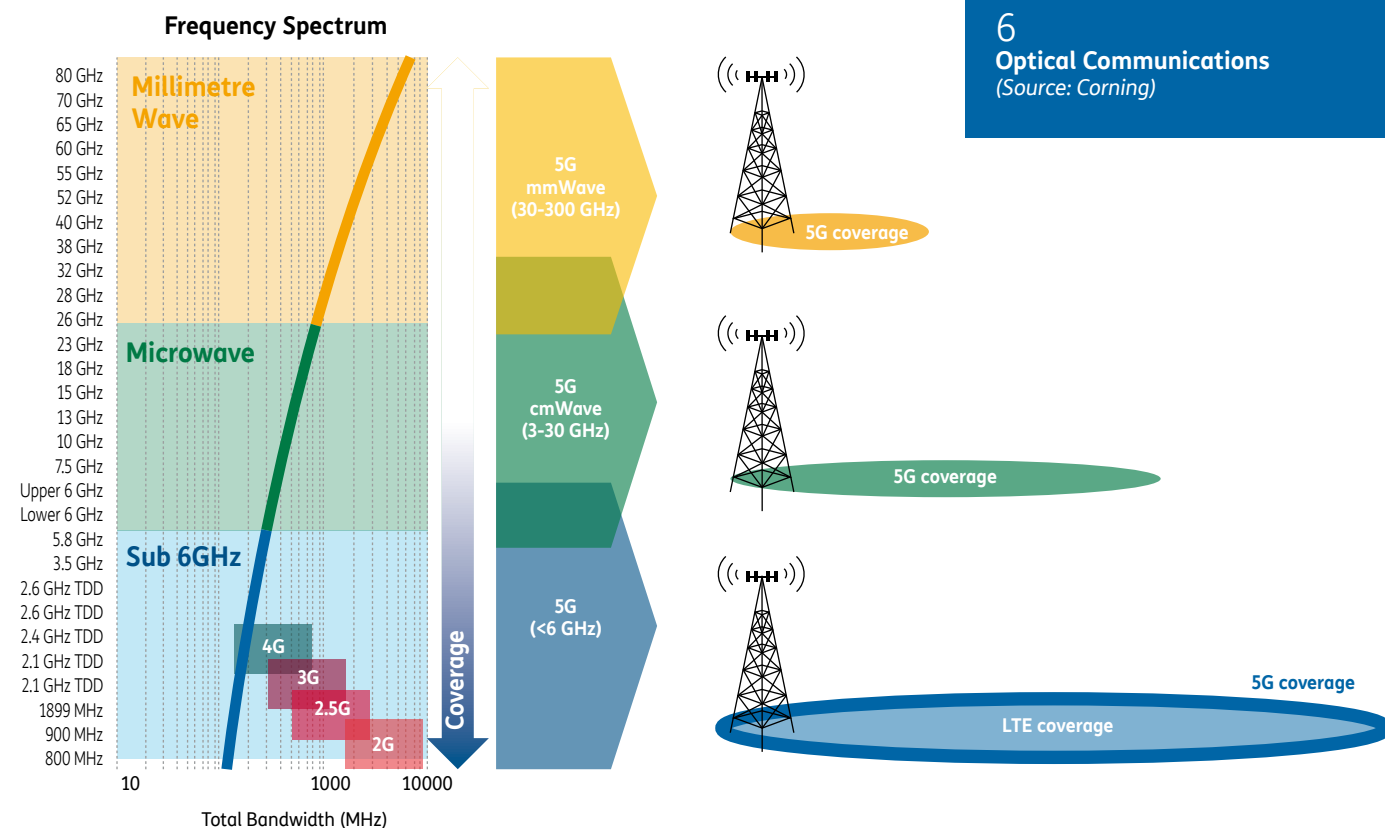
Having to bring fiber directly to the Radio Unit opens up a new element to take into consideration in the radio planning and clearly the advantages of a centralised architecture need to be balanced out with the additional complexity of new elements that need to be factored into radio planning.

5G will also see an increase use of beamforming whereby the antenna lobe can be dynamically oriented horizontally or vertically. Active sharing will also be possible allowing operators to contain capex investments by sharing the radio units. Without getting into radio technical details, this implies that the time synchronization and coordination with adjacent bands/oper-



7

Total cost of ownership for mobile access networks will increase
(Source: McKinsey&Company)



6

Optical Communications
(Source: Corning)

ators has to be carefully considered in the TDD radio deployment.

Ericsson estimates that the number of parameters per base station that need to be taken into consideration in the radio planning has jumped from 500 in the 2G to 1500 with 3G and close to 3500 with 4G. A dramatic increase in the number of parameters in 5G can easily be imagined and AI/ML techniques will be necessary to assist good radio planning and dynamic (re)configuration. Usually complexity has a cost: the study below by McKinsey shows how the total cost of ownership of the access network will increase with the deployment of 5G.

Core

On the core network side the trend that started several years ago around NFV and SDN will continue evolving towards a cloud native infrastructure.

The networks will be studied with sources of data integrated with different network functions. These varied "perspectives" can provide rich insights upon correlated analysis when an architecture component to enable the ML functionalities to collect and correlate data from these varied sources in the network is introduced. The fact that the sources may report in different formats

leading to heterogeneous data will need to be managed.

5G introduces the concept of network slicing that allows a network operator to dynamically provide a dedicated virtual network with functionality specific to the service or customer over a common network infrastructure.

This technical feature enables interesting opportunities from a commercial point of view, but also introduces some challenges operators have yet to address. How dynamic will the slices be? Who will be responsible for creating them? Will the slices simplify current approaches to traditional businesses such as roaming and MVNO?

The role of AI

With 5G, topologies will grow more complex with small cells and new antennas, usage patterns will become less predictable for humans alone, the radio propagation models will become harder to compute with new radio spectrum bands and denser topologies. Future networks will have multiple technologies coexisting side by side, e.g., licensed and unlicensed wireless technologies, fixed mobile convergence (FMC) technologies, legacy and future technologies..

Telcos will have to base their investment decisions on an increased number of variables and on very

granular and complex return of investment assessments.

Machine intelligence will play a key role in assisting operators in engineering and operating networks. More and more policies will be machine-learned, leveraging on constant measurements from the field and best-in-class simulators, together with a constant supervision and training by the best human experts.

AI will need to be at the heart of networks as it is in TIM's 5G Digital Business Platform approach. And its many facets make it applicable in several areas:

- Help manage the increased complexity in infrastructure en-

gineering and optimizing investments

- Facilitate and improve infrastructure operations
- Enable new approaches and opportunities by bringing and linking together different components
- Increasing customer knowledge and the quality of the service provided
- Enhance security

The figure below produced by GSMA shows different areas of AI applications for telcos.

Machine intelligence capabilities can also have a local or "global" flavor. ML will be added to several layers in the 5G architecture to enable data processing for various purposes, both locally (close to where data is created) and centrally (where data can be consolidated).

- Closer to the edge, in distributed sites, local learning and decision making can be done; Each local site is a rich source of data about the state of the different components, the time series of events and associated contextual information. This can be used to build models for local behavior;
- Across sites, data and knowledge can be blended for a comprehensive global understanding of networks, services and functions; reasoning is required for the knowledge gathered across sites in order to infer system-wide insights.

As the increased complexities of engineering and operating telco infrastructure lead to a natural introduction of AI technologies, it is important to address what AI feeds upon: data.

The AI fuel: Data

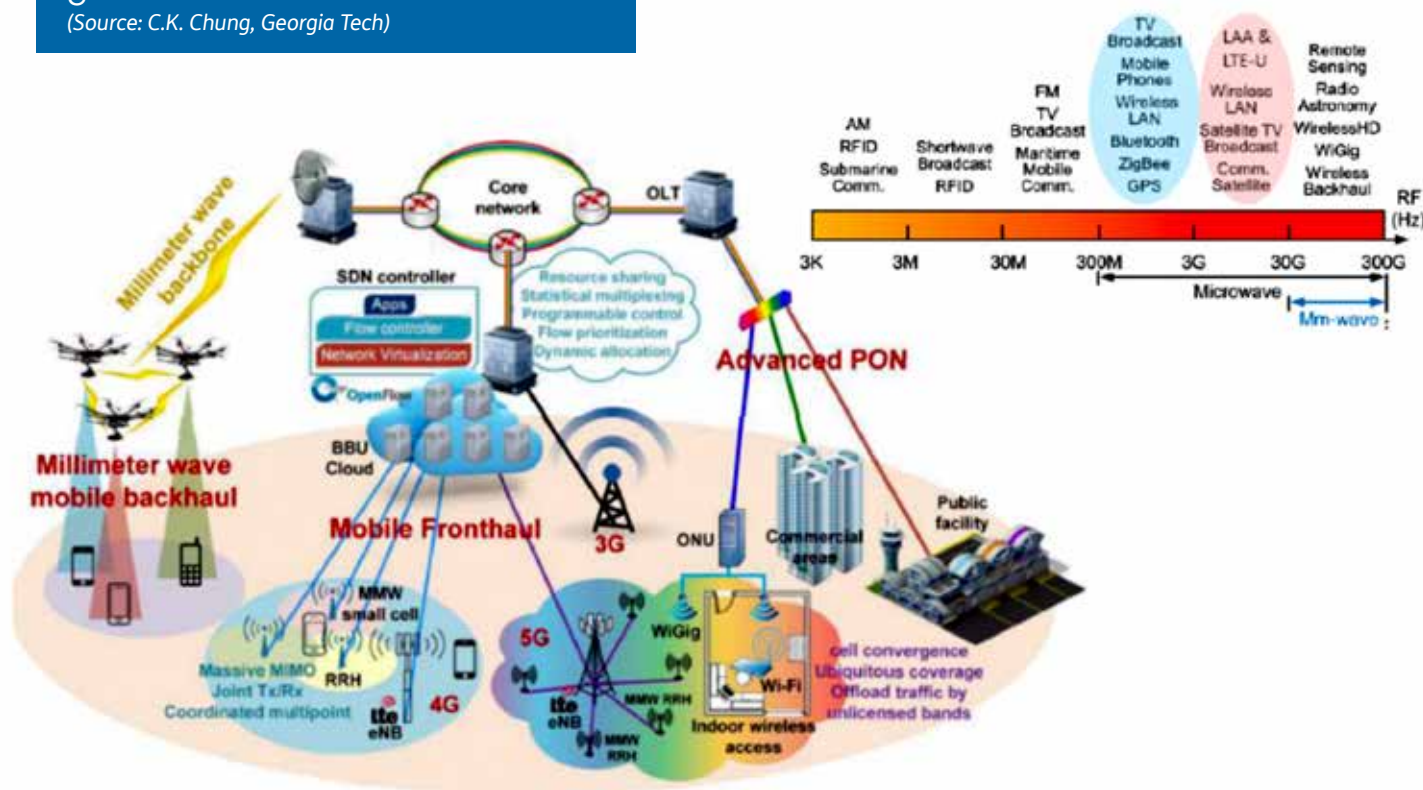
We addressed the aspect of technological availability of cheaper processing power and cloud solutions as being an enabler to the recent hype in AI. However, the increased availability of data is another key element that is enabling a spreading of ML solutions.

Data is the foundation for artificial intelligence and machine learning as these are based on training algorithms by feeding them data and providing feedback. Just like many children are taught that "practice makes perfect", ML needs training and the more data you train the ML algorithms with, the better the algorithm.

In their 1998 book "Information Rules", economists Carl Shapiro and Hal Varian define digitalization as

8

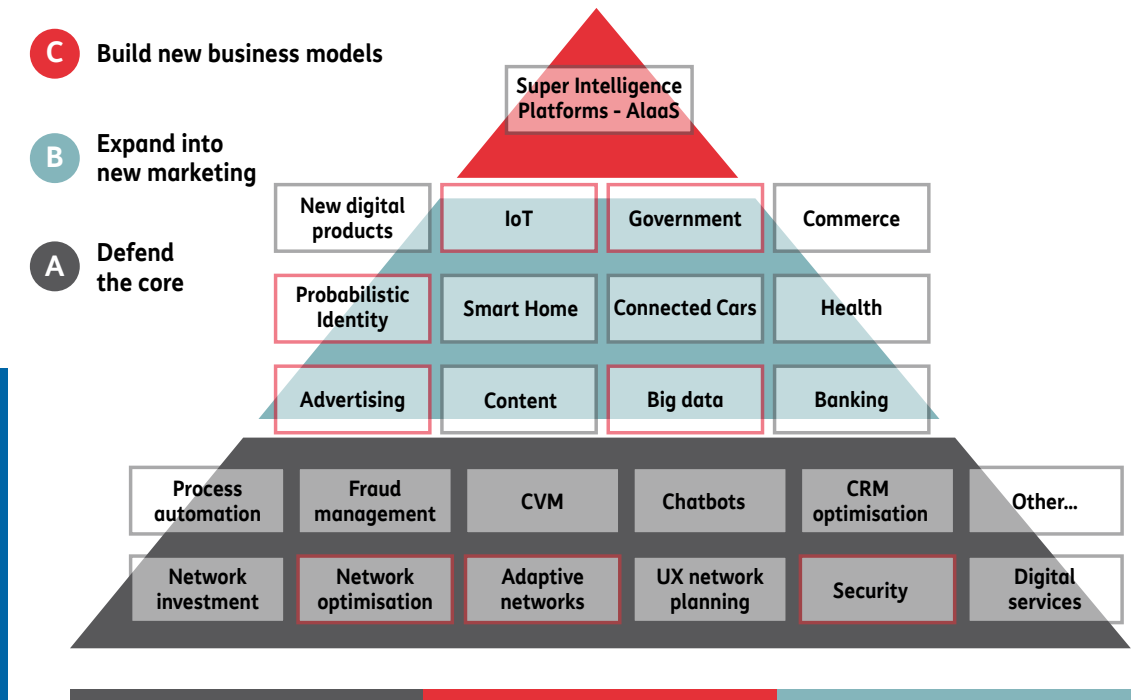
(Source: C.K. Chung, Georgia Tech)



9

Operators' Strategic positioning on AI – Three levels of activity

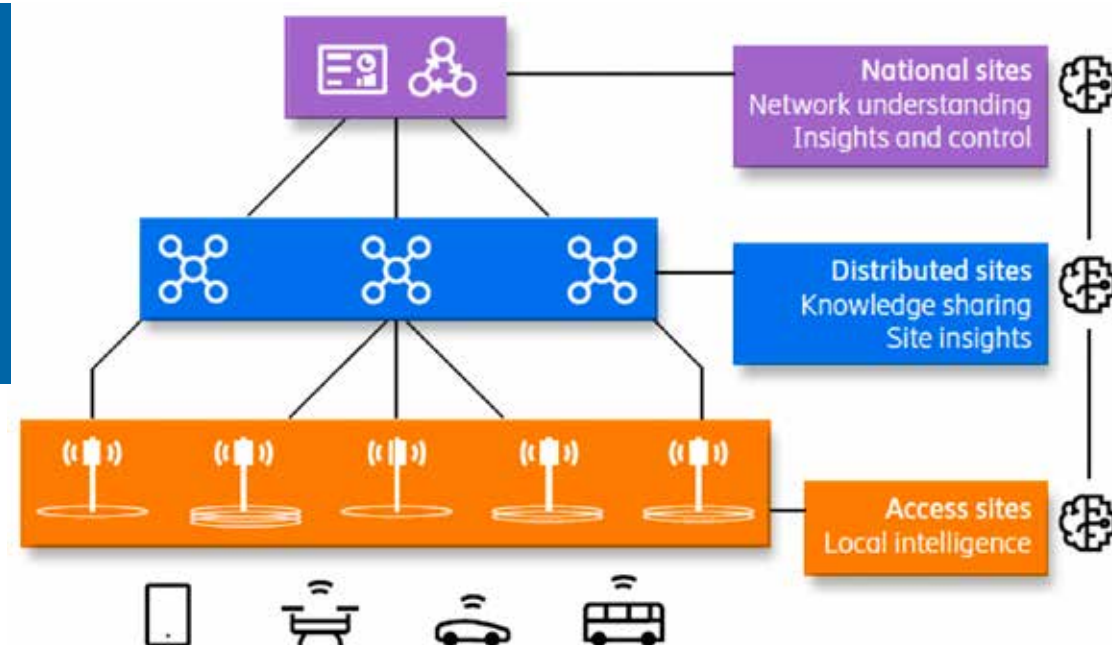
(Source: Courtesy to Javier, GSMA)



10

Local and global learning and decision making in large distributed networks

(Source: Ericsson "AI and ML in next generation systems")



encoding information as a stream of bits. Digitization, in other words, is the work of turning all kinds of information and media—text, sounds, photos, video, data from instruments and sensors, and so on—into

the ones and zeroes that are the native language of computers. In a world of connectivity and internet, zeros and ones are nearly instantly transferrable to anywhere globally and have close to zero mar-

ginal cost of reproduction. Data is the new gold and ML needs plenty of it.

According to a July 2012 story in the New York Times, "The combined level of robotic chatter on the world's wireless networks . . . is likely soon to exceed that generated by the sum of all human voice conversations taking place on wireless grids." This seems to be confirmed by Cisco's Visual Networking Index Forecast and trends 2017-2022 according to which annual global IP traffic will reach 4.8 ZB per year by 2022, or 396 exabytes (EB) per month. In 2017, the annual run rate

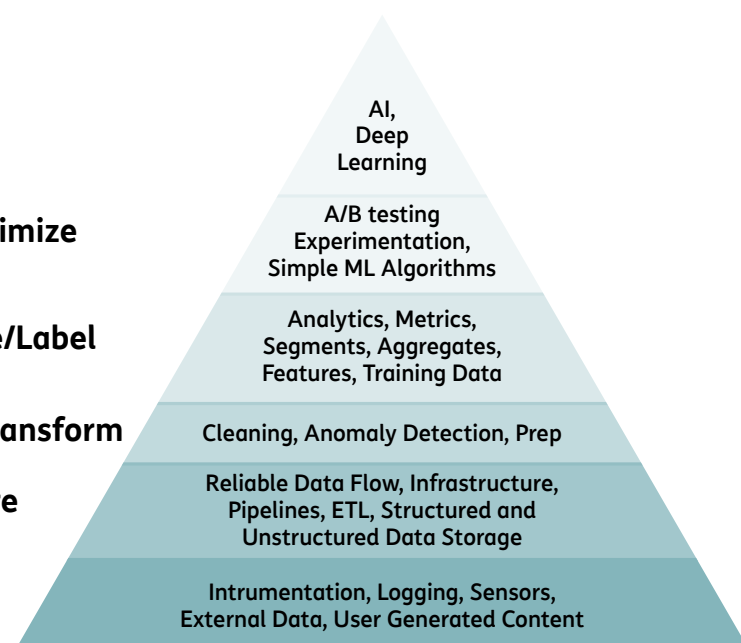
Learn/Optimize

Aggregate/Label

Explore/Transform

Move/Store

Collect



11

The Data Science Hierarchy of Needs Pyramid

(Source: "The AI hierarchy of needs" Monica Rogati)

for global IP traffic was 1.5 ZB per year, or 122 EB per month. Also, the same study, suggests that by 2022 there will be 12.3 billion mobile-connected devices enabled to produce data, which approximately amounts to 1.5 device per capita.

As Ovum puts it [note 2], architecting AI begins with data. Enterprises on the path to adoption must focus first on understanding all data points, integrating them, complying with regulations, and understanding the customer journeys.

Embracing AI is more than introducing the technology

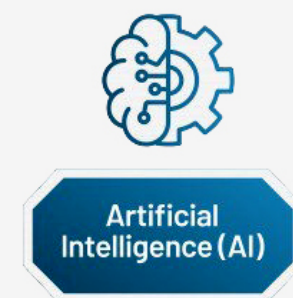
Introducing AI/ML within consolidated business goes beyond simply introducing a new technology as it requires a new approach based on Design Thinking paradigm.

AI/ML can be applied to many different areas such as supporting self-organising networks, providing robust predictions to enable pro-active data-driven strategies, making

sense of the increased complexity, simplifying existing processes, offering better customer experiences, enhancing security, predictive maintenance, and the list goes on.

The context and the goal of every AI solutions needs to be discussed and designed. Thanks to knowledge of the field of application it is possible to identify a goal and set the appropriate KPIs; data then needs to be selected appropriately to ensure correct training of the algorithm. At last the training of the algorithm

AI & INTELLIGENT AUTOMATION NETWORK



Machine Learning

Natural Language Processing (NLP)

Speech

Expert Systems

Planning, Scheduling & Optimization

Robotics

Vision

Deep Learning

Predictive Analytics

Translation

Classification & Clustering

Information Extraction

Speech to Text

Text to Speech

Image Recognition

Machine Vision

entails tweaking parameters in order to get as close as possible to the goals and kpis. The first phase is fundamental and requires subject matter experts to provide the context and the goals and AI experts will support in identifying the best AI algorithms and the necessary data to train the algorithm.

The process of shaping the “problem” to be addressed with AI is a very important phase that is better addressed if approached through a Design Thinking paradigm. Design Thinking addresses the issue of shaping the “problem” and includes three subsequent sub-phases: empathise, define and design. What comes after having framed the problem in the Design Thinking phase, is the solution development phase which can take on the more common techniques of Lean Start-up and Agile paradigms.

Therefore embracing AI/ML also means embracing new ways of working and new culture set around Design Thinking paradigm, possibly bringing the methodology onward, taking into account a deeper insight into the problem underlying “data”, using proper exploratory tools, instead, for example, of the collection of end user feedback.

Another important aspect of ML algorithms is that they are living algorithms that can keep evolving as they process more and more data. As a consequence, it is important to accompany them in their evolution. Unlike more traditional software algorithms based on linear models that, once implemented, will remain unchanged unless updated, ML algorithms will evolve as they process data.

Last but not least, AI is not the solution to all problems. There may be some instances where ML algorithms will not offer improvements with respect to traditional algorithms and it is not always obvious to predict when this will happen. It is therefore important to approach AI with an open mind accepting the possibility that sometimes the outcome will not be the desired one. On the other hand, the lack of control and explainability of the results obtained may be deemed not acceptable, either from an organizational, legal or Customer Experience point of view.

Conclusion

The convergence of mobile and internet that has taken place since

2006, has created a new wave of innovation based on the so called over-the-top. The paradigm of the always connected mobile technology with the power of smartphones has triggered innovation in digital applications and social networks. These have boosted the amount of available digitalized personal data and contributed to the initial introductions of AI.

Going forward it is estimated that a new wave of data will be generated by the IoE which will enable new opportunities for AI applications.

But fundamentally AI will be key to future business and digital transformation. For the telco industry, it will be a necessity in order to drive increasingly autonomous and intelligent networks and improve customer experience through greater learning of customer behavior.

As AI is based on data, networks will become studded with sources of data that may be very heterogeneous. Also, new ways of working will slowly spread based on Design Thinking paradigm or its evolutions. Networks will be interlaced with AI algorithms to help make sense of the increasing complexity and provide a better, more flexible infrastructure ■



Lucy Lombardi

lucy.lombardi@telecomitalia.it

Ms Lombardi has been working in the telco and ICT sectors for more than 20 years and is currently Vice President, Head of Digital & Ecosystem Innovation in Telecom Italia. In this role she leads different TI programmes in developing Internet-of-Everything innovation, fostering the innovation ecosystem around a infrastructure platform exposure approach and leading the Competence Center on Artificial Intelligence. She graduated in Physics at La Sapienza in Rome ■

Note

1. <https://www.mckinsey.com/industries/telecommunications/our-insights/the-road-to-5g-the-inevitable-growth-of-infrastructure-cost>
2. Ovum - Architecting AI for Next Best Action

IL RUOLO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLE RETI DI PROSSIMA GENERAZIONE

Luigi Artusio, Antonio Manzalini

Gli Operatori di telecomunicazione, fortemente coinvolti nel processo di evoluzione e trasformazione delle proprie reti in ottica 5G, devono affrontare una doppia sfida: la crescente complessità tecnologica e la sostenibilità del business. Appare evidente come gli attuali processi e le procedure appaiano limitati sia in termini di efficacia che di efficienza e, conseguentemente, quanto sia indispensabile progettare e realizzare le nuove reti con funzionalità native di automazione ed auto-organizzazione: la convergenza delle tecniche di intelligenza artificiale e di analisi dei dati possono dare un contributo per il soddisfacimento di questi requisiti.

Introduzione

Gli Operatori di telecomunicazione sono fortemente coinvolti nel dispiegamento delle reti di 5ª generazione (5G) che non solo garantiscono miglioramenti prestazionali, a fronte di un contenimento dei costi,

ma che, al contempo, implicano anche un significativo aumento della complessità tecnologica e, conseguentemente, operativa.

La complessità di cui parliamo ha, almeno, due dimensioni: la prima è relativa al disaccoppiamento delle architetture hardware e software,

mentre la seconda attiene alla pervasività del 5G.

In particolare, la prima dimensione è soprattutto legata al livello di sofisticazione ed eterogeneità delle tecnologie impiegate (es. Software Defined Networking, Network Function Virtualization, Cloud ed



Edge Computing) per garantire che le nuove reti siano in grado di offrire servizi secondo le prestazioni e la qualità richieste dalle molteplici applicazioni settoriali (es. ICT, manufacturing, transportation, media, robotics, ecc.).

La seconda dimensione, relativa alla pervasività del 5G, è anche determinata dalla quantità ed all'eterogeneità dei devices che potranno essere connessi grazie all'aumento delle capacità prestazionali della rete: sensori ed IoT (*Internet of Things*) (potranno beneficiare di connessioni ad Internet più convenienti, visori di Augmented / Virtual Reality potranno garantire un'adeguata user-experience, i veicoli (es. auto, droni) disporranno di connessioni veloci ed affidabili.

Ciascuno dei citati dispositivi hanno stringenti requisiti prestazionali e le reti di nuova generazione dovranno essere talmente flessibili e programmabili da poterne garantire dinamicamente il soddisfacimento, in funzione delle reali condizioni trasmissive (ad es. radio) e delle caratteristiche e dei volumi di traffico, nel rispetto dei requisiti di sicurezza e privacy.

Le attuali reti sono state progettate ed esercitate da esperti che, basandosi sulle proprie competenze relative all'architettura e alle topologie della rete, ai modelli di utilizzo delle risorse ed ai modelli di propagazione radio, progettano e configurano le politiche di gestione e controllo della rete. Tuttavia, con

le reti "virtualizzate" di nuova generazione aumenta l'articolazione delle nuove architetture hardware e software e delle topologie di rete, i modelli di utilizzo diventano più dinamici, meno deterministici, così come aumenta la complessità dell'ottimizzazione dei parametri radio.

In pratica, le reti di nuova generazione, quali ad esempio il 5G, raggiungeranno un livello di complessità talmente elevato da non poter essere controllato unicamente dall'uomo: la creazione, l'esercizio e la manutenzione richiederanno, infatti, un elevato livello di automazione ed auto-organizzazione intrinseco a tali sistemi. L'Intelligenza Artificiale (IA nel seguito) avrà un ruolo fondamentale in tale evoluzione, come testimoniato dalle numerose iniziative di impiego da parte degli Operatori di telecomunicazione a livello mondiale. L'automazione dei processi di creazione e gestione delle reti è da decenni un obiettivo chiave degli Operatori che, a tal proposito, hanno definito standard, architetture e soluzioni basati su conoscenze e regole deterministiche e statiche. Le nuove tecnologie di IA e di analisi dei big data consentono ora un'innovazione dirompente: l'abbandono dei sistemi "pre-programmati" a favore dell'adozione di soluzioni in grado di apprendere, attuare e modificare dinamicamente ed autonomamente le proprie regole di funzionamento ("self-learn", "self-evolve").

L'Intelligenza Artificiale abilita l'automazione dei processi operativi degli Operatori di telecomunicazione

Una nostra recente analisi [1] mostra come gli Operatori di telecomunicazione siano particolarmente attivi nella realizzazione di applicazioni di IA finalizzate all'automazione delle interazioni con i propri clienti sviluppando (o specializzando soluzioni di mercato) "chatbot" ed "assistenti intelligenti". I primi sono programmi automatici usati come mezzo per interagire con le persone tramite mezzi testuali o vocali; i chatbot svolgono un ruolo cruciale nel servizio clienti, ove vengono utilizzati come strumento di interazione e di acquisizione di informazioni. Gli assistenti intelligenti sono degli agenti personali digitali che assistono e coadiuvano le persone nelle proprie attività quotidiane come, ad esempio, nella pianificazione di un appuntamento, nella lettura o scrittura di messaggi o nel controllo di oggetti intelligenti (ad esempio nella smart home).

Un altro ambito di applicazione dell'IA è relativo all'automazione ed ottimizzazione delle reti di telecomunicazione ed è proprio in questo ambito che ci si attendono i maggiori benefici, in particolar modo per le reti di nuova generazione.

L'impiego di tecniche di IA e di analisi dei big data, infatti, possono abilitare funzionalità predittive (pre-

dictive analytics), ad esempio, negli ambiti della sicurezza, della gestione delle frodi e della gestione del traffico e delle interferenze radio a supporto dei processi di pianificazione e sviluppo della rete.

L'IA diventa particolarmente importante per l'automazione dei processi operativi relativi alle nuove reti abilitando funzionalità di auto-apprendimento ("self-learning") e di adattamento dinamico ("adaptive networks") delle configurazioni di rete in funzione dei requisiti dei device (e relative applicazioni) e delle condizioni operative (es. radio, caratteristiche del traffico).

Inoltre, l'applicazione delle tecniche di IA è indispensabile per l'automazione delle funzionalità di orchestrazione delle nuove reti "softwarizzate", ove le "VNF" (Virtual Network

Function) sono dinamicamente composte, attivate e disattivate con volumi e velocità non gestibili da operatori umani.

Grazie alla convergenza dell'IA con le tecniche di big data analytics è possibile costruire strumenti automatici che identificano e pongono rimedio a guasti e malfunzioni prima che essi compromettano le prestazioni della rete e la qualità del servizio percepita dai clienti [Figura 1].

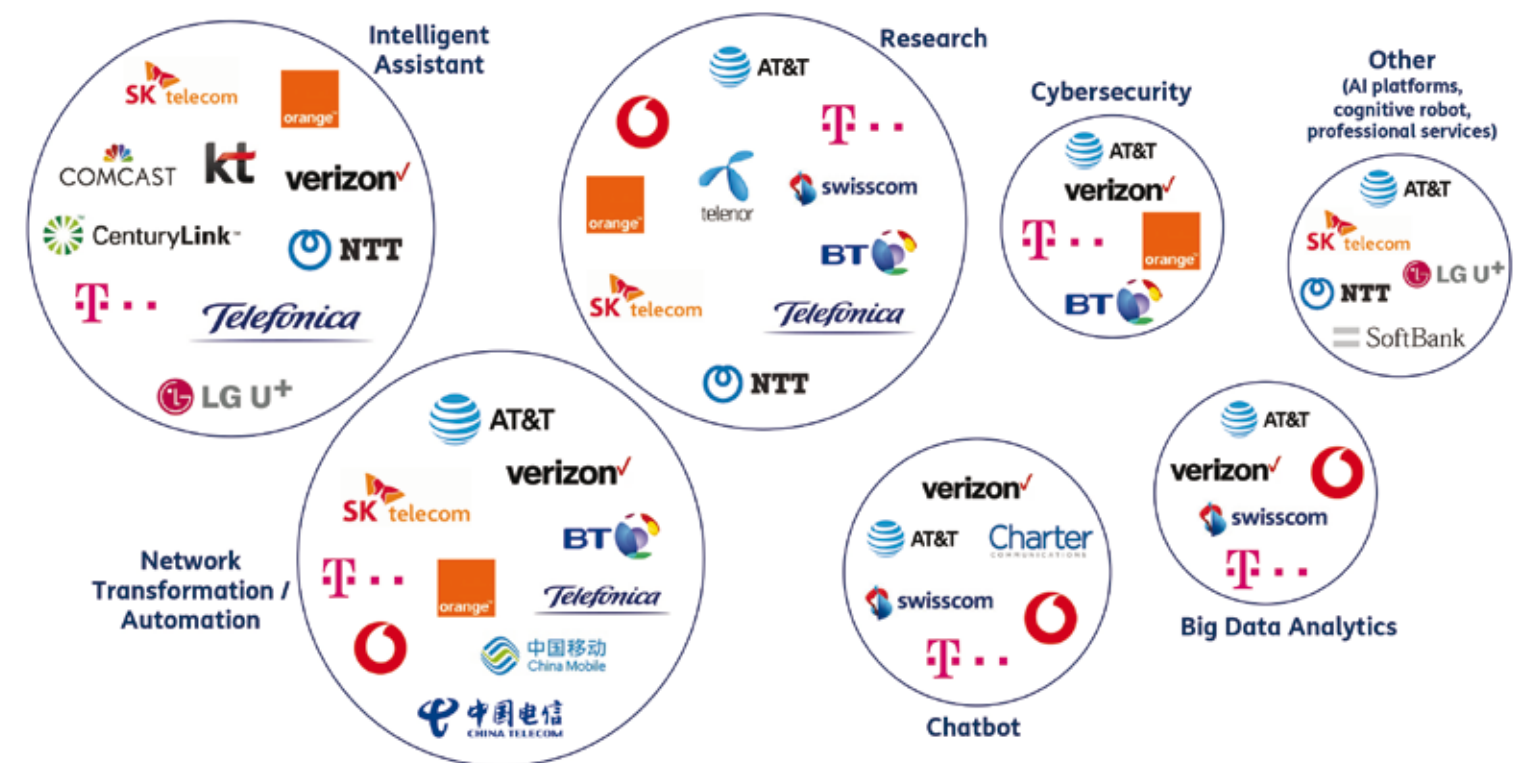
In sintesi, IA potrebbe aiutare gli Operatori ad affrontare tre grosse sfide tecnico-economiche:

1. Come ottimizzare le infrastrutture di rete? Ad esempio, attraverso l'utilizzo di tecniche di IA per la pianificazione e la gestione, l'adozione di sistemi automatici di diagnosi e rilevamento di guasti ed anomalie, l'uso di

metodi innovativi di "root cause analysis".

2. Come migliorare la user-experience? Ad esempio, utilizzando l'IA per ottimizzare la QoE, gestire in ottica predittiva il churn-rate, fornire servizi di privacy e sicurezza avanzati.
3. Come aumentare le revenue? Ad esempio, sfruttando l'IA per abilitare anche nuovi ruoli per l'Operatore che gli consentano di massimizzare il valore dei propri assets. Un'infrastruttura

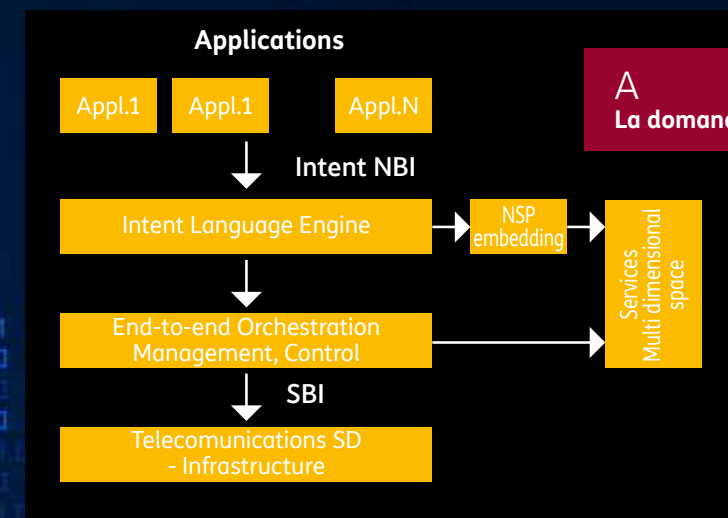
1
Le principali iniziative di applicazione dell'IA degli Operatori [1]



PARLARE IL “LINGUAGGIO” DELLE RETI

I servizi di un'infrastruttura di rete 5G (basata su tecnologie come SDN e NFV) possono essere visti come delle sequenze ordinate o catene end-to-end (network/service chain) di funzioni e micro-servizi virtualizzati. In linea di principio, queste catene potrebbero essere modellate come "frasi" di un "linguaggio" astratto "parlato" dalle applicazioni; le "parole" di tali "frasi" sono delle funzioni (ad es. Virtual Network Functions) e micro-servizi virtualizzati. È possibile quindi definire una sorta di "grammatica" di questo "linguaggio" astratto dei servizi e quindi fare uso di tecniche analitiche NLP (Natural Language Processing) basate su IA. Queste tecniche, per certi versi, ricordano da vicino le attività di comprensione del linguaggio naturale. In particolare, nello stesso

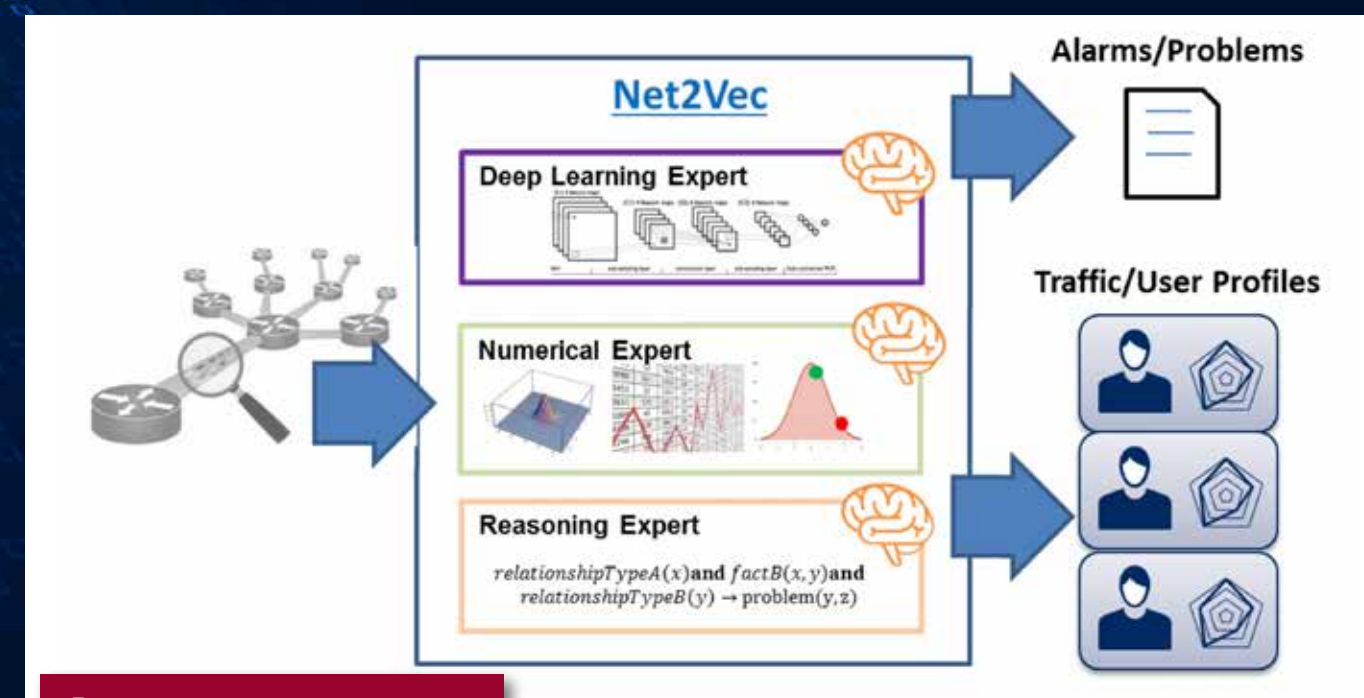
modo in cui le "parole" di una frase vengono rappresentate in vettori (e.g., con la tecnica word2vectors di Google) per poi utilizzare sistemi di IA al fine di realizzare delle funzioni di Natural Language Processing, anche le sequenze di funzioni e i micro-servizi virtualizzati potrebbero essere trasformate in vettori al fine di utilizzare le stesse tecniche di IA. Questi metodi [7] potrebbero essere integrati a livello di interfacce (ad es. Intent) Northbound al fine di aumentare i livelli di automazione nei processi di gestione, controllo ed orchestrazione dell'infrastruttura virtualizzata e nello sviluppo e nel provisioning dei servizi 5G. Net2Vec di NEC costituisce un altro esempio di applicazione delle tecniche NLP al contesto di rete [8]. L'analisi



A
La domanda di brevetto Ser2Vec di TIM [7]

di grandi volumi di traffico di rete, in particolare quando i contenuti sono criptati, è una attività complessa, la cui fattibilità non è garantita. Non potendo far affidamento sulla lettura dei contenuti trasportati dalla rete, soluzioni come Net2Vec si affidano invece allo studio delle interazioni fra i flussi di rete, che generalmente presentano delle correlazioni e dei rapporti di causalità.

Net2Vec applica tecniche di NLP, ma invece di analizzare parole e frasi di un linguaggio naturale, effettua una analisi del traffico di rete. In aggiunta, Net2Vec utilizza tecnologie di Graph Neural Network, per rappresentare relazioni fra i dati osservati sulla rete, ma anche per collegare fonti esterne che potrebbero essere disponibili nel contesto di un Network Operations Center o di un Security Operations Center. NEC sostiene che Net2Vec è stato sperimentato su traffico generato da operatori di rete Europei ed Asiatici dimostrando la capacità abilitare sia applicazioni di sicurezza (ad es. identificazione del traffico malevolo) sia applicazioni più orientate al marketing, (ad es. la profilazione degli utenti per la generazione di offerte personalizzate) ■



B
La soluzione Net2Vec di NEC [8]

antonio.manzalini@telecomitalia.it

pervasiva, dotata di IA, esprimerebbe la capacità di gestire la “complessità” nei più disparati contesti: smart city, Industry 4.0, ecc...

Stiamo dunque assistendo ad un rapido affermarsi della convergenza tra le tecnologie di big data analytics e di IA. Le soluzioni tecnologiche in corso di sviluppo sono volte, da una parte, a risolvere i problemi che emergono della crescente complessità delle infrastrutture di rete di telecomunicazioni e, dall'altra, a valorizzare al massimo gli asset degli Operatori di dette infrastrutture. Gli scenari applicativi e i casi d'uso sono molteplici ed includono: automazione dei processi di gestione, controllo ed orchestrazione, l'ottimizzazione automatica nell'utilizzo delle risorse, la gestione automatica dei malfunzionamenti ai diversi livelli di rete, anche in ottica predittiva. Comune a tutti questi scenari è l'utilizzo e lo sviluppo continuo (attraverso tecniche di learning) da parte della

IA della cosiddetta “conoscenza” di rete, a partire dai dati raccolti sulle dinamiche di traffico e di funzionamento di apparati e sistemi di rete.

Scenari di applicazione dell'AI da parte degli Operatori

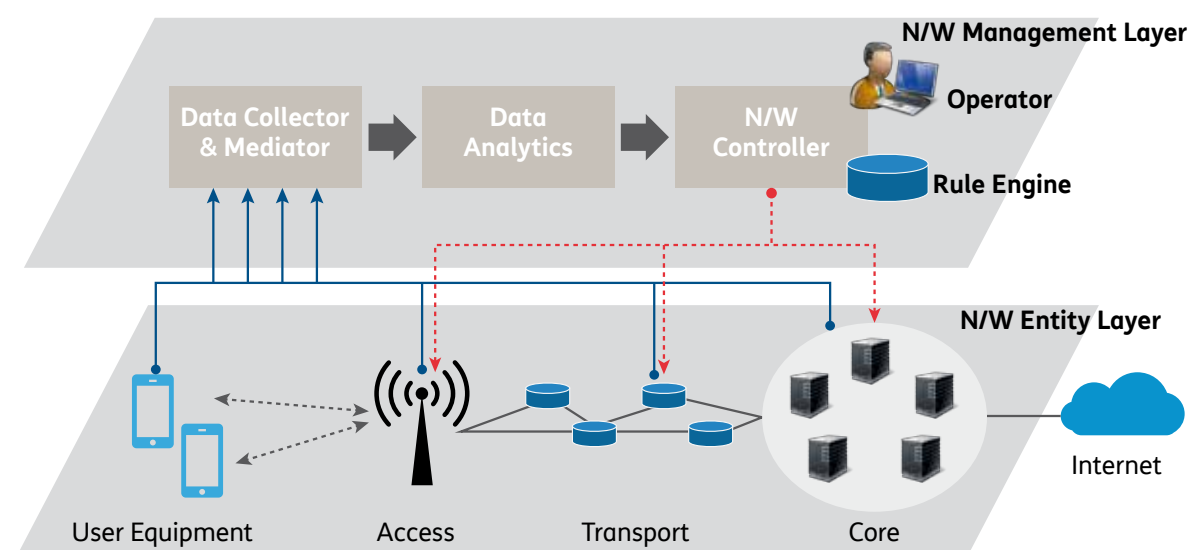
Un esempio di impiego dell'AI e delle tecniche di big data analytics ci viene offerto dall'Operatore sud-coreano SK Telecom per il monitoraggio in “real-time” della qualità della rete e per la gestione della “customer experience” [2]. La soluzione realizza una correlazione end-to-end dei dati raccolti dai segmenti di rete core ed accesso e dai dispositivi dei clienti (End-to-End Operational Intelligence) e suggerisce interventi operativi nel caso di degrado della qualità [Figura 2].

La vista end-to-end è assicurata da tre software applicativi che elabora-

no i dati nel proprio segmento di riferimento (APOLLO, DoD e T-PANI); ad esempio, sul segmento di rete di accesso APOLLO raccoglie i dati relativi alla qualità della rete radio ed esegue il rilevamento delle anomalie in tempo reale, l'ottimizzazione e l'attuazione delle misure proattive al fine di anticipare malfunzioni e garantire una qualità stabile. SKT utilizza tecniche di machine learning per individuare gli indicatori di prestazione della rete (KPI) e per rilevare le situazioni anomale; gli algoritmi di machine learning sono stati addestrati con dati provenienti da use cases reali validati dagli esperti di dominio.

Oltre allo scenario sopra descritto, i dati raccolti sono utilizzati in tutte le aree che coprono la progettazione, la costruzione e l'esercizio della

2 End-to-End Operational Intelligence [2]



rete di SKT. Inoltre, la selezione delle aree di investimento e la determinazione della priorità di investimento sono basate sulla correlazione di questi dati con quelli di business. Come detto in precedenza, le nuove reti “softwarizzate” richiederanno necessariamente una piena automazione dei processi operativi. Questo requisito è stato ben compreso da AT&T che, fin dall'inizio del proprio programma di trasformazione della rete (Domain 2.0), ha individuato come strategico l'impiego delle tecnologie di big data analytics e IA. Mazin Gilbert (Vice President, Advanced Technology, AT&T Labs) ha riassunto questo obiettivo strategico con una frase intuitiva: “We think of AI as a smart way for us to do data-powered automation” e l'ha declinato in 3 passi operativi

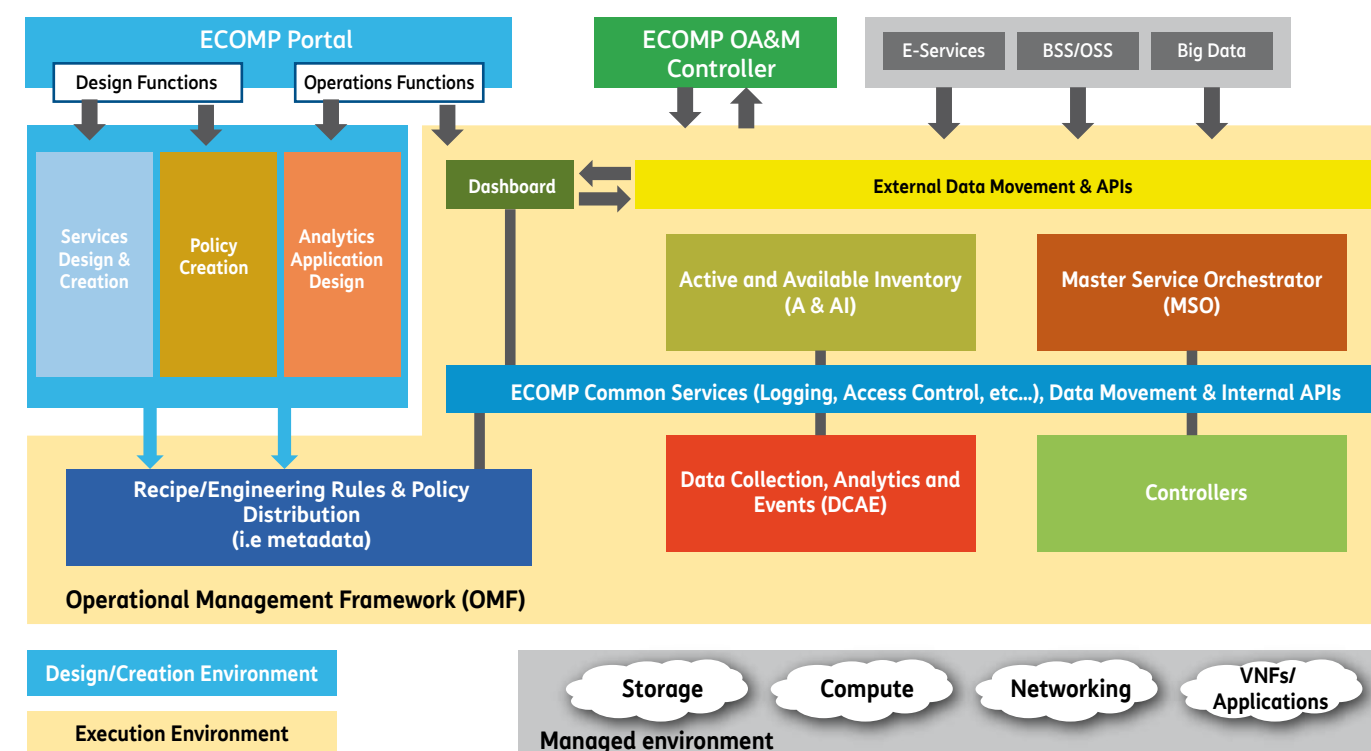
sequenziali. Il primo è la costruzione di sistemi di rete automatizzati che raccolgono dati, li analizzano e cercano di inferire alcune azioni necessarie per garantire il buon funzionamento. Il secondo passo è l'implementazione, all'edge della rete, di funzionalità di automazione basate su analitiche sofisticate e su regole “pre-programmate” per l'attuazione di interventi tempestivi in caso di malfunzionamento o criticità. Il terzo passo è l'implementazione di funzionalità di “hyper-automation” basate sull'utilizzo di tecniche ed algoritmi di IA in grado di apprendere, attuare e modificare dinamicamente ed autonomamente le regole di funzionamento della rete (“self-learn”, “self-evolve”).

Questo approccio ha condotto allo sviluppo, interno ad AT&T, della

piattaforma ECOMP (*Enhanced Control, Orchestration, Management & Policy*) [3], contribuita da AT&T nel progetto open-source ONAP (*Open Network Automation Programme*) della LFN (*Linux Foundation Networking*). La piattaforma software ECOMP offre funzionalità per l'automazione dei processi di progettazione, creazione e gestione del ciclo di vita dei prodotti e servizi della rete softwarizzata di Domain 2.0. Dette funzionalità sono supportate da due principali framework architetturali (Figura 3):

- Il “design time framework” che abilita la progettazione e la programmazione delle risorse, dei

3 La piattaforma ECOMP di AT&T [3]





Anche TIM ha compreso l'importanza dell'IA e si sta muovendo di conseguenza. A livello organizzativo da oltre tre anni è stato creato un Centro di Eccellenza sull'IA baricentrato sul Joint Open Lab del Politecnico di Torino. Più di recente all'interno della funzione IT si è costituito un team di Data Scientist specializzati sull'utilizzo di tecniche avanzate di big data analytics. Questi gruppi portano avanti vari progetti fondati sull'IA che stanno producendo i primi risultati di rilievo. Da un lato si sta lavorando per automatizzare, dove possibile, le

interazioni con i clienti tramite assistenti virtuali intelligenti. Angie, l'assistente virtuale che supporta i clienti TIM è diventata operativa ad aprile 2019 con il primo insieme di capacità, che includono la risoluzione di problemi tecnici su Fibra, ADSL e TIMVISION e che sono previste crescere nel tempo fino a saper rispondere a domande di ogni tipo.

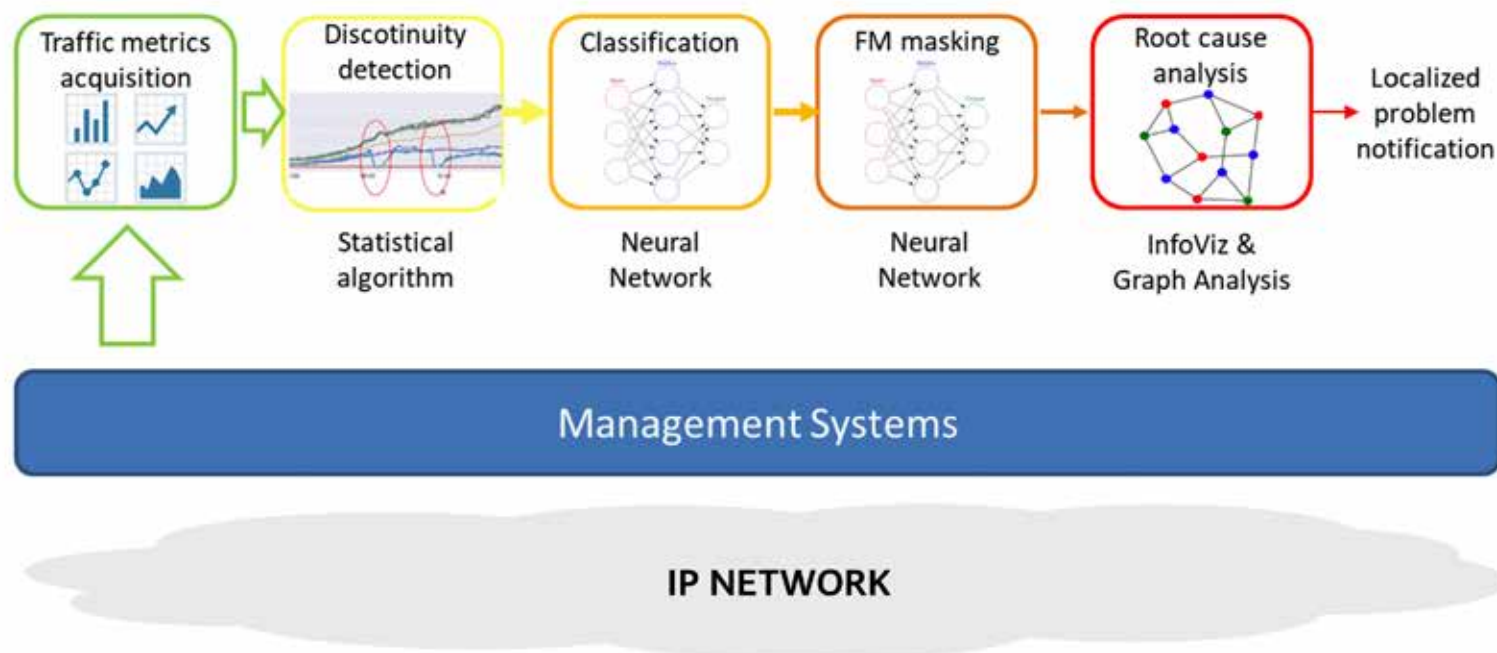
Dall'altro si sta progressivamente iniettando intelligenza nei sistemi di gestione della rete al fine di ottimizzare la qualità e automatizzare i processi. Gli use

case affrontati o in corso toccano molti temi tra i quali la predizione dei reclami, la pianificazione del 5G, il filtraggio intelligente degli allarmi in base alla previsione dell'impatto, l'early anomaly detection dei malfunzionamenti occulti in rete per prevenire gli effetti sui clienti e la root cause analysis.

Piuttosto che proporre in modo superficiale una carrellata di soluzioni, si è preferito approfondire nel seguito un singolo use case nato a inizio 2019 dalla collaborazione tra la funzione di Innovation (cui fa capo il AI Center of Excellence) e l'IP Competence Hub nell'ambito della struttura Infrastructure & Operations. L'attività mira a sfruttare l'IA per creare una funzionalità in grado di identificare e, possibilmente, localizzare eventuali problemi sulla rete IP prima che se ne evidenzino un im-

patto sui servizi, a partire dall'osservazione del traffico sui link di collegamento tra i nodi della rete backbone che connette i 32 POP nazionali.

La funzionalità è implementata mediante una cascata di diversi elementi che realizzano un approccio a più livelli. Il primo elemento reperisce le metriche di traffico dai sistemi di gestione della rete IP. Su queste viene applicato un algoritmo statistico in grado di identificare discontinuità. L'algoritmo lavora continuamente in "near-real-time" sulle metriche di tutta la rete osservata e, di conseguenza, è pensato per essere computazionalmente molto leggero e prendere in considerazione non i singoli flussi, ma cluster di flussi raggruppati secondo opportuni criteri (ad esempio tutti i link diretti verso un dato POP).



A
Applicazione di tecniche di IA per la gestione della rete IP di TIM

Quando viene individuata una discontinuità rilevante, questa viene analizzata da 2 reti neurali in sequenza. La prima consente di classificare la discontinuità secondo 4 categorie:

- **Decrement** – un calo significativo del traffico su uno o più flussi del cluster
- **Increment** – un aumento significativo del traffico su uno o più flussi del cluster, fenomeno tipicamente riconducibile ad attacchi informatici
- **Redirect** – un calo del traffico su alcuni flussi e un corrispondente aumento su altri, effetto dei meccanismi di redirectione del traffico a fronte di problemi propri della rete IP
- **None** – la discontinuità rilevata è frutto di una fluttuazione casuale del traffico e viene quindi ignorata. La seconda rete, attualmente in fase di tuning, riconosce invece il pattern di traffico tipico di una partita

di calcio trasmessa in streaming e viene utilizzata per mascherare tutte le anomalie di tipo Decrement che si possono verificare quando, alla fine di una partita di calcio, molti utenti si sconnettono e il traffico in download crolla improvvisamente. Queste discontinuità non sono chiaramente indice di problemi e saperle riconoscere consente di evitare numerosi falsi allarmi. L'ultimo elemento della catena, ancora in fase di studio, mira a mappare le anomalie identificate e classificate sulla topologia di rete e a fornire opportune viste che consentano ad un operatore di individuare facilmente la causa (ad esempio la caduta di un link). Tramite opportuni algoritmi di IA applicata ai grafi infine, si sta analizzando la possibilità di automatizzare anche il passo di localizzazione della sorgente del problema in modo da permettere all'operatore di focalizzarsi immediatamente sulla risoluzione ■

giovanni.caire@telecomitalia.it, fabrizio.amorese@telecomitalia.it

servizi e dei prodotti supportati dalla rete di Domain 2.0;

- Il “runtime execution framework”, responsabile dell'esecuzione delle logiche programmate nella precedente fase di design.

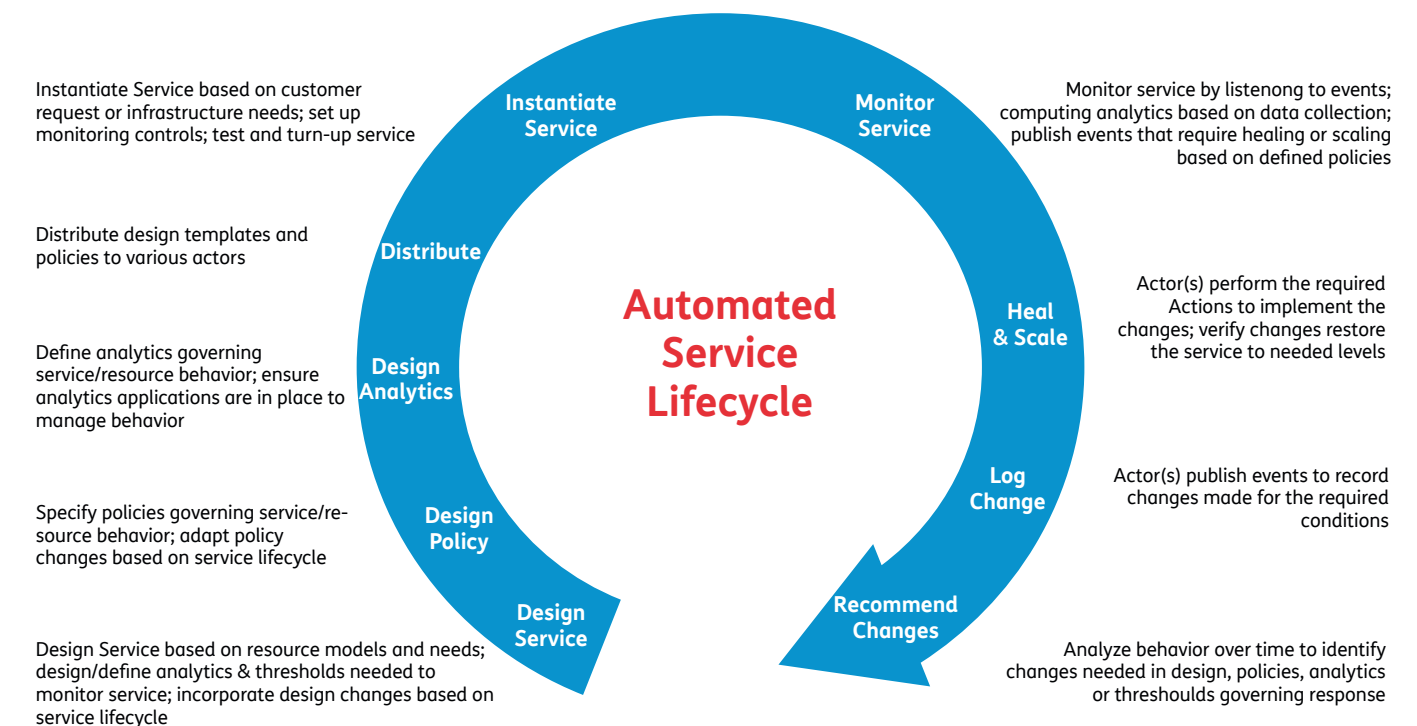
Nel runtime execution framework le componenti DCAE (*Data Collection, Analytics and Events*) e A&AI (*Active and Available Inventory*) supportano le funzionalità automatiche di controllo e gestione degli asset della rete Domain 2.0. In particolare, DCAE offre le funzionalità di data analytics: colleziona i dati relativi alle prestazioni, all'uso ed alla configurazione degli asset di rete; supporta il calcolo degli analytics; offre elementi utili per la risoluzione dei problemi e pubblica eventi, dati e analisi. Il modulo A&AI fornisce la vi-

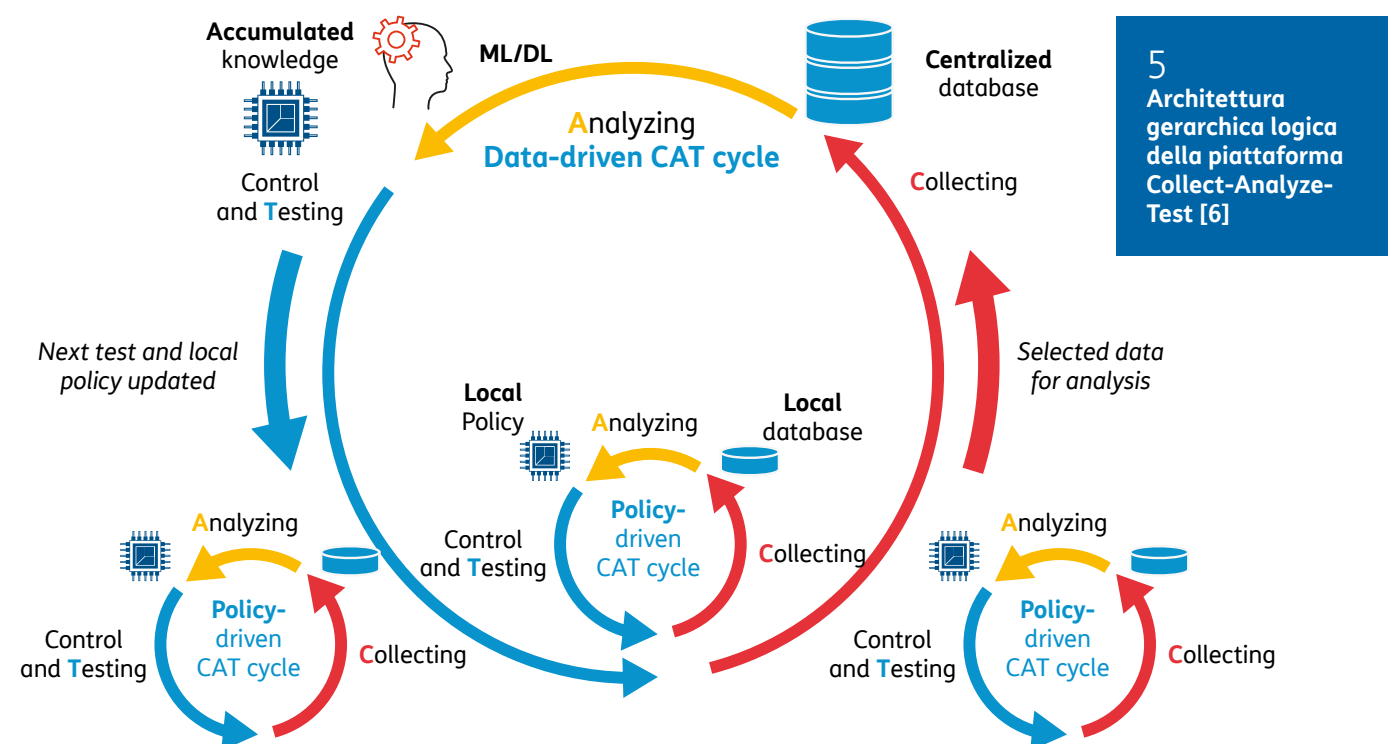
sta in tempo reale delle risorse, servizi e prodotti e delle loro relazioni. Tutte queste informazioni, aggiornate in tempo reale, consentono ai moduli di orchestrazione e controllo di gestire dinamicamente il ciclo di vita degli asset di Domain 2.0, realizzando la cosiddetta “closed-loop automation” (Figura 4).

La letteratura [4], [5] offre già un'ampia descrizione di interessanti casi d'utilizzo dell'IA per ottimizzare il funzionamento di una rete ottica. In particolare, NTT in [6] propone lo sviluppo e l'adozione di un sistema di raccolta dati, diagnosi e controllo automatico dello stato della rete basato su cicli procedurali CAT (*Collect-Analyze-Test*) (Figura 5). L'archi-

tettura prevede degli engine distribuiti (policy-driven CAT cycles) e un database centralizzato di knowledge. Gli engine policy-driven CAT sono preposti alla raccolta ed analisi dei dati generati ai vari livelli di rete, al fine di controllare dinamicamente lo stato di ciascun elemento di rete (fisico e/o logico). La conoscenza acquisita, e continuamente aggiornata, si basa sulla corrispondenza tra stati di funzionamento e pattern di dati. In particolare, le variazioni nel tempo dei dati raccolti, e quindi lo stato di un determinato elemento di rete, vengono continuamente confrontate con dei modelli di riferimento basati su FFT (*Fast Fourier Transform*). Lo scostamento dello stato di un elemento di rete (fisico e/o logico) rispetto al funzionamento normale, permette di identificare

4 Closed-loop automation [3]





l'anomalia in base alle conoscenze apprese precedentemente, oppure di generare nuova conoscenza.

La Figura 6 illustra l'architettura funzionale/di sistema della piattaforma CAT, con le interfacce di riferimento verso l'infrastruttura, i sistemi di OSS/BSS e orchestrazione e verso le funzioni di big data analytics. L'architettura logica della piattaforma prevede istanze dei cicli CAT allocate per ogni operatore virtuale ai quali sono forniti servizi di rete virtualizzati.

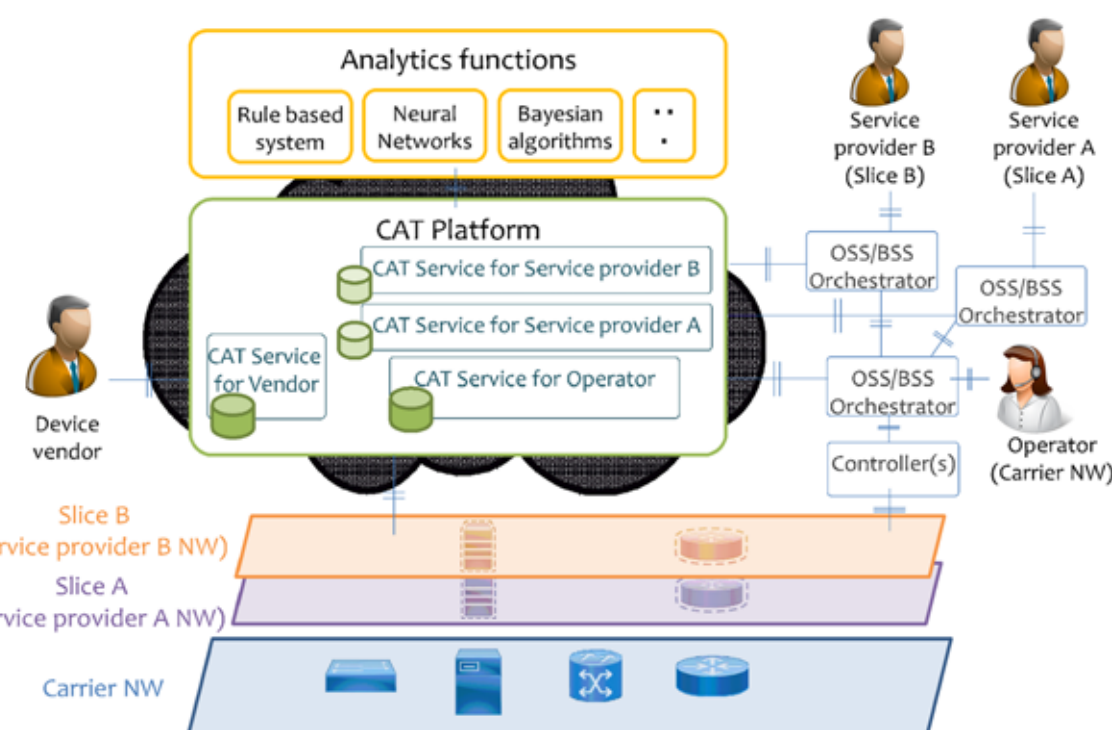
La Figura 7, infine, illustra una PoC di NTT volta a dimostrare il funzionamento di base della piattaforma CAT. Il caso d'uso prevede un operatore di rete che fornisce servizi di rete virtualizzati (slice) a due operatori virtuali. La piattaforma CAT raccoglie ed elabora, ad

esempio, continuamente i dati di traffico in entrata/uscita da/verso i nodi di rete che erogano i servizi. Ogni variazione anomala dei pattern di traffico attiva un ciclo di diagnosi automatica al fine di isolare le eventuali cause di anomalie: in primo luogo, si controlla lo stato di tutte le porte fisiche e quindi tutte le connessioni a livello di collegamento fisico; dopodiché, nel ciclo successivo, si controllano le porte ed i collegamenti a livello logico. La PoC di NTT ha dimostrato l'utilità di misurare continuamente ed elaborare anche altri parametri come la temperatura, l'umidità dell'ambiente e lo stato vibrazionale di ogni nodo/sistema di rete, in quanto informazioni che concorrono, anche in ottica predittiva, a stimare gli stati della rete.

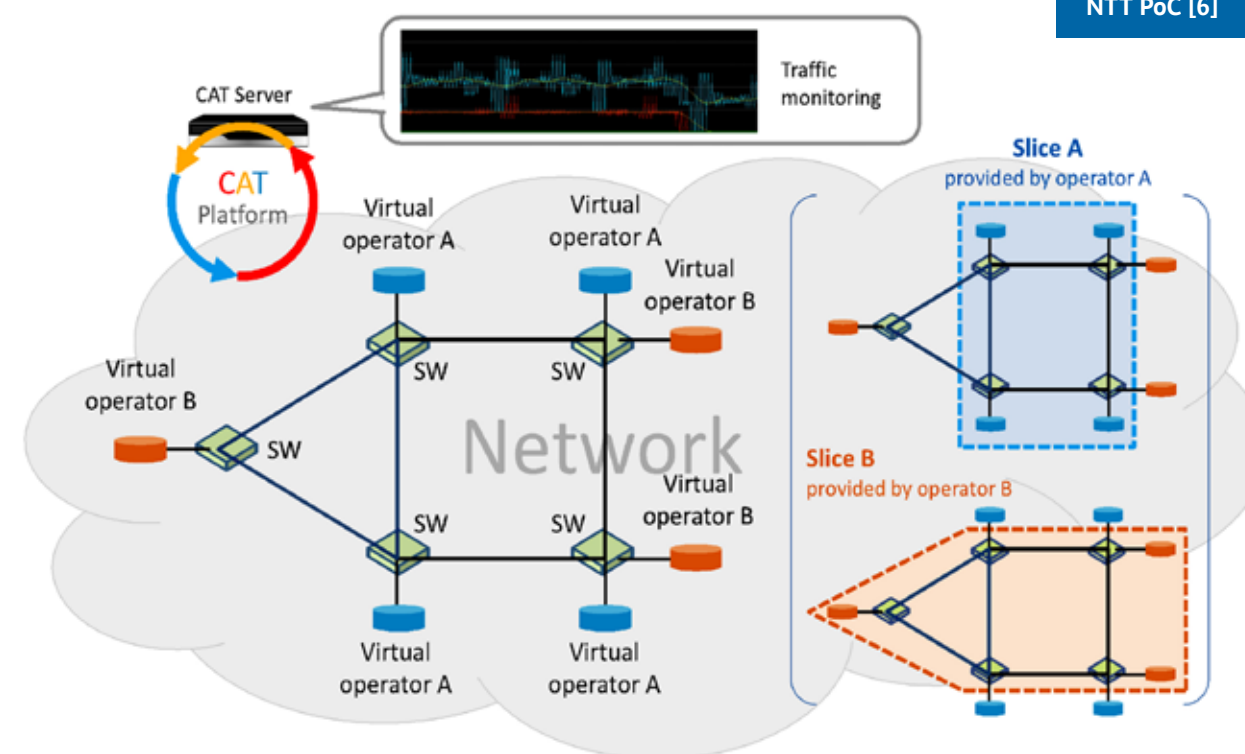
Conclusioni

La complessità delle reti di nuova generazione, come il 5G, richiederà un nuovo approccio per i processi di gestione, controllo ed orchestrazione di rete. I fattori chiave evolutivi sono infatti: il disaccoppiamento delle architetture hardware e software, la pervasività della rete ed un mercato dei servizi altamente dinamico. In questi scenari, emerge l'esigenza di automatizzare i processi di rete, affiancando all'Operatore umano sistemi di IA.

Infatti, le tecnologie di IA e l'analisi dei big data da sempre trovano ambiti di applicazione molto promettenti con potenziale elevato impatto sull'automazione dei processi e delle procedure nell'ICT. Oggi il tema riguarda l'estensione di tali



6 Piattaforma Collect-Analyze-Test [6]



7 NTT PoC [6]

tecnologie alle reti di nuova generazione.

Ci sono evidenze di primi importanti passi nel percorso di adozione delle soluzioni di IA per l'automazione e l'auto-organizzazione di rete. La contestualizzazione dell'IA ai pro-

blemi ed ai requisiti specifici del 5G richiedono ulteriori raffinamenti, tuttavia gli Operatori testimoniano l'alto livello di attenzione e di attese nel settore [9].

In conclusione, come anche confermato dalla visione strategica

di alcuni grandi Operatori, appaiono evidenti la centralità e la complementarietà delle tecnologie SDN, NFV, edge e cloud computing, IA e big data analytics nello sviluppo delle reti di nuova generazione ■

Bibliografia

- [1] L. Artusio et alii "Telcos' application of Artificial Intelligence", Telecom Italia, presentazione interna 28 maggio 2019
- [2] "ATSCALE – Vision on Future Telco Infrastructure", SK Telecom, luglio 2016
- [3] "ECOMP (Enhanced Control, Orchestration, Management & Policy) Architecture", White Paper, AT&T, 2016
- [4] J. Mata, I. Miguel, R. J. Durán, N. Merayo, S. K. Singh, A. Jukan, and M. Chamania, "Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: a comprehensive survey", Optical Switching and Networking, vol. 28, pp. 43-57, aprile 2018
- [5] D. Rafique and L. Velasco, "Machine learning for network automation: overview, architecture, and applications", J. Opt. Commun. Netw., vol. 10, no. 10, pp. D126-D142, ottobre 2018
- [6] A. Hirano, "Autonomous network diagnosis with AI" Proceedings of Optical Fiber Communications Conference, Tu2E.4, 2019
- [7] A. Manzalini, domanda di brevetto TIM TEL1412 "System for managing services in Software Defined Infrastructures"
- [8] Roberto Gonzalez, Filipe Manco, Alberto Garcia-Duran et alii, "Net2Vec: Deep Learning for the Network" disponibile al link [arXiv:1705.03881v1](https://arxiv.org/abs/1705.03881v1) [cs.NI], 10 maggio 2017
- [9] E. Damiani, A. Manzalini, "Artificial Intelligence empowering the Digital Transformation" Notiziario Tecnico n.1, anno 2018 - disponibile al link <https://www.telecomitalia.com/tit/it/notiziariotecnico/edizioni-2018/n-1-2018/capitolo-10.html>



Luigi Artusio luigi.artusio@telecomitalia.it

laureato in Scienze dell'Informazione, lavora in Telecom Italia dal 1989. Nei primi anni lavorativi ha approfondito gli aspetti di gestione delle reti e dei servizi di telecomunicazione, operando sia negli enti standardizzazione, sia nei progetti di ingegnerizzazione dei sistemi di gestione di Telecom Italia e di TIM. Ha sviluppato esperienze di program e vendor management, contribuendo alla messa in esercizio di soluzioni innovative sia di rete che di gestione. Attualmente, opera nella funzione Technology Architectures & Innovation ove è incaricato di realizzare analisi degli scenari e dei trend evolutivi delle tecnologie ICT che hanno un potenziale impatto sul business aziendale ■



Antonio Manzalini antonio.manzalini@telecomitalia.it

ingegnere elettronico, Ph.D è entrato in Telecom Italia nel 1990. Ha partecipato a diversi progetti di ricerca internazionali riguardanti reti di trasporto SDH ed ottico (WDM), occupando varie posizioni di responsabilità. Ha inoltre contribuito a molte attività di standardizzazione, guidando alcuni gruppi di lavoro in ITU-T, IEEE e GSMA.

Attualmente si occupa di tecnologie ed architetture di reti 5G, basate sull'integrazione di SDN, NFV con Cloud-Edge Computing e sistemi di Intelligenza Artificiale. Nel 2019, IEEE gli ha assegnato il premio Industrial Distinguished Lecturer Award. È autore di oltre un centinaio di pubblicazioni internazionali e di sette brevetti ■

AI IN MPEG: LA COMPRESSIONE DELLE RETI NEURALI

Gianluca Francini, Diego Gibellino

Oggi l'intelligenza artificiale ed in particolare le reti neurali permettono di riconoscere oggetti, video e persone, suggerire i contenuti più appropriati in base ai propri gusti e garantire una migliore user experience durante lo streaming di contenuti attraverso Internet. MPEG, il gruppo di lavoro ISO che ha sviluppato i più importanti standard per la compressione audio e video (MP3, AVC e HEVC), sta lavorando ad una nuova tecnologia per comprimere proprio le reti neurali. Sarà presto possibile il trasporto efficiente e l'impiego di interi modelli di reti neurali all'interno di applicazioni e dispositivi con risorse limitate. È possibile una nuova rivoluzione paragonabile a quella che ha cambiato per sempre il mercato dei contenuti oltre 20 anni fa?

Introduzione

MPEG (Moving Picture Experts Group), è un working group ISO (ISO/IEC JTC1/SC29 WG11) che si occupa di definire gli standard e le tecnologie legate alla codifica, distribuzione, memorizzazione, presentazione e fruizione dei contenuti multimediali, includendo video, audio, grafica, testo e metadati associati. MPEG ha definito, in oltre 30 anni di attività, numerosi tra i più importanti standard adottati dall'industria dei media, dal famoso formato audio MP3 alle codifiche video MPEG-4 AVC e HEVC usate, tra le altre applicazioni, per la televisione digitale ed i servizi di video streaming, come nel caso di TIMVISION. Negli ultimi anni stiamo assistendo alla diffusione di tecniche di

intelligenza artificiale, il cui successo è dovuto in buona parte alle prestazioni raggiunte dalle reti neurali profonde (Deep Learning), modelli che riescono a svolgere compiti associati tradizionalmente a capacità cognitive umane. In MPEG, algoritmi basati sulle reti neurali sono stati proposti ed adottati dallo standard CDVA (Compact Descriptors for Video Analysis), per la ricerca ed analisi di immagini o video in database multimediali. TIM ha contribuito attivamente allo sviluppo di CDVA e lo standard include due tecnologie brevettate dalla nostra azienda. Altre iniziative sono volte allo studio e sperimentazione di nuovi tool basati su intelligenza artificiale per VVC (Versatile Video Coding), il nuovo

codificatore video ibrido su cui stanno lavorando MPEG e ITU-T VCEG. In questo caso, l'obiettivo è di migliorare l'efficienza di compressione mantenendo allo stesso tempo la complessità computazionale ad un livello ragionevole. I tool in valutazione sono impiegati nello stadio di in-loop filtering con risultati interessanti ma con impatti ancora troppo significativi in termini di complessità in particolar modo sul decoder. Tra le attività più recenti di MPEG figura la compressione delle reti neurali, che mira ad aumentarne la diffusione ed utilizzo attraverso la diminuzione delle risorse necessarie alla loro memorizzazione ed elaborazione. Il parallelo è suggestivo: così come la disponibilità di

tecniche di compressione di immagini, audio e video ha permesso la creazione di una nuova industria dei media ed ha reso possibile l'accesso ai contenuti al grande pubblico attraverso le reti di telecomunicazione, così la compressione delle reti neurali promette di abilitare nuovi scenari di servizio nei quali componenti di intelligenza artificiale sono distribuiti, installati ed aggiornati all'interno delle applicazioni multimediali nei terminali degli utenti.

Dai data-center all'intelligenza artificiale distribuita

Le tecniche di intelligenza artificiale ed in particolare le reti neurali sono oggi largamente utilizzate in servizi e prodotti commerciali. L'applicazione di queste tecnologie permette di riconoscere oggetti, luoghi o volti, di abilitare la guida assistita o autonoma di veicoli, di interagire in modo naturale con assistenti virtuali attraverso il parlato e di fornire suggerimenti sui contenuti da

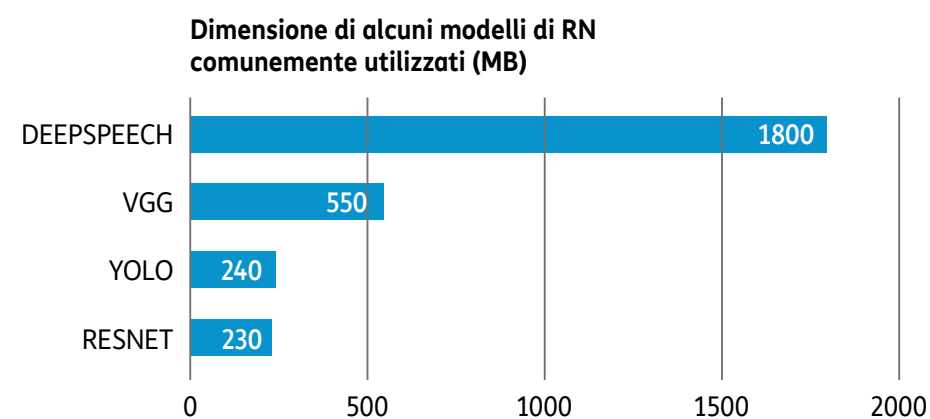
guardare sulla base delle preferenze dell'utente. Tuttavia, nella quasi totalità dei casi, si tratta di servizi che sono progettati e realizzati per utilizzare le risorse virtualmente infinite del *cloud*, o chip *ad hoc* progettati appositamente. Per sfruttare pienamente le potenzialità delle reti neurali è necessario pensare alla possibilità di trasferire, mediante le moderne reti di telecomunicazione, questi algoritmi dai *data center all'edge* della rete e sui terminali fissi e mobili, così da rendere possibile il loro utilizzo direttamente nelle applicazioni utente. Questi scenari vengono comunemente definiti come "Edge AI".

L'approccio *data-center* centrato può non essere la soluzione più efficiente per servizi basati sull'uso di intelligenza artificiale quando la dimensione dei dati da inviare in cloud per le fasi di inferenza diventa un possibile collo di bottiglia per il funzionamento del servizio. Altre problematiche legate all'elaborazione in cloud possono essere i tempi di risposta particolarmente ridotti richiesti in alcuni scenari applicativi, o requisiti di sicurezza, privacy dei dati

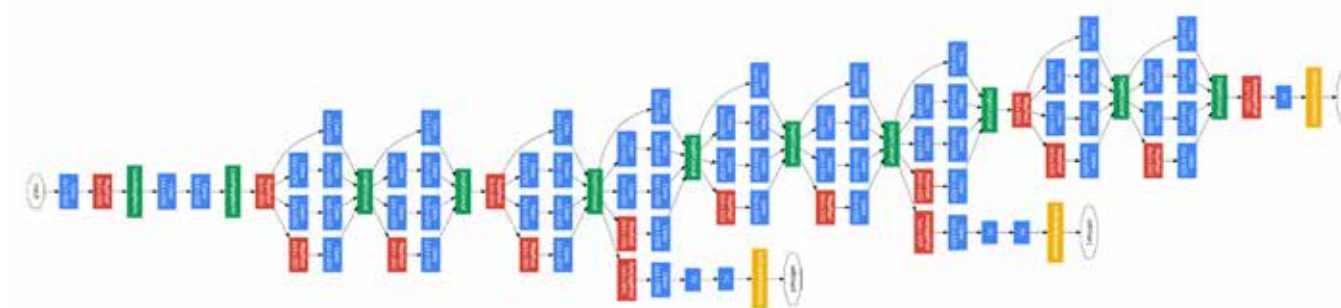
e aspetti regolatori particolarmente stringenti. Infine, con l'esplosione prevista del numero di sensori e dispositivi IoT operativi negli scenari smart city e industry 4.0, promossa dalle funzionalità fornite dalle reti 5G, diventano potenzialmente interessanti scenari in cui alcuni algoritmi di intelligenza artificiale vengono spostati all'interno degli edge gateway IoT dislocati sul territorio, o addirittura sui sensori stessi.

Un problema che oggi limita fortemente la distribuzione e aggiornamento di reti neurali attraverso la rete è la dimensione di questi modelli. Nella figura sotto riportata sono elencati alcuni dei modelli di reti neurali più utilizzati nel campo della image e video detection e classificazione e del riconoscimento del parlato e la relativa dimensione in megabyte.

Le reti neurali, ed in particolare le reti profonde, utilizzano un numero elevato di strati, con molte connessioni, parametri e pesi. Il numero di parametri, ed i relativi pesi, superano spesso le centinaia di milioni, con punte che superano il miliardo. Tipiche architetture, in funzione anche del tipo di rappresentazione scelto per i pesi, hanno dimensioni dell'ordine delle centinaia di MB, con esempi in letteratura che arrivano alle centinaia di GB.



1
Dimensione di alcuni modelli di reti neurali



2
Esempio di architettura di una rete neurale profonda (GoogLeNet)

Si pone quindi un problema di efficienza nel trasferimento e memorizzazione di questa mole di dati attraverso le reti ma anche un problema legato al processamento su terminali con risorse limitate.

Compression of Neural Network for Multimedia Content Description and Analysis

Nel corso del 2018 in MPEG è stata avviata un'attività che ha l'obiettivo di definire uno standard per la compressione delle reti neurali per l'utilizzo in applicazioni legate all'analisi dei contenuti multimediali. Il risultato atteso è un formato compresso interoperabile per rappresentare i parametri e pesi di un modello di rete neurale, permettendone la distribuzione in rete e la loro ricostruzione, anche parziale, durante la fase di inferenza e processamento su dispositivi o apparati con capacità computazionali, di memoria o storage ridotte. L'iniziativa è complementare ri-

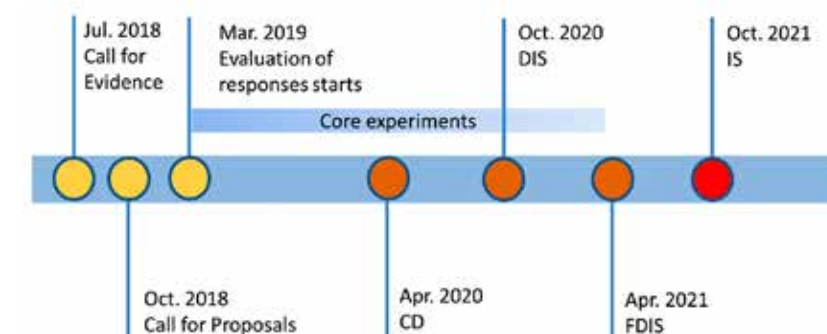
spetto ai formati interoperabili di reti neurali in fase di definizione da altri consorzi industriali che si concentrano invece sull'interoperabilità della rappresentazione delle reti con diverse librerie ottimizzate di elaborazione. Esempi noti sono i file format NNEF e ONNX, che potranno in futuro adottare il formato compresso MPEG.

I lavori sullo standard MPEG vedono la stretta collaborazione con ISO/IEC SC42, il sub-committee ISO che si occupa specificamente di Intelligenza Artificiale. La roadmap di questa iniziativa, denominata *Compression of neural networks for multimedia content description and*

analysis (ISO/IEC 15938-17), è riportata nella Figura 3.

Ad una prima fase di raccolta requisiti e scenari di utilizzo, è seguita la pubblicazione di una CfE (*Call for Evidence*), volta a valutare lo stato dell'arte della tecnologia in questo specifico ambito. Alla CfE è seguita una formale CfP (*Call for Proposals*) aperta sia a membri MPEG che ad aziende o enti di ricerca esterni. Nella Call for Proposals sono stati definiti i requisiti base da soddisfare, le architetture di reti neurali da utilizzare nel processo di compres-

3
Cronologia dell'attività di standardizzazione di MPEG Compression of neural networks for multimedia content description and analysis (GoogLeNet)



sione e il framework di valutazione dei risultati.

La catena di compressione e ricostruzione impiegata nella Call ed illustrata in *Figura 4* è caratterizzata da metriche indipendenti dal modello di rete impiegato come rapporto di compressione della rete compressa rispetto alla rete originale, complessità computazione e requisiti di memoria per i processi di compressione e decompressione. Sono inoltre state definite una serie di metriche dipendenti dal modello di rete neurale utilizzato: come le prestazioni in termini di accuratezza del modello ricostruito rispetto a quello originale, che sono basate su *Top-5* e *Top-1 Error Rate*.

Le tipologie di reti neurali impiegate come input per valutare le proposte appartengono alle seguenti categorie: classificazione visuale di oggetti, componenti impiegati nello standard CDVA (*Compact Descriptors for Video Analysis*), tool specifici per compressione delle immagini e video e classificazione dei segnali audio. È infatti importante verificare che la soluzione di compressione sia applicabile ed

efficace per un ampio spettro di modelli di reti diverse, anche utilizzate in diversi ambiti applicativi.

Tecniche di compressione e risultati

Le tecniche impiegate nelle proposte presentate alla Call for Proposals si basano su tre approcci principali:

- Pruning/sparsificazione
- Approssimazione dei pesi
- Codifica entropica

La sparsificazione di una rete neurale prevede l'applicazione di tecniche che tendono a generare sottoinsiemi di pesi del modello con valore prossimo a zero, semplificando le operazioni da compiere (che sono in larga parte moltiplicazioni) e ottimizzando quindi i vari layer della rete.

Il *pruning* dei pesi è una famiglia di tecniche di sparsificazione che prevede l'eliminazione di alcuni pesi dal modello di rete neurale (un esempio è la tecnica di *optimal brain damage*) cercando di non penalizzare le performance della rete risultante. Dopo l'eliminazione dei pesi è utile procedere con una fase di affinamento dell'addestramento in modo da

sfruttare al meglio la struttura semplificata della rete neurale. È interessante notare come l'eliminazione di pesi e parametri possa inoltre influire positivamente sulle capacità di generalizzazione della rete neurale risultante, producendo in alcuni casi un incremento delle prestazioni della rete compressa ricostruita rispetto a quella originale. Questo effetto è dovuto al fatto che la semplificazione dei pesi rende la rete neurale meno incline all'*overfitting*, un noto problema nel campo del *machine learning* nel quale il modello si adatta eccessivamente bene ai dati usati per l'addestramento e non riesce a processare correttamente i nuovi dati.

Un'altra tecnica utilizzata per la compressione prevede la quantizzazione (o approssimazione) dei pesi, utilizzando una rappresentazione di questi valori che richieda meno bit. Si passa ad esempio a rappresentazioni *integer* a 8 bit, o si quantizzano i pesi relativi utilizzando distribuzioni non uniformi o rappresentazioni binarie (utilizzando cioè solo valori 0 e 1). Infine, è possibile applicare tecniche di codifica entropica derivate da quelle note ed utilizzate già da tempo per la codifica video, adattandole ai dati che rappresentano i pesi del

modello a valle del primo stadio di compressione.

I risultati della valutazione delle proposte ricevute mostrano che è possibile raggiungere e superare fattori di compressione di 10 a 1 con diminuzioni delle prestazioni in termini di accuratezza nulle o trascurabili. In alcuni casi l'eliminazione di pesi ha inoltre permesso di migliorare leggermente le performance della rete ricostruita, proprio grazie a una migliore generalizzazione dell'algoritmo.

Attualmente è in corso la fase di *core experiments*, nella quale, in modo collaborativo, vengono proposte ed analizzate nuove tecniche o combinazioni diverse di quelle esistenti con l'obiettivo di definire e quindi migliorare il test model software di riferimento. La finalizzazione dello standard è prevista per aprile 2021 con la successiva pubblicazione da parte di ISO ad ottobre.

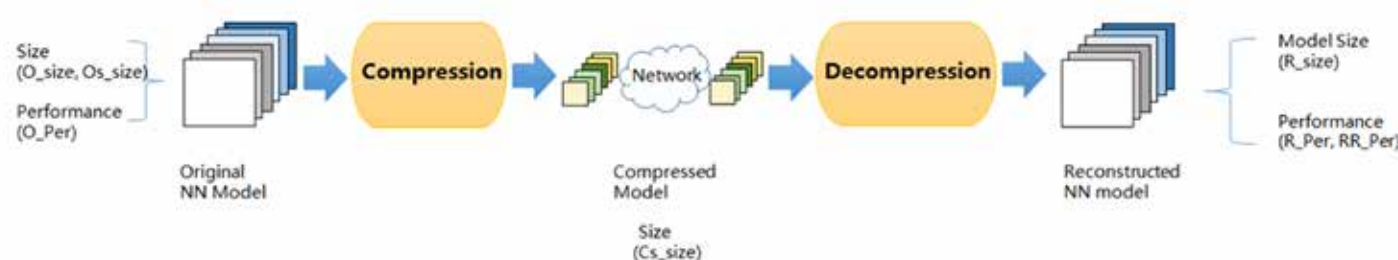
Conclusioni

Le reti neurali si stanno dimostrando capaci di sostituire e migliorare molte delle componenti tecnologiche impiegate nei servizi oggi disponibili, anche nel caso di servizi basati sui contenuti. Esiste un forte interesse nel rendere disponibili e utilizzabili queste tecnologie ai bordi della rete (*Edge AI*) e direttamente sui terminali utente, nelle applicazioni multimediali, svincolandole da un uso confinato in *cloud*. MPEG sta lavorando ad uno standard di compressione delle reti neurali che abiliterà nuovi scenari di servizio in cui elementi intelligenti (modelli di reti neurali) potranno essere trasportati in modo efficace attraverso le reti di telecomunicazione, aggiornati ed utilizzati su un'ampia gamma di apparati e terminali fissi e mobili, anche con risorse computazionali,

di memoria o storage limitate. Le tecniche in fase di sviluppo in MPEG permettono già oggi di utilizzare rappresentazioni compresse con dimensioni pari al 10% delle reti originali, senza richiedere la completa ricostruzione del modello in fase di inferenza. La compressione delle reti neurali rappresenta una tecnologia cruciale per i futuri scenari di *Internet of Things*, in cui miliardi di dispositivi intelligenti saranno messi in comunicazione tra loro attraverso la rete mobile 5G. La capacità di rendere disponibili e sfruttare algoritmi di AI alla periferia della rete diventerà sempre più un elemento importante per un operatore come TIM per gestire in modo automatico nuove capabilities orientate al *Network-as-a-Service* (per esempio il *Network Slicing*) e per garantire servizi innovativi e più efficienti per *verticals* e utenti consumer ■

4

Catena di compressione e ricostruzione definita in MPEG e relative metriche



Gianluca Francini gianluca.francini@telecomitalia.it

laureato in Scienze dell'Informazione, ha iniziato al sua attività lavorativa nel campo avionico, passando nel 1996 al settore delle telecomunicazioni come ricercatore del gruppo Multimedia del Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni (CSELT). Nel gruppo Multimedia ha lavorato su temi di Computer Vision, in particolare sulle applicazioni di teleconferenza tridimensionale, sui sistemi di ricostruzione 3D e sulla codifica video scalabile. Nel 2006 è entrato a far parte della struttura Research Project, lavorando su tecniche di raccomandazione di contenuti e sulla ricerca visuale, sviluppando tecnologie che sono diventate parte dello Standard Internazionale MPEG Compact Descriptors for Visual Search. È attualmente responsabile del Joint Open Lab sull'Intelligenza Artificiale TIM/Politecnico di Torino, laboratorio in cui si sviluppano algoritmi di analisi dei dati aziendali mediante l'adozione di tecniche di machine learning ■



Diego Gibellino Ddiego.gibellino@telecomitalia.it

Ingegnere informatico con Master in telecomunicazioni, dal 2001 è in TIM - Telecom Italia, dove si è occupato di progettazione e sviluppo di piattaforme di videocomunicazione su reti IP, IPTV e OTT Streaming e della definizione e messa in campo del servizio LTE Public Safety. Coordina attività di innovazione e progetti cofinanziati per le soluzioni video su IP di TIM, con particolare riferimento all'evoluzione dei servizi TIMVISION, il servizio di video streaming di TIM. Partecipa attivamente alle attività tecniche di diversi gruppi di standardizzazione, rappresentando TIM in ISO/IEC MPEG, DVB, e HD Forum Italia. È Advisor e rappresenta la Delegazione Italiana in MPEG ■

DIGITAL TRANSFORMATION DELLE RETI DI TRASPORTO FOTONICHE

Patrizia Andreozzi, Sergio Augusto, Valentina Brizi, Andrea de Carolis

Negli ultimi anni, le tecnologie e le funzionalità della rete di trasporto di TIM sono significativamente cambiate per far fronte alle nuove esigenze del mercato, che ha visto l'evolversi dei servizi proposti e la crescita esponenziale dei volumi di traffico.

Il processo evolutivo è stato ed è tuttora guidato dalla possibilità di sfruttare i vantaggi offerti dalle nuove tecnologie al fine di rendere le reti in grado di adattarsi rapidamente all'evoluzione del traffico e sempre maggiormente efficienti e flessibili, massimizzando l'utilizzo delle risorse ed ottimizzando gli investimenti, automatizzando alcune funzionalità fondamentali.

Intelligenza ed Automazione nelle reti di trasporto

La progressiva introduzione del concetto di intelligenza in rete gioca un ruolo chiave nel percorso evolutivo; tale processo è iniziato con lo sviluppo delle funzionalità tipiche del piano di controllo e raggiungerà la sua massima espressione con il *machine learning*, grazie al quale le reti avranno un maggior grado di autonomia, portando a completamento il processo di *Digital Transformation* ed *Automation* anche nell'ambito delle piattaforme trasmissive. Già nel 2004 la rete di backbone SDH Phoenix utilizzava un piano di controllo *semidistribuito* in grado di realizzare il reinstradamento automatico dei servizi a fronte di guasti di rete o per azioni manutentive, calcolando automaticamente il percorso migliore disponibile nel

momento del guasto e notificando all'operatore le scelte implementate.

Le reti sviluppate negli anni a seguire sono state caratterizzate da un'ulteriore evoluzione che ha comportato la distribuzione totale dell'intelligenza (sempre intesa come capacità di prendere decisioni in modo autonomo) nei singoli apparati, passando da un'architettura *semidistribuita* ad un'architettura completamente distribuita.

Tale architettura è infatti presente nelle reti di backbone kosmos, kaleidon e nell'ultima nata kaleidon 2 evolution, sviluppate a partire dal 2009; in queste reti l'intelligenza (ovvero il piano di controllo) è utilizzata per effettuare il provisioning dei servizi e per implementare meccanismi di *resilience*, come la *resto-*

ration per reinstradare il traffico a fronte di guasti di rete.

In parallelo, le innovazioni nelle tecnologie del trasporto fotonico hanno ampliato le funzionalità disponibili a livello di apparati e rete ed utilizzabili dal Piano di Controllo, abilitando il cammino verso l'*Automation* e la *Digital Transformation*.

Kaleidon 2 evolution

Kaleidon 2 evolution è il nuovo backbone fotonico nazionale; è una rete con architettura a maglia, progettata per il trasporto di canali ottici con bit rate maggiore del 100 Gbit/s e realizzata con nodi ROADM.

I nodi della rete hanno le innovative funzionalità di Colorless, Directionless, Contentionless e Flexgrid. La rete, il cui sviluppo è partito nel 2017, prevede a regime una copertura di oltre 16.000 chilometri di fibra, collegando più di 60 POP

nazionali *Figura 1*, è SDN ready ed abilitante per l'integrazione IP su Ottico e per l'evoluzione verso l'Automation.

Kaleidon 2 evolution si affianca alla precedente piattaforma fotonica, kaleidon, realizzata a sua volta con nodi

ROADM Colorless e Directionless e progettata per il trasporto di lambda @40 e 100 Gbit/s. Complessivamente ad oggi sulle due piattaforme sono attivi circa 40 Tbit/s di banda, utilizzata per le esigenze infrastrutturali (Backbone IP) e per i servizi di connettività pregiata offerti dalle Direzioni commerciali.

I nuovi nodi ROADM rappresentano l'evoluzione del classico sistema DWDM, tipicamente punto - punto, verso un nodo multidirezionale (multidegree) che costituisce l'elemento cardine di una rete con architettura magliata.

I nodi ROADM della rete kaleidon 2 evolution sono caratterizzati, come detto, dalle seguenti funzionalità:

Colorless: possibilità di utilizzare in modo flessibile le lunghezze d'onda, non più in modalità prefissata e rigida.



1
Grafo della rete kaleidon 2 evolution

Directionless: possibilità di instradare e reinstradare le lunghezze d'onda da e verso qualsiasi direzione.

Contentionless: possibilità di utilizzare la stessa lunghezza d'onda più volte sullo stesso nodo.

Flexgrid: possibilità di utilizzare lo spettro in modo flessibile (non più solo con passi di 50GHz come sui sistemi DWDM classici) in funzione del formato di modulazione utilizzato. Tale feature consente di attivare canali ottici con bit rate maggiori del 200 Gbit/s su lunga distanza.

Con questi elementi si realizza una rete fotonica avente il massimo grado di flessibilità e scalabilità e future proof.

Ciascuna sezione di rete (ramo) è progettata per supportare fino ad 80 canali ottici (lambda), ciascu-

no con bit rate @200 Gbit/s ed è in grado di supportare, senza alcuna modifica all'hardware attualmente installato, canali ottici con bit rate superiori.

Con le attuali release in esercizio in rete si raggiungono prestazioni considerevoli dal punto di vista della capacità per singola lambda in funzione della distanza; in particolare si riescono a realizzare canali ottici @100 Gbit/s (con modulazione QPSK) su distanze fino a 1800 km e canali ottici @200 Gbit/s (con modulazione 8QAM) su distanze fino a 800 km senza necessità di introdurre rigenerazione 3R [nota 1] intermedia.

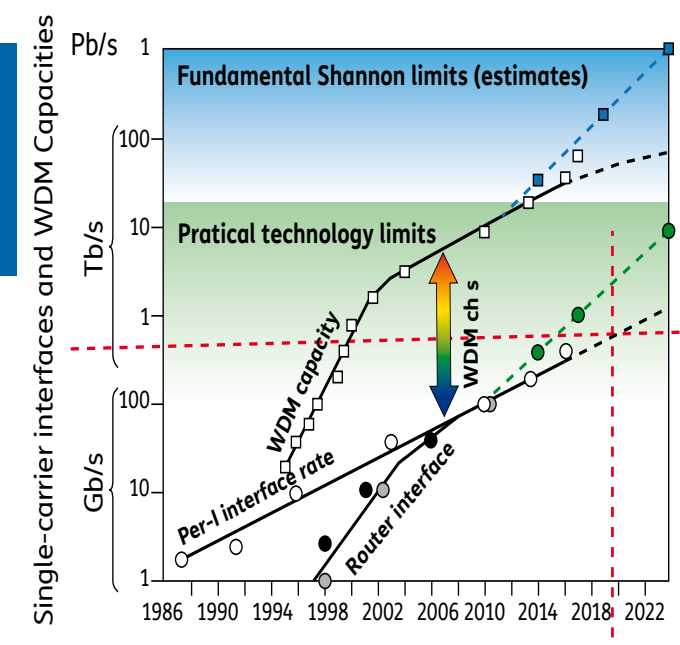
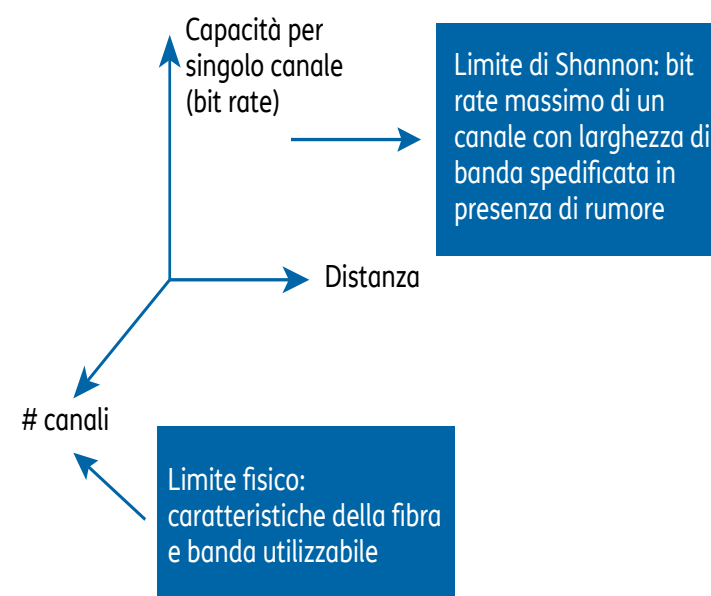
Il Piano di Controllo si basa su una suite di applicazioni GMRE istanziate sui singoli nodi di rete che implementano i paradigmi di una rete WSON.

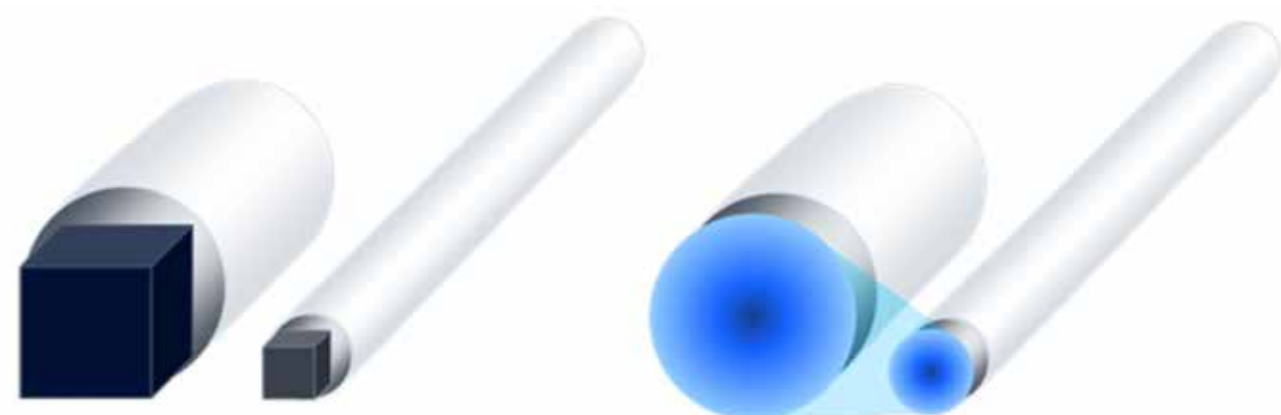
L'evoluzione delle tecniche di modulazione: come avvicinarsi al limite di Shannon

Il processo evolutivo delle reti di trasporto, come detto, è abilitato dalla possibilità di sfruttare i vantaggi offerti dalle nuove tecnologie per massimizzare l'utilizzo delle risorse e, nel caso specifico, l'efficienza trasmissiva. Nei sistemi DWDM la capacità si incrementa agendo su 3 variabili, non indipendenti tra loro e legate dal teorema di Shannon: distanza, bit rate del singolo canale e numero di canali per singola coppia di fibre *Figura 2*.

Mentre sussiste ancora un limite fisico relativo al numero massimo di canali trasportabili sulla singola coppia di fibre ottiche, legato alle caratteristiche intrinseche delle attuali fibre in esercizio ed alla porzione di spettro utilizzabile per le trasmissioni DWDM (banda C) [nota 2], tramite i formati di modulazio-

2
La capacità dei sistemi DWDM e il limite di Shannon





Modulazione Discrete - Sub ottiche e rigide

PCS - adattativo e flessibile

3

Modulazioni discrete vs. PCS

ne e l'utilizzo di elaborate tecniche di elaborazione del segnale (FEC e DSP) è possibile agire sulla distanza e sul bit rate per singolo canale ottico.

Le tecniche di modulazione utilizzate fino ad oggi (On/Off o di Fase, quali QPSK, QAM) garantiscono performance ottime a distanze prefissate, con passi quindi discreti *Figura 3*. Le prestazioni raggiungibili sono ottime, in termini di distanza, per bit

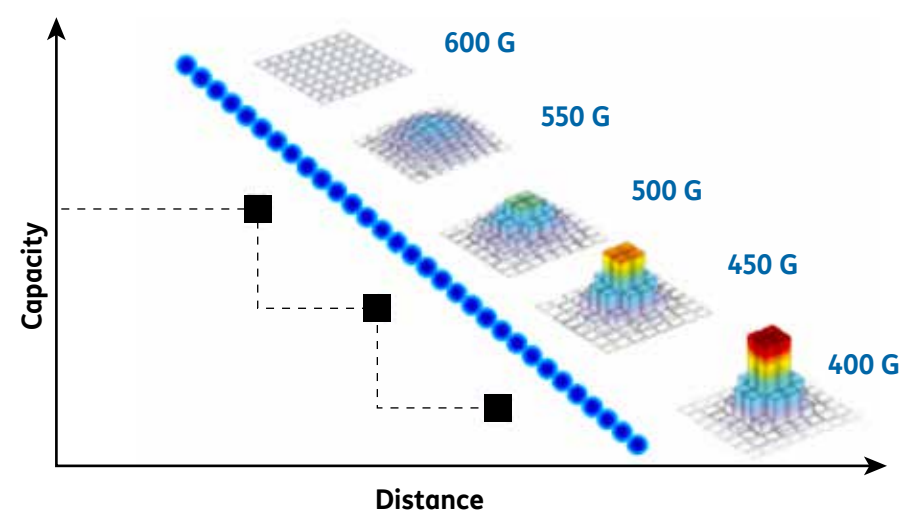
rate fino a 100 Gbit/s ma si riducono drasticamente per bit rate più elevati. La nuova tecnica di modulazione PCS (*Probabilistic Constellation Shaping*) è invece una tecnica adattativa: ottimizza il bit rate per la distanza *Figura 4* necessaria in modo flessibile, sagomando il segnale tramite un utilizzo con probabilità non uniforme dei punti della costellazione [nota 3].

Il guadagno raggiungibile rispetto alle modulazioni discrete varia dal

25% al 65%; per questo motivo la PCS si sta affermando tra i principali vendor del mercato ottico come la tecnica di riferimento da implementare all'interno dei propri apparati al fine il raggiungimento di prestazioni ULH anche con bit rate maggiori del 200 Gbit/s.

L'evoluzione verso la completa Automation e la Digital Transformation

Le opportunità offerte dalle nuove tecnologie fotoniche in combinazione all'evoluzione degli algoritmi



4

La tecnica adattativa PCS: distanza vs. capacità

e relative implementazioni di machine learning aprono la strada a scenari evolutivi estremamente interessanti.

Una tra le applicazioni più promettenti è la possibilità di generare previsioni sullo stato futuro della rete. Le informazioni di telemetria estratte dai nodi di rete vengono processate in tempo reale per mezzo di specifici modelli matematici che vengono continuamente addestrati con le serie storiche dei dati di rete: tali elaborazioni consentono di estrarre dai dati sia le anomalie sia i trend temporali, costruendo un

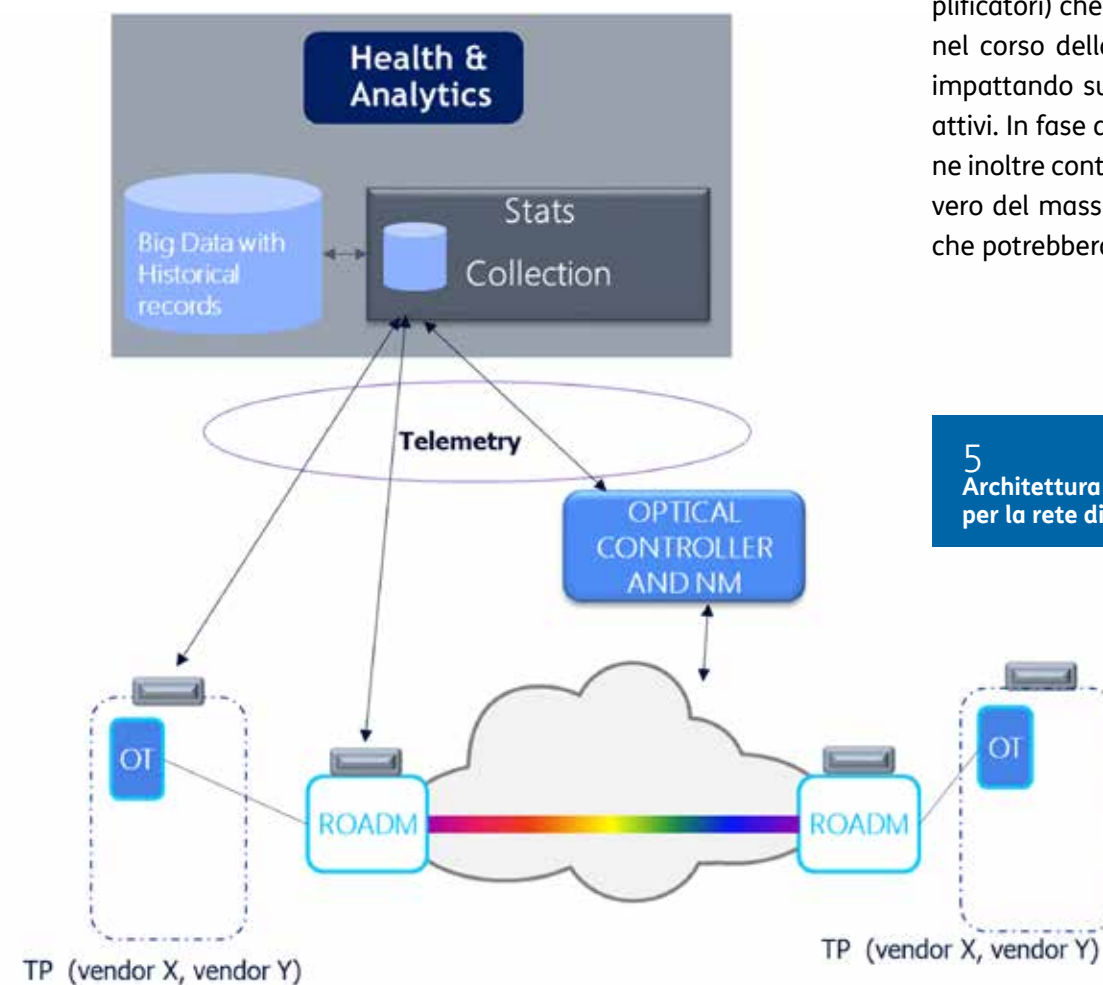
modello matematico adattato al contesto di rete in modo dinamico senza richiedere una specifica attività di programmazione *Figura 5*.

Il vantaggio introdotto dall'intelligenza artificiale è notevole perché il modello matematico può essere costruito dai dati ed adattato al caso reale. Una volta individuata la condizione da correggere (in anticipo rispetto ad un problema o un guasto che sarebbe comunque gestito nel piano di controllo della rete) interviene la Network Automation che svolge un ruolo fondamentale: quello di chiudere l'anello di feedback

per dare la possibilità al piano di controllo di reagire modificando tempestivamente lo stato della rete senza la necessità di un intervento manuale *Figura 6*.

Un'altra applicazione promettente è la possibilità di ottimizzare l'utilizzo delle risorse (fibre e canali) già dalla fase di progettazione.

Le regole tradizionali di progettazione delle reti fotoniche prevedono infatti di considerare un margine di fine vita (EoL) - tipicamente 3 dB - cautelativo rispetto ad eventuali interventi di manutenzione, ai fenomeni di invecchiamento della fibra e dei componenti fotonici (laser, amplificatori) che potrebbero verificarsi nel corso della vita utile della rete impattando sulla qualità dei servizi attivi. In fase di progettazione si tiene inoltre conto del pieno carico, ovvero del massimo numero di canali che potrebbero essere attivato sulla



5

Architettura Health & Analytics per la rete di trasporto

PRIMI PASSI VERSO LA DISAGGREGAZIONE: ALIEN LAMBDA

sergio.augusto@telecomitalia.it, roberto.dagnese@telecomitalia.it

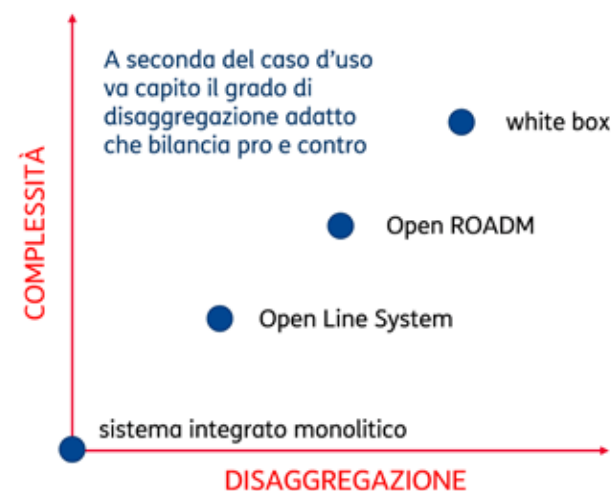


Storicamente le reti fotoniche sono realizzate in modo monolitico per motivi di interlavoro tra le varie componenti e compatibilità del piano di controllo. Negli ultimi anni si sta sempre più affermando il tema della disaggregazione, ovvero la possibilità di scorporare le varie componenti hardware e software che costituiscono una rete al fine di massimizzare i benefici in termini di competizione tra i vendor e flessibilità nell'interlavoro multivendor.

Il tradeoff è nella complessità e nelle prestazioni; in estrema sintesi, maggiore è il grado di disaggregazione, maggiore è la complessità operativa e (nel caso delle reti fotoniche) maggiori sono i compromessi a livello prestazionale.

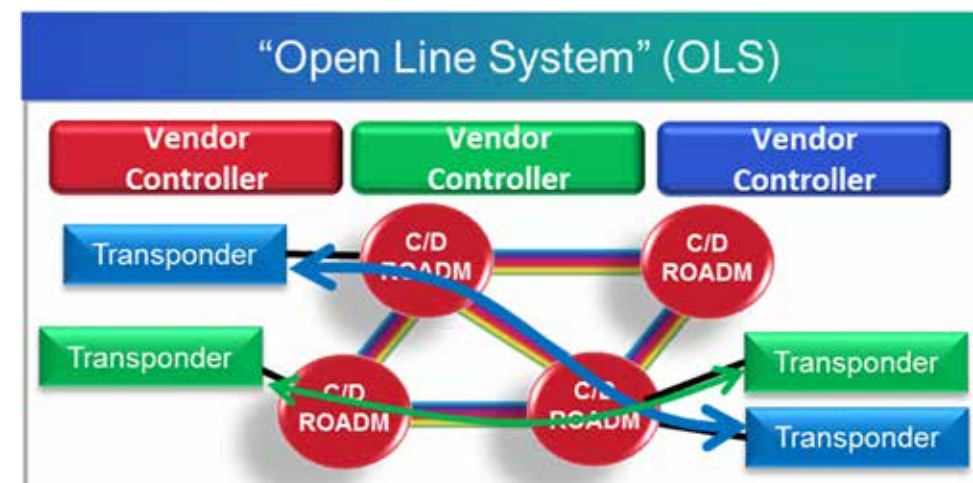
A

Disaggregazione vs. complessità



Continua→

← Segue



B

Modello Open Line System

Uno dei primi punti fondamentali emersi per consentire una corretta gestione delle alien lambda ed una chiara attribuzione delle responsabilità tra i due vendor è l'individuazione del demarcation point tra l'infrastruttura ospitante e la lambda aliena. Nel

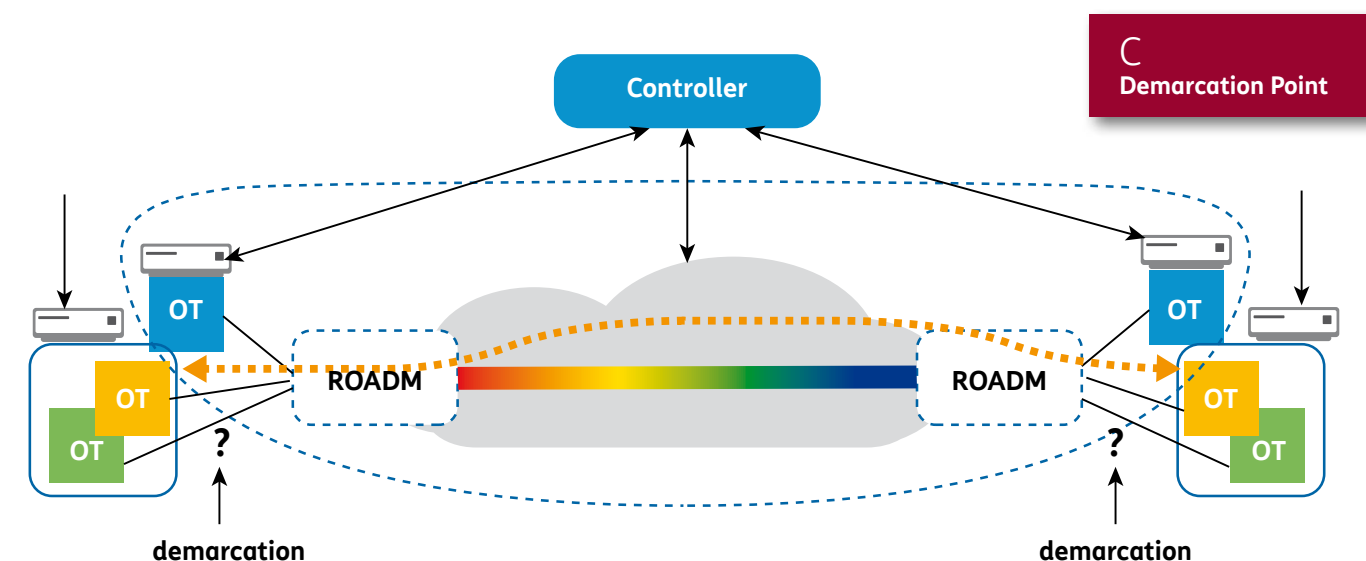
Open Line System, che prevede la disaggregazione delle sole schede transponder.

L'approccio OLS consente di mettere in competizione la componente di hardware che impatta circa l'80% sugli investimenti complessivi associati ad una rete fotonica ed è sostenibile dal punto di vista operativo e processivo. Tale modello consente inoltre di massimizzare le prestazioni trasmissive, selezionando le tecnologie con prestazioni migliori, senza impattare sull'architettura di rete. Dalla seconda metà del 2018 è stata avviata una campagna di field trial per indagare a livello tecnologico la reale possibilità di implementare sulla rete kaleidon 2 evolution il modello disaggregato di tipo Open Line System.

caso di kaleidon 2 evolution tale funzionalità è fornita da una specifica scheda, che permette il riconoscimento del canale alieno da parte del sistema di gestione.

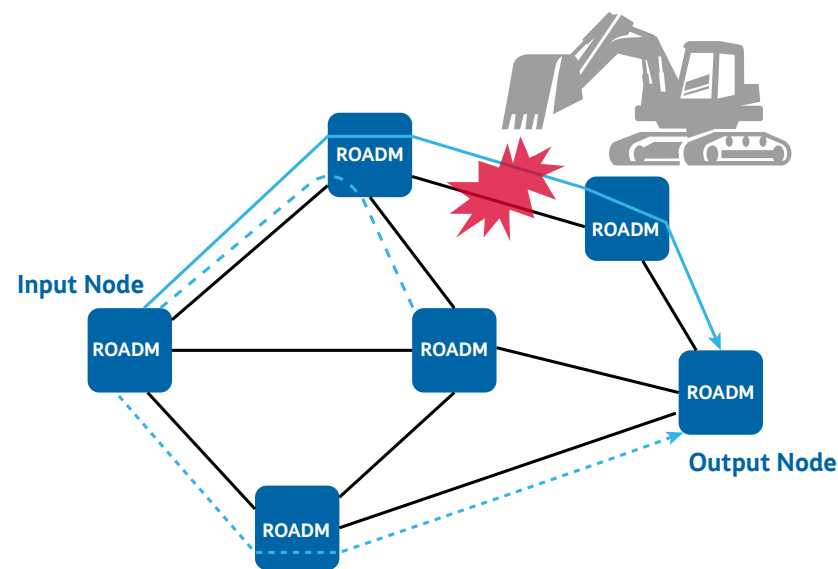
I field trial hanno coinvolto i principali vendor del comparto ottico (Coriant, Ciena, Infinera, Cisco, Huawei, Adva e Fujitsu) e sono stati effettuati sulle dorsali Roma - Milano, utilizzando percorsi su un range variabile dai 750 km ai 1550 km.

In tutti i field trial effettuati i risultati sono stati estremamente positivi sia dal punto di vista trasmissivo [nota 4] che dal punto di vista gestionale, confermando l'applicabilità della soluzione e la validità del modello OLS ■



C

Demarcation Point



6

Manutenzione predittiva automatica

In questo contesto, l'utilizzo del Cloud per la raccolta, l'archiviazione e l'elaborazione delle informazioni svolge un ruolo fondamentale per consentire la necessaria reattività e capacità di calcolo di cui un sistema di feedback continuo ha bisogno. Il processo che coinvolge il Cloud deve infatti avvenire in tempo reale, per garantire agli algoritmi di Intelligenza Artificiale e di Machine Learning di produrre un risultato che consenta una immediata risposta della rete.

Grazie alle nuove piattaforme di virtualizzazione e cloudificazione di dati, servizi e software, anche i tempi di latenza dovuti allo scambio di informazioni possono essere sensibilmente ridotti e la flessibilità della rete può raggiungere il massimo delle sue capacità.

Conclusioni

Il 5G, Big Data, le piattaforme di gaming online e l'Internet of Things avranno un impatto sul traffico, sia in termini di volume che di dinamicità, a tassi senza precedenti. Per soddisfare in modo efficiente questi requisiti impegnativi le reti ottiche devono essere più reattive ai cambiamenti che incidono sul traffico e sullo sta-

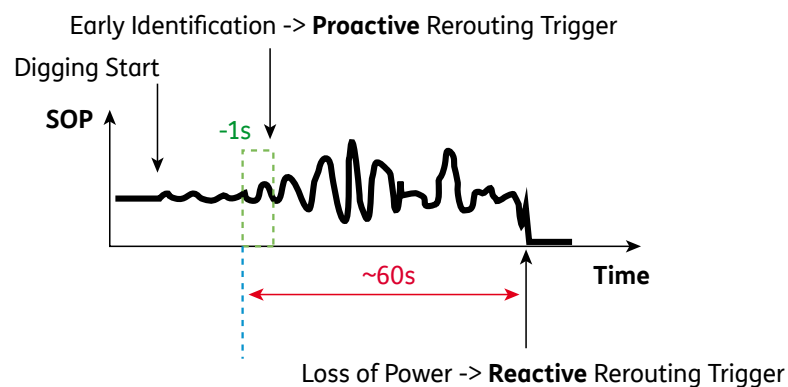
rete al fine di poter gestire la crescita del numero dei canali.

Tali regole rigide e cautelative hanno quindi un effetto fin dal primo giorno di vita della piattaforma, andando ad impattare pesantemente sulle massime prestazioni trasmissive ottenibili. Statisticamente però il deterioramento delle fibre e dei componenti non coinvolge tutte le risorse di una rete ma un sottoinsieme di esse, così come il traffico può crescere diversamente da come previsto.

Abilitando il monitoraggio predittivo per mezzo di tool di pianificazione che sfruttino i dati in tempo reale

e gli algoritmi di intelligenza artificiale, in combinazione con le nuove modulazioni adattive (in grado di ottimizzare lo schema di modulazione in base allo stato effettivo del canale di trasmissione) sarà possibile costruire la rete sfruttandone al massimo la capacità senza necessità di introdurre a priori margini cautelativi *Figura 7*.

I meccanismi di monitoraggio ed elaborazione dovranno essere abilitati e controllati tramite l'impostazione di soglie che, di volta in volta, segnaleranno eventuali variazioni dei parametri di riferimento.



TOCCATA LA VELOCITÀ
RECORD DI 550
GIGABIT AL SECONDO

550 GBIT/S
PRIMATO EUROPEO

valentina.brizi@telecomitalia.it, mauro.piazza@telecomitalia.it

Nel mese di aprile si è concluso con successo il field trial della nuova soluzione di trasporto ottico Nokia PSE-3s (Photonic Service Engine 3) sulla rete di trasporto nazionale kaleidon 2 evolution. Il field trial si è svolto andando ad impegnare tratte reali di fibra ottica e apparati in esercizio.

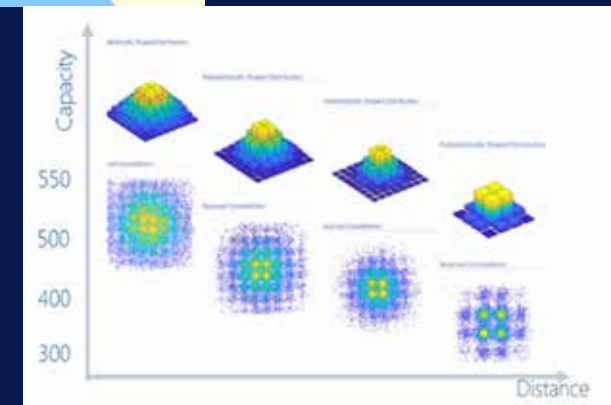
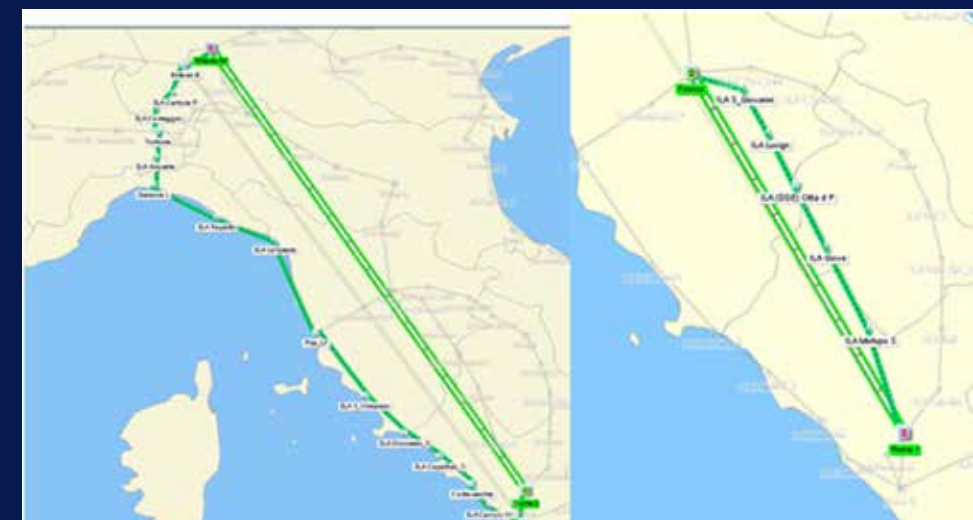
Il prodotto Nokia PSE-3s è il primo DSP che implementa l'innovativa tecnologia fotonica "super-coerente" sulla piatta-

forma 1830 PSS che consente di aumentare la capacità della rete grazie alla nuova modulazione PCS (Probabilistic Constellation Shaping).

Nel corso del trial sono stati realizzati collegamenti con le seguenti prestazioni:

- **Lambda @300 Gbps su una distanza di 1750 km (Roma-Milano-Roma)**
- **Lambda @400 Gbps su una distanza di 900 km (Roma-Milano)**
- **Lambda @550 Gbps su una distanza di 350 km (Roma-Firenze).**

La prestazione @550 Gbps rappresenta un risultato importante per TIM e fissa un primato assoluto per un operatore di rete italiano, aprendo la strada per i 600 Gbps e oltre ■





to della rete stessa. L'intelligenza artificiale avrà un ruolo decisivo nell'aumentare il grado di "agilità"

delle reti trasmissive, che dovranno essere in grado di prevedere, anticipare ed adattarsi alle solle-

citazioni impulsive introdotte dalle nuove esigenze di Quality of Experience e Quality of Service ■

Reference

- [1] "L'evoluzione della trasmissione ottica" di S. Augusto, V. Brizi, R. Tavilla, Notiziario Tecnico di Telecom Italia, Anno 18, Nr. 1, Aprile 2009
- [2] "A Mathematical Theory of Communication" by C. E. SHANNON, The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379-423, 623-656, July, October, 1948
- [3] "Flexible optical transmission close to the Shannon limit by probabilistically shaped QAM", Nokia Bell Labs, 2017 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)
- [4] <https://www.telecomitalia.com/tit/it/archivio/media/note-stampa/market/2019/TIM-Nokia-290519.html>
- [5] "Artificial intelligence (AI) methods in optical networks: A comprehensive survey", Optical Switching and Networking, Volume 28, April 2018, Pages 43-57
- [6] "Pre-emptive detection and localization of failures towards marginless operations of optical networks", 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), 2018
- [7] "Proactive Fiber Damage Detection in Real-time Coherent Receiver" di F.Boitier, V. Lemair, J. Pesic, L. Chavarri, P. Layec, S. Bigo, E. Dutisseuil; <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8346077>
- [8] "Marginless Operation of Optical Networks", Journal of Lightwave Technology, Vol. 37, Issue 7, pp.1698-1705, 2019

Acronimi

BoL	Begin of Life	QAM	Quadrature Amplitude Modulation
DSP	Digital Signal Processing	QoS	Quality of Service
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	QPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
EoL	End of Life	ROADM	Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer
FEC	Forward Error Correction	RTN	Rete di Trasporto Nazionale
GMPLS	Generalized Multi Protocol Label Switching	SDH	Synchronous Digital Hierarchy
GMRE	GMPLS Routing Engine	SDN	Software Defined Network
OLS	Open Line System	ULH	Ultra Long Haul
PCS	Probabilistic Constellation Shaping	WSON	Wavelength Switched Optical Network.

Note

- [1] La rigenerazione 3R (Re-shaping, Re-timing e Re-amplifying) ricrea dal segnale ottico i «bit elettrici» e li riconverte poi in ottico
- [2] Di recente sono emerse sul mercato soluzioni per sistemi DWDM che utilizzano anche la banda L, raddoppiando in tal modo il numero di canali trasportabili su singola coppia
- [3] Il diagramma di costellazione è la rappresentazione grafica dei simboli ricevuti in un certo intervallo di tempo.
- [4] I field trial sono stati condotti in condizione di rete ideale: inizio vita e pochissimi canali attivi



Patrizia Andreozzi patrizia.andreozzi@telecomitalia.it

laureata in Ingegneria Informatica presso l'Università Roma Tre nel 2003. Inizia il suo percorso in Telecom nel 1997 nell'ambito degli apparati trasmissivi e cavi e dal 2003 approda al Provisioning, prima in qualità di Specialista, poi di coordinatore del Centro Nazionale Provisioning di Roma ed infine di riferimento per gli OSS della funzione per le attività di Guidelines. Nel 2018 entra nella linea di Ingegneria IP Core, occupandosi - tra l'altro - dei progetti per l'introduzione delle cache di Netflix e Google nei PoP OPB/NGCN. Dal 2019, sempre nell'ambito della Network & Services Engineering - IP, Transport & SDN Network, si occupa anche della OSS Transformation per i tool di progettazione di Rete, dell'inserimento in rete di nuove tecnologie, di Network Automation e Digital Transformation, collabora a progetti di ricerca con le Università dell'Aquila e di Firenze e cura la comunicazione interna della funzione ■



Sergio Augusto sergio.augusto@telecomitalia.it

diplomato in Telecomunicazioni presso l'Istituto Tecnico G. Vallauri di Roma nel 1982. Assunto in SIP nel 1983 si è occupato di valutazioni tecnico-economiche di nuove tecnologie nella rete trasmissiva a lunga distanza presso la Linea Centrale Pianificazione. Dal 1990 si è occupato di nuove tecnologie e sistemi per la rete di accesso a larga banda presso la Linea Centrale Tecnologie ed Architetture. Dal 1997 opera nel gruppo di Ingegneria dove ha seguito le attività di testing, redazione specifiche e norme tecniche delle tecnologie utilizzate nelle reti di backbone trasmissivo phoenix, kosmos, kaleidon e kaleidon 2 evolution. Attualmente è nella funzione Network & Services Engineering - IP, Transport & SDN Network ■



Valentina Brizi valentina.brizi@telecomitalia.it

laureata in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università La Sapienza di Roma nel 1998. Nello stesso anno ha iniziato a lavorare in Telecom Italia nella sede di Direzione Generale in Roma, nell'area di Sviluppo della Rete di Trasporto ed ha seguito lo sviluppo della prima rete SDH di lunga distanza e dei primi sistemi DWDM in Italia. Nella linea di Ingegneria ha continuato poi ad occuparsi delle attività di industrializzazione degli apparati e relativi sistemi di gestione utilizzati nella Rete di Trasporto Nazionale (SDH, WDM, OTN). Dal 2013 gestisce il progetto Transport Core, con la responsabilità di assicurare lo Scouting, l'Engineering ed il Testing delle tecnologie utilizzate nel Backbone trasmissivo di TIM, nelle reti kaleidon, kosmos, kaleidon 2 evolution e successive evoluzioni. E' autrice e co-autrice di diversi articoli tecnici e contributi pubblicati su riviste scientifiche internazionali o presentati a workshop e conferenze internazionali. Attualmente è nella funzione Network & Services Engineering - IP, Transport & SDN Network ■



Andrea de Carolis andrea.decarolis@telecomitalia.it

laureato con lode in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università La Sapienza di Roma nel 1999, ricercatore presso Agenzia Spaziale Europea, CoRiTel, CNIT e Università di Perugia è in Telecom Italia dal 2001. Ha lavorato in diverse funzioni sempre nell'ambito dell'ingegneria di Rete di Telecom Italia prima nella divisione Network Services della Rete, poi in Innovation & Engineering di Technology passando da TI-lab e successivamente in TIM. Lavora nella funzione Network & Services Engineering - IP, Transport & SDN Network, dove svolge il ruolo di "Network System Integrator" per la Rete Corporate occupandosi dell'industrializzazione dei componenti di rete, dell'integrazione delle attività del team nel contesto dei processi aziendali, della OSS Transformation per i tool di progettazione di Rete, dell'inserimento in rete di nuove tecnologie e della comunicazione interna della funzione ■

MANAGING COMPLEXITY: AUGMENTED INTELLIGENCE FOR 5G RADIO ACCESS DESIGN AND OPTIMIZATION

Simone Bizzarri, Paolo Gorla, Roberto Lanzo, Andrea Schiavoni

The challenges of 5G Radio Access Design

5G will enable a wide variety of applications leading to significant challenges for the evolution of Radio Access design methodologies. As an example, the exploitation of "Internet-of-Things" will extend connectivity requirements to any kind of device, in any possible position, from the underground (e.g. pipe monitoring, metering, etc) to

the sky (e.g. drones applications - see dedicated box "Design of Drone Ready Radio Access Network").

As a further challenge, frequency ranges are extended, both in terms of new available bands and in terms of aggregated bandwidth. As an example, frequency ranges auctioned in Italy in 2018 include 700 MHz band and 3700 MHz band, in the same frequency range of traditional mobile communication, ranging from hundreds up to thousands

MHz, but also 26 GHz, in the millimeter waves (mmW) band.

To cope with this fast evolution, a new approach to the whole mobile network planning, optimization, maintenance and management is required. In details, the following streams have to be addressed by the mobile network operator to manage and drive the changes:

- Evolution in coverage methodologies able to manage the use cases heterogeneity;

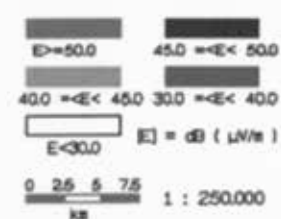
- Network optimization techniques evolution to manage new technological opportunities enabled, e.g. beamforming and MU-MIMO (Multi User MIMO);
- Automation, to manage complexity through an effective SON (Self Organizing Network).

Augmented intelligence, enabled by software aided methodologies and solutions, is considered by TIM a key factor to manage the above-mentioned challenges.

Background: propagation modelling up to 4G

Since the early '80s TIM, has developed internally its proprietary radio coverage planning tools to control the whole network design process. The propagation models used for cellular coverage estimation were based on *statistical methods* enhanced in precision through drive test *measurement campaigns*. A

basic assumption for these methods is the definition of *typical conditions* to characterize few different environments surrounding the user equipment, typically considered at ground level. The most known example of statistical models was described in 1968 by *Okumura*, whose paper [1] showed some propagation curves based on several measurement campaigns carried out in the years 1962-1965, and *Hata* [2] whose objective was to define an



SRB :
TORINO CENTRO
Cella : dd62
Lat. : 45 4 7 N
Long. : 4 46 36 W
Quota : 240 m
Alt. traliccio : 67.0 m
Frequenza : 900.0 MHz
Potenza in trasm. : 20.0 W
Perdite : 5.0 dB
Eirp : 79.6 W
Antenna : OMNI
Azimuth : 0.0
Tipo :
Costruttore :
Guadagno : 11.00 (dBiso)
Lobo a -3dB : 0.0 (gradi)
Centro di rappresentazione :
TORINO CENTRO
Diffraz. da ostacoli :
metodo di Epstein-Peterson

CSELT MR/P

1

From late 80s: CSELT Radio Propagation simulations activities at 900 MHz, described also in the Italian R&D program annexed to the first Digital Cellular Cooperation Agreement at the origins of GSM, 1987.

equation to analytically represent Okumura's propagation curves. Hata's equation can be considered a reference milestone, still valid to estimate the propagation loss in a radio mobile environment. The statistical macro-cellular propagation models mentioned before, in general, do not consider specific effects such as fluctuations of the radio channel, multi-path, outdoor-to-indoor penetration, etc. These effects are accounted through appropriate parameters, namely *margins*,

that are statistically characterized by means of measurement campaigns.

In the TIM's approach the original Hata equation has been updated, modified and tuned to increase its precision and to manage more detailed territorial information:

- The refraction phenomenon is considered by using the equivalent earth radius, since in the troposphere the propagation path is not parallel to the earth surface;

- The diffraction due to multiple obstacles is modelled by means of "knife edges" approach whose contribution depends on the material and is derived from dedicated measurements campaigns;
- The effect of buildings and green areas is calculated with empirical approach and depends on a detailed territorial classification (more than 100 classes with re-

spect to the standard environments Urban, Suburban, Rural). Deterministic approaches, such as Ray Tracing described in the next section, were introduced in the 70's – a large reference section can be found in [3], but – due to the challenging computational requirements – were limited to specific application, such as microcells coverage design or electromagnetic field exposure evaluation in proximity of antennas [4].

Intelligent ray tracing: an enabler for 5G Radio Design

When facing 5G radio design, propagation models have to evolve, in order to cope with the challenges mentioned in the introduction:

- Connectivity for any device, in any possible location, facing the extreme heterogeneity of 5G application scenarios.
- New Frequency Ranges: 5G technologies exploit frequencies that range from 0.7 to 70 GHz (even 100 GHz and beyond are going to be considered too), requiring a new approach to evaluate the electromagnetic field distribution in the environment, focused on deterministic models.
- New Antenna Systems: TVA (Time Variant Antennas) represent a relevant improvement in the 5G technology. Differently by traditional passive antennas, time variant antennas (or active antennas) change the radiation behavior depending on the user requirements, in terms of location and services, in order to optimize the whole system per-

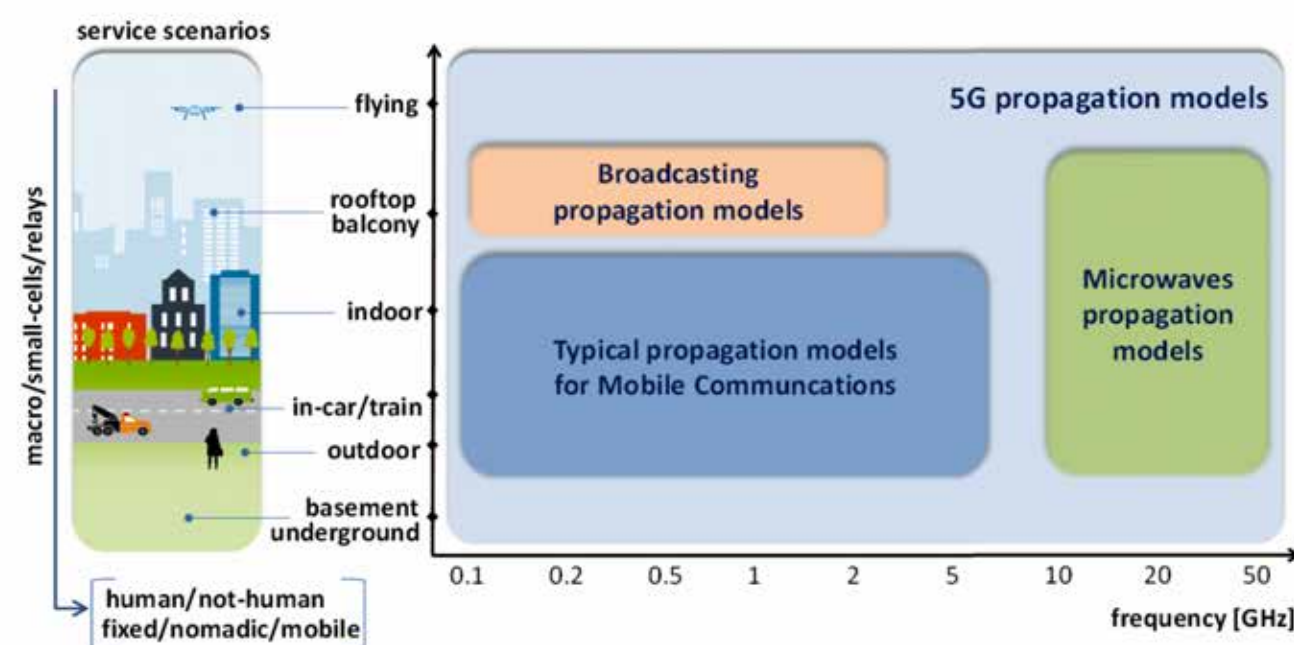
formances. The active antenna can modify, over the time, its radiation characteristics to deliver the field where it is needed, with the needed intensity, for the time needed. Time Variant Antennas require new approaches for the management of the SINR (*signal-to-interference-ratio*) and, consequently, the management of the quality of service.

Figure 2 shows the relationships between scenarios and propagation models in a 5G perspective.

In order to face all these issues, without using a plurality of models defined on a case-by-case basis (that would lead to operational

2

5G propagation scenarios and models





DESIGN OF “DRONE READY” RADIO ACCESS NETWORK

domenico.arena@telecomitalia.it
marco.gaspardone@telecomitalia.it
simone.piacco@telecomitalia.it

Nowadays, UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), commonly known as drones, are being proposed for main IoT (Internet-of-Things) scenarios: they are being used for several applications in real time video surveillance or environment monitoring, envisaged in the context of 5G ecosystems (verticals applications). These applications are typically limited when considering traditional dedicated point-to-point radio control, not suitable for a massive-UAV scenario: a cloud architecture based on

4G/5G mobile network can be the best solution to enable and optimize vertical services. More specifically, UAV can play the role of a mobile sensor node that collects data from target sites and transfer it to the cloud, exploiting all cloud computing capabilities. On the other hand, a cloud based architecture allows remotely to set and coordinate critical missions for connected UAV's. For this purpose, the UAV should relay both on good aerial wireless coverage and

radio resources management able to control interference and optimally allocate resources.

In 2018 TIM launched *Drones Ready Network* project, an activity aimed to characterize and optimize radio coverage also at drone altitudes, in order to guarantee high quality services, mainly in terms of throughput and latency.

In this framework, the capability of simulating mobile coverage, either for 4G and 5G networks, is a fundamental brick for the design of “drone ready” wireless networks. Thanks to proprietary IRT (Intelligent Ray Tracing) models, TIM is pioneering this field, exploiting advanced tools for the prediction of aerial coverage in connected drones scenario (3GPP UAV propagation models).

Ad hoc measurement campaigns were performed to validate and tune the UAV models in various propaga-

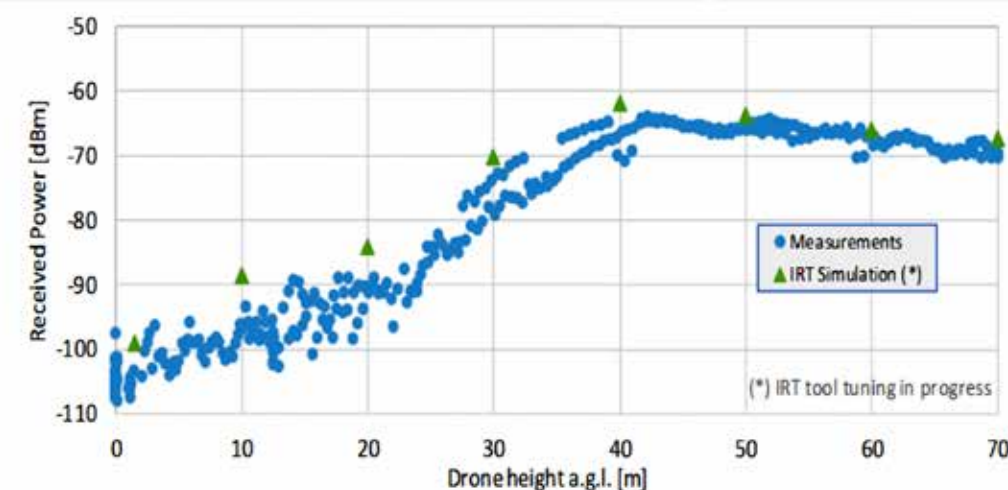
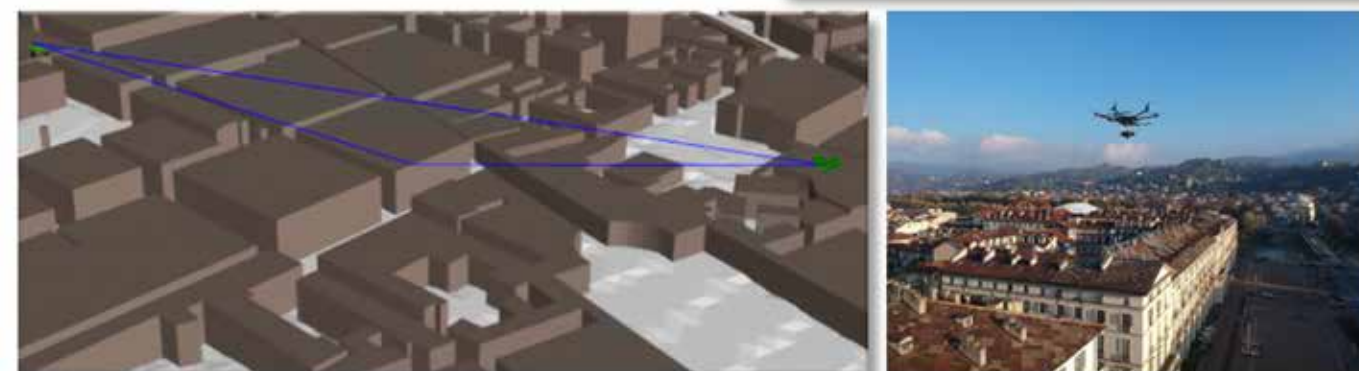
tion scenarios, focusing on urban areas where drones operations are more challenging. Good agreement between measurements and simulation was experimented.

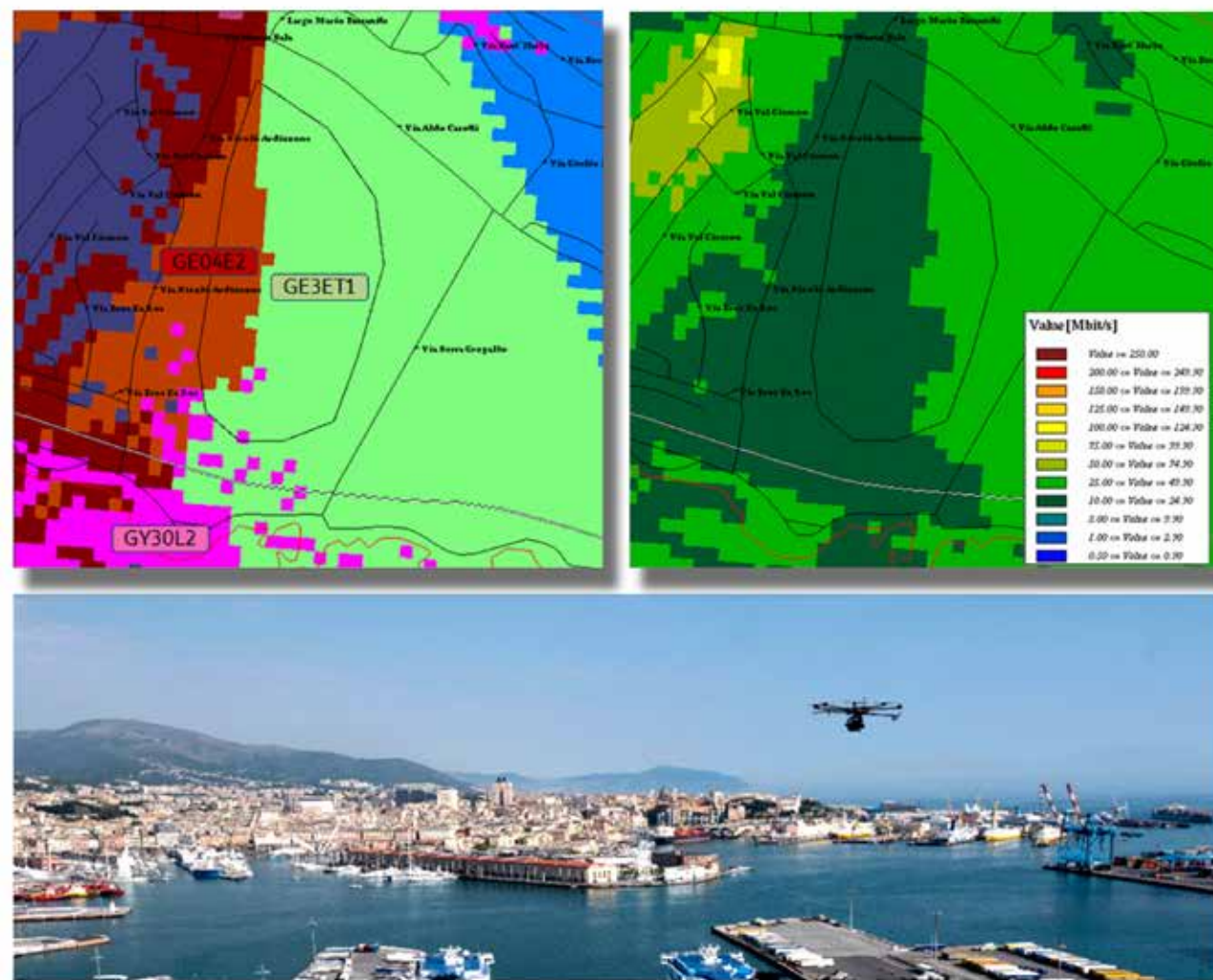
On the other hand, *Interference analysis* identified some potential issues in case of massive connected-UAV's scenario: significant uplink interference increase for “mobile ground users”, due to drone-to-ground transmissions impacting over wide areas.

For such a reason, overall network performance analysis focused on aerial users (e.g. in terms of up-link and down-link user throughput estimation) has to be

Continua→

A
DRNet ray tracing simulations and measurements campaign in Turin – November 2018





B
Liguria Digitale feasibility study and simulations: best server and throughput map @ 30 m a.g.l – May 2019

carried out, exploiting both simulations and measurements, including MDT (*Minimization of Drive Tests*) features, able to collect geo-referenced measurements directly from the drones. Active antennas will play an important role in this context, with the possibility of automatically generating specific beams directed towards aerial users.

The above summarized process was efficiently applied on a RT HD Environmental Monitoring UAV demo, into the framework of Liguria Digitale, as proof-of-concept for the incoming 5G use cases applicable in the future smart cities. Coverages and throughput maps both at ground and aerial levels were provided for preliminary feasibility study and localization of demo trial site ■

complexity), *deterministic approach* to field estimation has to be preferred, capable of characterizing the propagation on the base of the physical laws describing the interaction of the electromagnetic fields with materials, which represent a stable basis for analyzing the heterogeneous 5G scenarios. As a consequence, *ray-tracing* techniques have to be considered. Ray tracing is based on the characterization of the electromagnetic wave by mean of rays, namely the unit vector normal to the surface wavefront, that interacts with the environment by the basic electromagnetic mechanisms: reflection, refraction and diffraction. This approach requires a 3D representation of each object inside the scenario such as building, urban furniture, vegetation areas, terrain, etc, including permittivity and conductivity of each material. In general, the number of possible geometrically identifiable electromagnetic paths is very high. This is the reason why the ray-tracing approach is very reliable in terms of accuracy of the result at the cost of increasing computational resources as a function of the size of the scenario and its spatial definition. As a matter of fact, application of ray tracing to wide area scenarios with acceptable computational times is still a challenge for state-of-the-art propagation modelling tools.

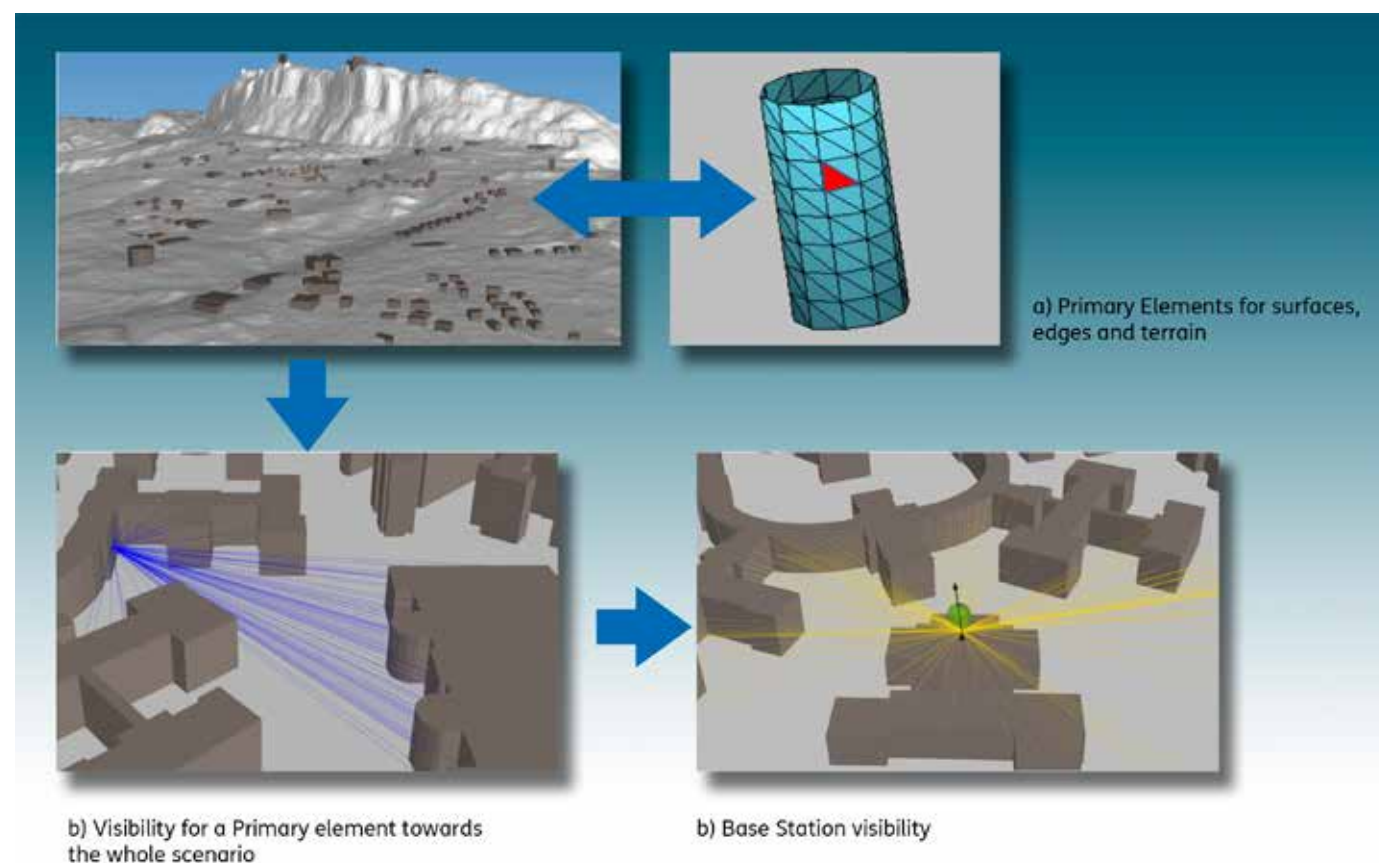
To cope with this complexity, TIM has developed internally a *full 3D ray tracer* based on the IRT (*Intelligent Ray Tracing*) approach [5], able

to operate accurately for any base station configuration, i.e. macro, micro, indoor, including outdoor-to-indoor propagation and considering also receiver characteristics on the user side. Computational time has been optimized using innovative optimization algorithms and approaches, some of those patented, which allow reasonable execution time even in large scenarios (in the order of some hundreds of square kilometers). The IRT approach can be described with three steps:

- 1. Creation of the environmental model:** the whole area is divided into PE (*Primary Elements*), with proper dimensions (related to frequency) and shape, that are rectangles, triangles and segments, *Figure 3a*. Result of the process is a 3D discretized representation of the scenario. The process can manage also different size primary elements to increase flexibility in the representation of each object.
- 2. Generation of the Optical Visibility Database:** Once the whole scenario has been discretized, the visibility relations among all couples of PE is determined, *Figure 3b*, only once. Until the scenario does not change, the visibility relations among paired tiles do not change, thus representing a geometrical invariant, that can be stored and re-used for analyzing different radio network configurations.
- 3. Base Station Positioning and field computation:** only the vis-

ibility relationships of the base station versus each PE must be calculated, since when a primary element is in view of the base station, the graph computed in the previous step can be used. The term visibility indicates the determination of all the paths, pre-determined in the previous step, that are in relationship according to the electromagnetic mechanisms of interaction (even for refraction) with the Base Station. Field level is then computed in each observation point by surfing on the visibility tree up to the base station, considering all the possible available paths. The electric field vectors related to each path are composed to derive the total field level in the point. Thanks to the information previously stored in the database, a reasonably low amount of computational resources are required for this step, leading to acceptable computational burden also in case of relevant areas under analysis (e.g. a major city). *Figure 3c* shows the rays originated by the base station towards all the primary elements in its visibility. Validation and calibration of the computational tools with measurement campaigns are fundamental to get the required and necessary reliability for the design of the radio access network.

Figure 4 shows the comparison between simulations and measurements in terms of the absolute received power as a function of floor



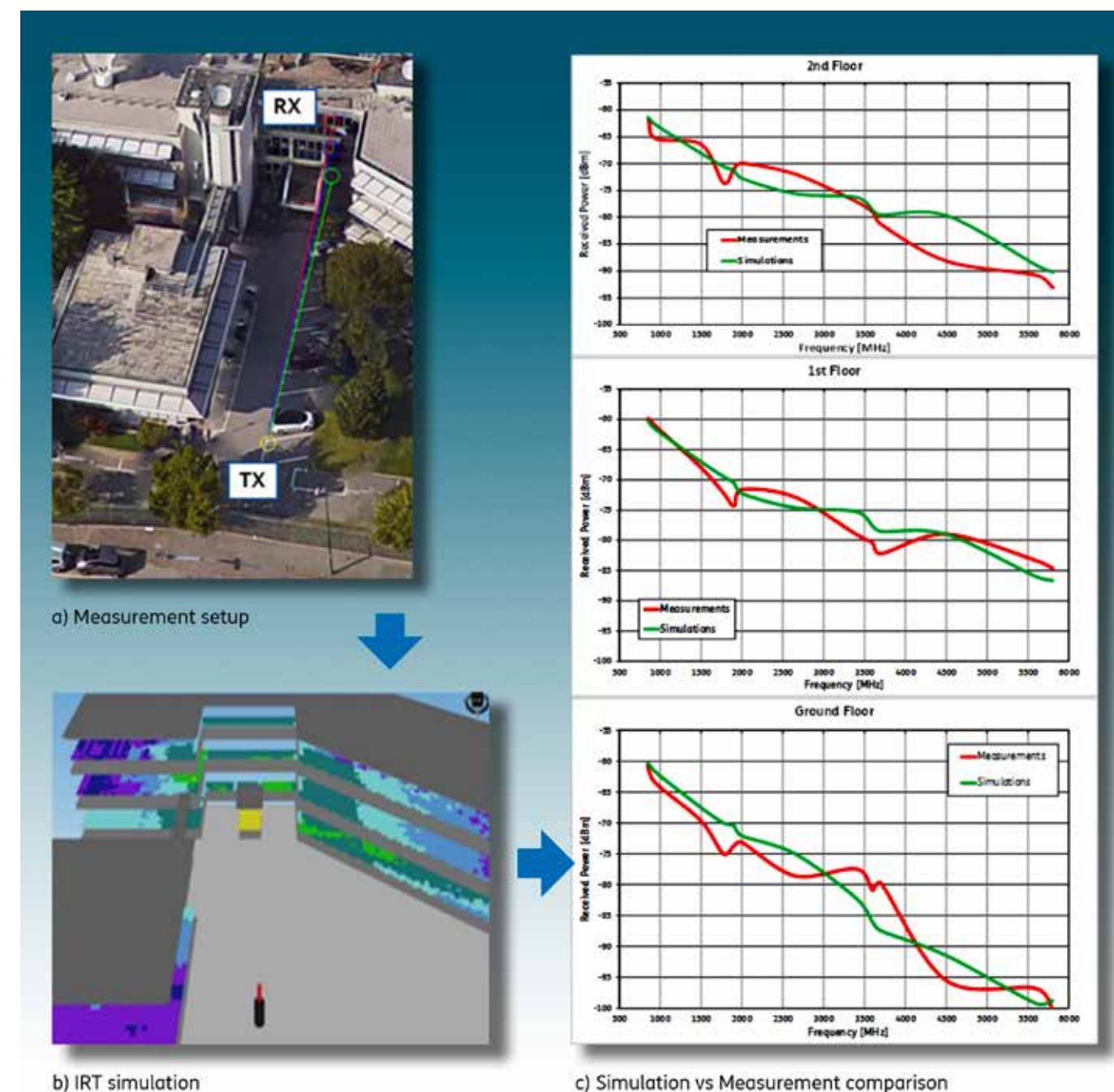
3

The three phases of Intelligent Ray Tracing (IRT) approach

5G Radio access design examples

Thanks to the flexibility and the effectiveness of the adopted approach, IRT model was integrated in TIMplan radio design tool, developed in house by TIM and exploited during 5G TIM trials, assessing both LTE Advanced and NR (New Radio) coverage, both contributing to the 5G service, when considering NSA (Non Stand Alone) options defined by 3GPP. Figure 5 shows different examples of field estimation related to TIM Trials in Torino, San Marino and Matera, addressing scenarios with complex orography.

Figure 6 shows simulation examples related to FWA (Fixed Wireless Access) applications at 3.7 GHz in urban scenario: IRT model can estimate SINR levels also inside buildings, considering refraction and material properties. Different hypothesis for CPE (Customer Premises Equipment) are compared through simulations: indoor installation with omnidirectional antenna, considering outdoor-to-indoor propagation; outdoor installation with omnidirectional antenna and with directive antenna optimized considering base station position, the latter case showing the best performance in term of user throughput, directly related to SINR level.



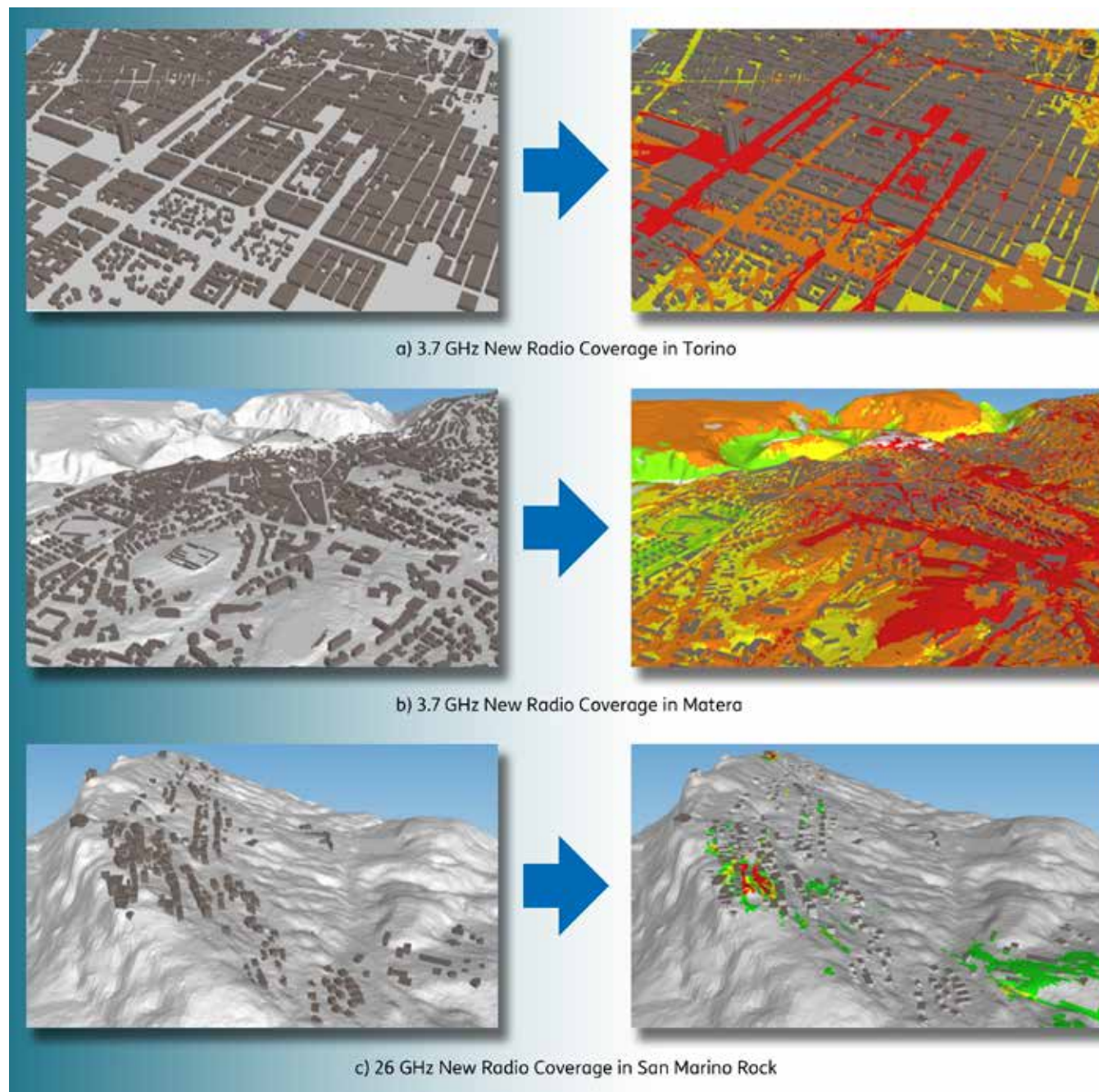
5G radio access automation and optimization: towards AI

As already mentioned in the introduction, one of the most impacting

technologies characterizing 5G is the usage of TVA (Time Variant Antennas) able to change, in real time, the radiation performances and, consequently, the coverage. This kind of capability requires active antenna arrays with a relevant number of

4

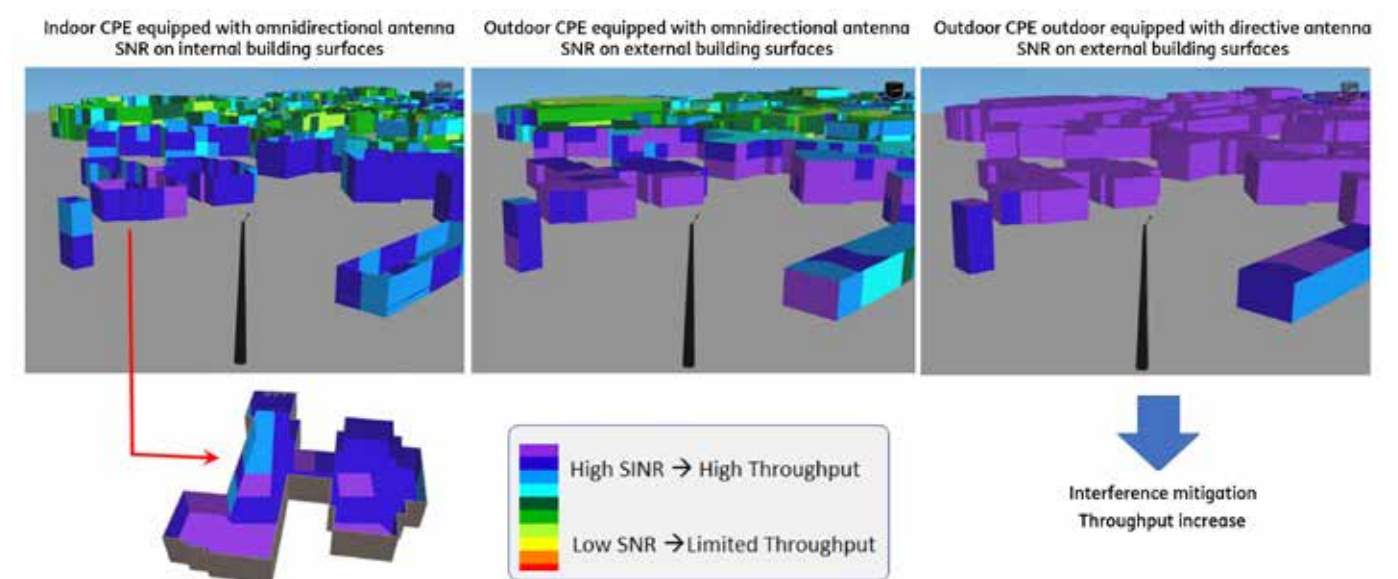
Verification of IRT model with outdoor-to-indoor measurements: simulations and measurements as a function of floor and frequency



5 5G Radio access design examples exploiting IRT modelling

Transmitters (T) and Receivers (R): antennas with 64 T and 64 R, as an example, are being exploited in TIM Trials. Antenna arrays enables MU-MIMO (*Multi User Multiple Input Multiple Output*), where each antenna element transmits a portion

of the payload that is recomposed at receiver level, making use of the spatial diversity. An example of coverage generated at 3.7 GHz by two dedicated traffic beams of a Time Variant Antenna is depicted in *Figure 7*.



6 Coverage for NR 3.7 GHz for Fixed Wireless Access Scenario in urban area

7 Coverage at 3.7 GHz generated by two dedicated traffic beams of a Time Variant Antenna in Turin downtown



ENABLING SOFTWARE INTELLIGENCE ALL OVER THE WIRELESS ACCESS: THE O-RAN INITIATIVE

andrea.buldorini@telecomitalia.it
marco.caretti@telecomitalia.it
gianmichele.dellaera@telecomitalia.it
salvatore.scarpina@telecomitalia.it

Open RAN Alliance (<http://www.o-ran.org>) is an industry initiative resulting from the merging between xRAN Forum with the C-RAN Alliance, with the objective to form a world-wide, 'carrier-led' effort to push more openness into the radio access network of the next-generation wireless systems. It is supported by AT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, NTT DOCOMO, Orange, Verizon and TIM and other telco operators.

The openness of network architecture and interfaces is carried out in two main tracks:

1. Defining implementation requirements by means of "profiles" defined on top of Specifications provided by the relevant Standard Development Organizations, like 3GPP, so that multi-vendor interoperability of RAN functions is ensured. This aspect

involves both functional interfaces and management interfaces

2. Introducing new functions and interfaces to centralize the key radio resource management functions in a RIC (RAN Intelligent Controller) interworking with the existing RAN functions (e.g. gNB-CU and DU) where customized algorithms, empowered by the adoption of Artificial Intelligence / Machine Learning techniques, can be designed and implemented as Cloud Native Applications.

Near Real Time RIC exposes RAN capability and resources towards the Management and Orchestration layer over A1, an "intent-based" interface used to instruct RAN with performance targets and Radio Resource Management policies. The new A1 interface will complement Network Management and Orchestration O1 interface providing fault-management, configuration, accounting, performance, and security (see figure).

The enforcement of RAN policies is then performed by coordinating resources and algorithms in the RAN functions as defined in the 3GPP RAN Architecture, i.e. CU-CP, CU-UP and DU. In addition to 3GPP architec-

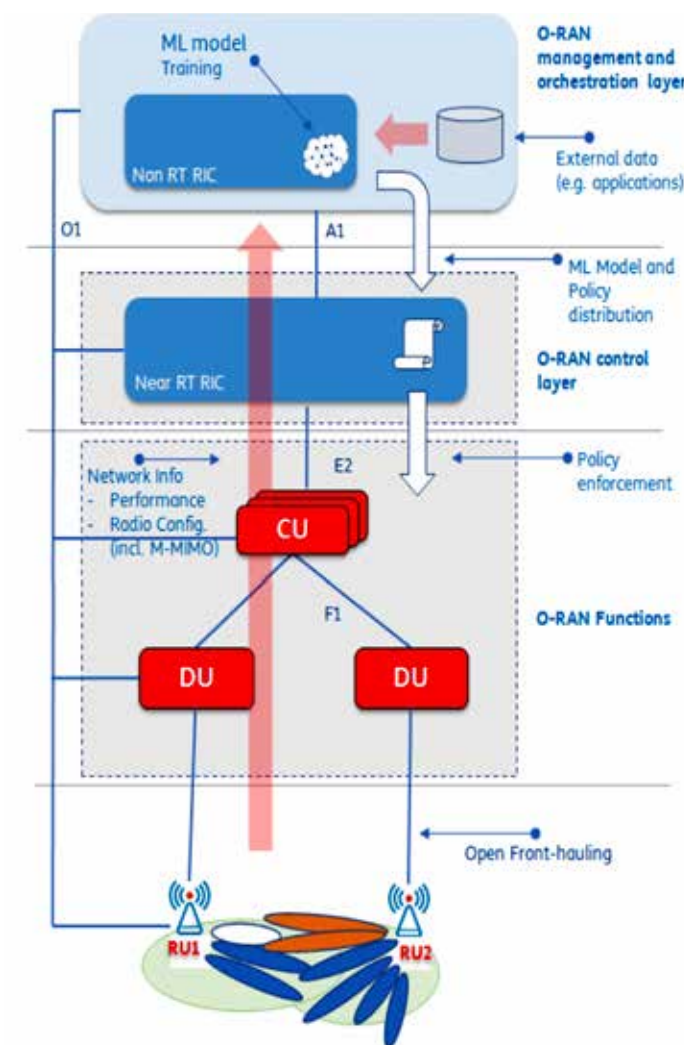
ture, O-RAN architecture introduced a further functional split of the Layer 1 protocol stack in the DU over an Open Fronthaul interface, resulting in the separate O-DU and O-RU functions.

The modular, open, intelligent, efficient, and agile disaggregated radio access network resulting from the O-RAN reference architecture is expected to facilitate the exploitation of Hardware/ Software separation and the adoption of open source solutions.

With this aim, the "O-RAN Software Community (SC)" (www.o-ran-sc.org) was created as a collaboration between the O-RAN Alliance and Linux Foundation with the mission to support the creation of software for the RAN (Radio Access Network). The O-RAN SC plans to leverage other LF network projects, while addressing the challenges in performance, scale, and 3GPP alignment. Coordination and synergic effort is also expected towards ONAP and 3GPP with particular focus on Network Management and Orchestration architectures and platforms.

The use case "3D MIMO Beamforming Optimization", proposed in O-RAN by TIM, Orange and CMCC is an example of how 5G M-MIMO capability can be exploited to adapt the network coverage and capacity based on service requirements and traffic distribution (see figure):

- a dedicated function (Non Real Time RIC) in the management layer retrieves necessary configurations, performance indicators, measurement reports and other data from Configuration and Performance Management for the purpose of constructing/training relevant AI/ML models. Moreover other information from the application layer (e.g. GPS location of users) and mobility pattern predictions can be used to enrich the model;
- the trained AI/ML model is transferred to the near-Real Time RIC and may be used to infer the user distribution of multiple cells, and predict the optimal configuration of radio resources and M-MIMO parameters for each cell according to a global optimization objective designed by the operator;



O-RAN Architecture: Example Use Case "3D MIMO Beamforming Optimization"

- optimal beam pattern configuration and/or policy are then applied by changing the configuration in the affected CU/DU/RU;
- the fulfillment of the network performance is checked against the new targets and the adopted configurations. Periodic model retraining and policy adjustment is then performed to cope with the dynamic nature of the traffic and the user distribution ■

TVA and MU-MIMO are significant examples of the complexity behind 5G mobile network and corresponding functionalities, where configuration parameters increased compared to 4G and to previous mobile generation, making more and more challenging the identification of optimal parameters' set.

In this field, ML (*Machine Learning*) approach can play a relevant role in defining optimization methodologies and algorithms: ML applications provide systems the ability to automatically "learn and improve from experience without being explicitly programmed" (as stated by Arthur Samuel, pioneer in the field of artificial intelligence), and this could really become beneficial in contexts where many degrees of freedom lead to huge number of combinations, like the one of select-

ing e.g. the optimal beam(s) and power level(s) configuration of a 5G cell at each transmission interval.

As represented in *Figure 8*, training of ML-based models can be based on the collection of several network configurations together with corresponding network performances and traffic distribution on the territory, in order to predict network behavior. Once trained, ML-based models can be deployed in the network in order to derive the optimal antenna and radio resource configuration, starting from the observation of the status of relevant network variables (in closed loop and in near real time).

In particular, Deep Neural Networks (DNN) and deep reinforcement learning techniques might become the basis for defining both prediction and optimization functionalities.

Adoption of ML-based algorithms lead to the necessity of dedicated monitoring functions able to control the level of ML performance (accuracy). In case of accuracy degradation detection, a re-training process can be activated, in order to align the model with the new scenario characteristics.

An exemplary flow diagram for exploitation of ML in radio network optimization is shown in *Figure 8*.

Considering the exemplary flow diagram in *Figure 8*, the ML-based model is built using network modelling, e.g. based on the models described in the previous sections, as an input. Once the model is available, it is deployed in the network and exploited by the SON-RAN Orches-

trator functionality SON-RAN Orchestrator is a key building block of TIM RAN automation architecture, exploiting open interface, through network management systems, to enable closed-loop operation towards the network nodes.

The need for smarter optimization capabilities, together the continuous increase and extension of mobile traffic to be served by the networks, make necessary that mobile networks and related equipment become more software-driven, virtualized, flexible, intelligent and energy efficient, towards a fully automated radio access network.

More in particular, the introduction of virtualized network elements, based on software able to run on generic COTS (*Commercial Off-the-Shelf*) hardware with open and standardized interfaces and, will enable a more cost-effective and agile RAN operations. In this scenario, real-time analytics driving ML modules, embedded both in the access network and in the operator's management systems, will empower network intelligence.

All these pillars are addressed by the O-RAN (*Open RAN*) Alliance (see dedicated box), that is committed to lead the evolution of radio access networks making them more open and smarter than previous generations:

- **Openness in both interfaces and software:** O-RAN defines open interfaces between any component and layer in access network, enabling multivendor deploy-

ments - that increase competition in the supplier ecosystem - and allowing quick introduction of new services and functionalities or specific network customizations; in addition, open source software and hardware reference designs enable faster innovation.

- **Intelligence everywhere:** in O-RAN architecture intelligence is embedded in every layer and element, leveraging new ML-based technologies to automate operational network functions and, thus, enabling both dynamic local radio resource allocation and networkwide optimization, towards a real optimized closed-loop automation for network operations.

Referring to the TVA and MU-MIMO exemplary case, O-RAN open interfaces, up to front-hauling (i.e. link between antenna and radio signal processor), enable a flexible multi-vendor software architecture where ML-based optimization logics can be provided by specialized companies or even developed by the operator itself. Considering the exemplary scheme of *Figure 8*, the role of SON-RAN Orchestrator in the figure can be associated to the RIC (*RAN Intelligent Controller*) defined by O-RAN (see specific box).

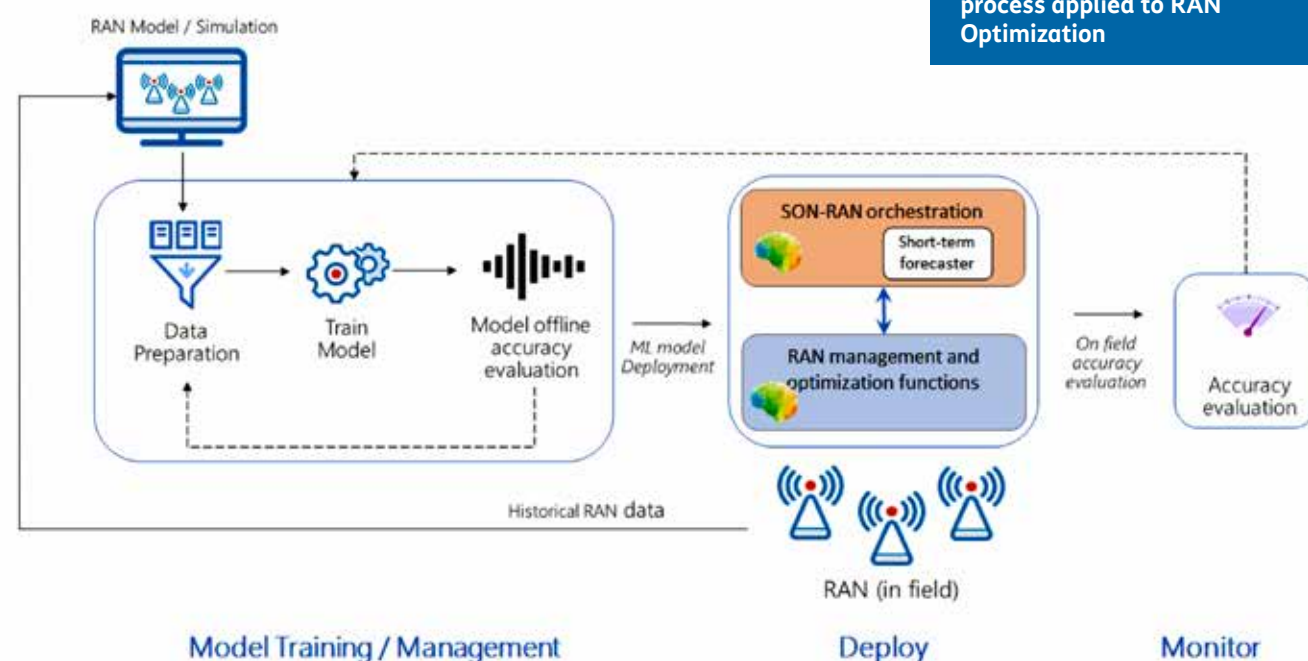
In this context, the active antenna itself can evolve into "a sensing device" able to analyze the dynamicity of the service requirements for the specific scenario where the antenna is deployed. The capability of changing the radiation pattern and

tracking users allows the system to generate a distribution map, over the time, of the service requests that can be used to understand, analyze and optimize the service over that specific territory in the time, automatically. The antenna itself becomes "able to learn" from the territory over the time: new KPIs (Key Performance Indicators) can be defined able to support innovative optimization algorithms for e.g. interference management, peak performance management, cooperation with neighboring cells. An example of intelligent network node is described in [6].

The capability of the TVA in shaping the beam and to direct the field can be also exploited to mitigate electromagnetic field exposure. The antenna can be instructed to limit and to prevent exposure in defined sensible directions, while maintaining the capability of beam shaping and performances, by making use of SON algorithms, exploiting Machine Learning.

In general, ML techniques in order to provide good models and algorithms require that input data used for training models are carefully identified and reinforcement criteria are appropriately defined and weighted. In this context, TIM is currently involving radio optimization experts on the definition of ML-based optimization algorithms: the "knowledge mix" between digital skills (data science, agile software development, cybersecurity) and wireless communication skills

8 Machine Learning exemplary process applied to RAN Optimization



(radio-propagation, antenna systems, radio resource management) is fundamental to unleash the potential of ML for the evolution of

5G radio optimization and automation. «Augmented intelligence is designed to augment the intelligence and knowledge of the individual

and assist decision making and further knowledge acquisition, not to replace the person with an artificial system” [7] ■

References

- [1] Okumura Y, Ohmori E., Kawano T., Fukuda K., “*Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service*”, Rev. of the Electrical Communication Laboratory, Vol. 16, N.9-10, pp. 825-873, 1968
- [2] Hata M., “*Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service*”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 29, N. 3, 1980
- [3] Yun Z., Iskander F. I., “*Ray Tracing for Radio Propagation Modeling: Principles and Applications*”, Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2015.2453991
- [4] Bastonero S., Brunello F., Disco D., Gambin D., Gianola P., Scotti R., “*Tool for Electromagnetic Field Computation in Proximity of Radio Base Stations*”, IV Int. Symp. On EMC and Electromagnetic Ecology (EMC-2001), St. Petersburg, Russia, June 2001
- [5] Wolfle G., Gschwendtner B.E., Landstorfer F.M., “*Intelligent ray tracing-a new approach for field strength prediction in microcells*”, 1997 IEEE 47th Vehicular Technology Conference. Technology in Motion
- [6] WO2017/178038, Radio access network node for a telecommunication network, 19/10/2017
- [7] The Future X Network, Bell Labs



Simone Bizzarri simone.bizzarri@telecomitalia.it

ingegnere elettronico entra in Azienda nel 1993 occupandosi di comunicazioni via satellite. In questo ambito partecipa, nel 1995, al progetto Iridium. Dal 2001 fa parte dell'area di Radio Planning Innovation della funzione Wireless Network. In questo contesto si è occupato degli aspetti di QoS in ambito radiomobile collaborando alla realizzazione di un sistema prototipale per il monitoring della QoS di utente tramite l'uso di agent installati sui terminali radiomobili; da tale attività ne è derivata la produzione di alcune domande di brevetto. Sempre in ambito QoS ha seguito l'attività finalizzata alla definizione e al calcolo di KPI di rete di accesso radiomobile. Dal 2007 si occupa delle problematiche relative alle Self Organizing Networks in ambito radiomobile e partecipa alle attività del working group 3GPP SA5 (gruppo di lavoro che, in ambito 3GPP, è responsabile delle procedure di Operation and Maintenance) ■



Paolo Gorla paolo.gorla@telecomitalia.it

ingegnere delle telecomunicazioni, entra in Azienda nel 2000. Ha focalizzato le proprie attività sulle metodologie di ottimizzazione e gestione dell'accesso radio, la valutazione delle performance mobili e l'evoluzione verso l'automazione e virtualizzazione di rete, partecipando anche a progetti finanziati italiani ed Europei relativi a tali tematiche (es. ARROWS, EVEREST, E2ER, E2ER-II, E3). E' stato delegato TIM nei gruppi di standard ITU-R WP8A/WP5A (2007-2010) e 3GPP RAN WG4 (2009-2017) ed è coautore di diversi articoli e brevetti nell'area delle comunicazioni mobili e dell'ottimizzazione radio. Attualmente guida il progetto “Open SON and Access evolution” focalizzato al dispiegamento ed alla evoluzione del SON e degli Element Manager di accesso nella rete TIM ■



Roberto Lanzo roberto.lanzo@telecomitalia.it

laureato in Ingegneria Elettronica ho iniziato a lavorare in Azienda nel 1991. Mi sono occupato da subito di temi inerenti la progettazione di reti cellulari e lo sviluppo di modelli e metodologie per la previsione di copertura, utilizzati sia in Italia sia all'estero. A partire dagli anni 2000 ho guidato l'evoluzione di TIMplan, lo strumento di progettazione della rete di accesso radio di TIM, seguendo l'evoluzione delle tecnologie dal 2G al 5G. Attualmente ho la responsabilità del progetto “Network Management Tools & Methodologies Coordination” e della valorizzazione e crescita delle relative risorse ■



Andrea Schiavoni andrea.schiavoni@telecomitalia.it

laureato in Ingegneria Elettronica e dottorato di Ricerca in Compatibilità Elettromagnetica entra in Azienda nel 1993. Sin dall'inizio si è occupato di esposizione al campo elettromagnetico dei terminali del servizio radiomobile attraverso metodologie computazionali e con lo sviluppo ed accreditamento del laboratorio di qualifica SAR. È stato responsabile del progetto di qualifica radio dei terminali mobili. Attualmente si occupa di aspetti relativi alle antenne tempo varianti e all'esposizione al campo elettromagnetico da stazioni radio base. È co-chair di IEEE P.1528.7 - Guide to Assess the Electromagnetic Field Exposure of IoT Technologies. È membro di IEC TC106 e IEEE ICES TC34 ■

CLIMA, MDT E MACHINE LEARNING PER OSSERVARE IL COMPORTAMENTO DELLE CITTA'

Davide Micheli, Giuliano Muratore, Aldo Vannelli

La vista privilegiata offerta dalle misure radiomobili MDT rappresenta un valore anche per lo studio degli impatti ambientali e dei relativi riflessi sui comportamenti sociali.

Il lavoro di ricerca analizza possibili correlazioni tra eventi meteo di piovosità e variazioni sia nella distribuzione delle persone sul territorio sia nelle misure radio effettuate dai terminali mobili. La ricerca è stata svolta analizzando misure MDT 2019 dell'Emilia Romagna e 2018 del Veneto, confrontando giornate e momenti climaticamente differenti. Viene mostrata una modalità di misura di entrambe le tipologie di variazioni indotte dal clima, la variazione comportamentale degli utilizzatori, attraverso la misura dell'entropia posizionale, e la variazione di parametri fisici, attraverso la misura del RSRP (4G LTE Reference Signal Received Power). Viene infine presentata l'opportunità, offerta dall'innovazione MDT, che tali tipologie di analisi proiettano sia per lo studio degli effetti dei cambiamenti climatici nelle nostre città sia per l'evoluzione del business degli Operatori.

Introduzione

Lo standard 3GPP MDT (*Minimization of Drive Test*) [1-4] offre la possibilità di raccogliere le misure radio che il terminale mobile effettua sia quando sta utilizzando una connessione (Connected Mode) sia quando si trova in uno stato di attesa (Logged Mode), il tutto abbinato alle coordinate GPS, qualora disponibili, della posizione nella quale è stata effettuata la singola misura.

La diffusione sul territorio dei telefonini e la numerosità stessa delle misure anonimizzate MDT permette di costruire una base dati di sufficiente validità statistica, aspetto rilevante per studiare l'influenza delle precipitazioni atmosferiche sulla distribuzione del traffico e sul livello di segnale ricevuto dai terminali mobili. Tipicamente si considera trascurabile l'effetto delle precipitazioni sulle comunicazioni mobili, alle usuali frequenze tra 800 MHz e 2,7 GHz, in quanto facendo riferimento all'attenuazione della pioggia essa risulta molto bassa, come riportato dalle raccomandazioni ITU [5-8]. Tuttavia, rispetto ai collegamenti punto-punto, la telefonia mobile, specie all'interno delle città, è caratterizzata dalla presenza di cammini multipli dei segnali radio [9]. Ciò influisce sulla propagazione elettromagnetica e, quando l'ambiente diventa bagnato, si alterano le caratteristiche dielettriche superficiali del suolo, delle pareti, degli edifici, dei tetti, del fogliame, delle auto ed in generale di tutte le superfici

incontrate. Altri autori hanno effettuato considerazioni sull'effetto della pioggia. Ad esempio Rogers et al. [10], evidenziano come le proprietà dielettriche degli alberi variano da stagione a stagione in funzione anche della salinità dell'acqua nelle precipitazioni atmosferiche. Li et al. [11] mostra come la permittività elettrica equivalente della pioggia dipende sia della frequenza di lavoro sia dal tasso di piovosità.

S. Helhel et al. [12] riportano uno studio con misure a 900 MHz e 1800 MHz mostrando come globalmente, l'ambiente bagnato circostante formato da suolo ed alberi riduce il valore del segnale radio ricevuto di qualche dB.

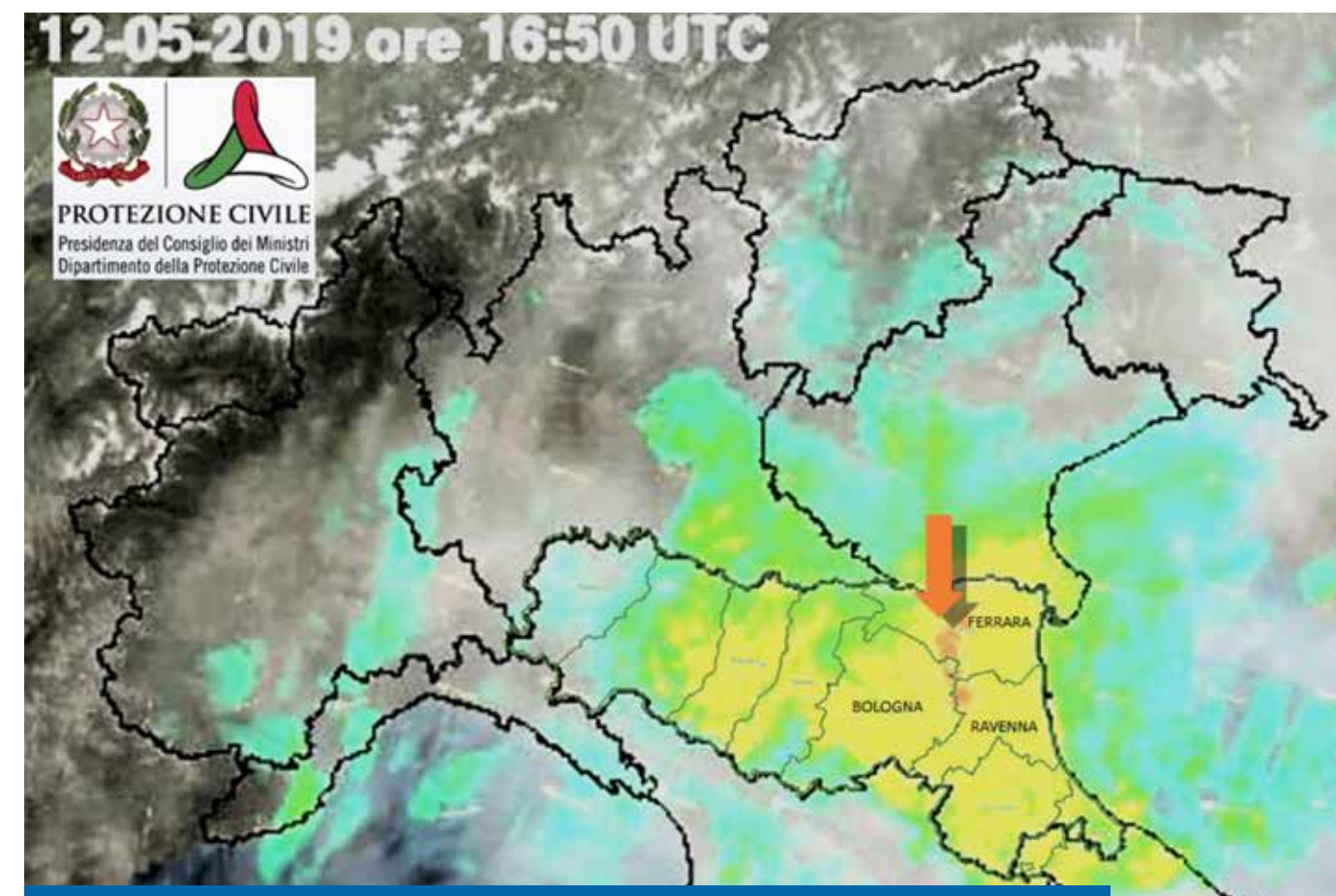
La novità della ricerca presentata in questo articolo è l'utilizzo di una grande quantità di misure generate da terminali mobili. I terminali mobili sono infatti a tutti gli effetti strumenti di misura del campo elettromagnetico ed il fatto che, con MDT, si disponga di un elevato numero di misure geolocalizzate, consente poi di applicarvi analisi statistiche e modelli per isolare i singoli effetti ipotizzati ed individuare i riscontri cercati, in scenari di traffico reale. L'articolo mostra che le condizioni meteo possono influire già alle frequenze portanti oggi utilizzate nelle reti radiomobili 2G, 3G e 4G (800-1800-2600 MHz), ma alcuni degli effetti evidenziati in questa ricerca saranno ulteriormente osservabili sulle reti 5G, quando cioè si utilizzeranno frequenze portanti superiori (onde millimetriche), fre-

quenze maggiormente influenzate dalla presenza d'acqua. L'evoluzione verso il 5G non potrà quindi prescindere dallo sviluppo di soluzioni SON (*Self-Organising Network*), per rendere le infrastrutture in grado di misurare costantemente, e quindi poi adattarsi dinamicamente, alle variazioni dovute ad eventi meteorologici, il tutto al fine di mantenere al livello desiderato la qualità della rete radio.

L'articolo è suddiviso in quattro sezioni principali. Nella prima sezione si analizzano dati Meteo dell'Emilia (Bologna), in relazione al tema dell'entropia posizionale. Nella seconda sezione si analizzano dati Meteo del Veneto (Padova) in relazione al tema [9] del livello di segnale ricevuto. Nella terza sezione si discute delle potenzialità che gli studi basati su MDT proiettano anche per le analisi sulla vita e sull'evoluzione della città. I dati MDT trattati in questo articolo sono stati collezionati tramite il sistema Geosynthesis (Nokia). Nella quarta sezione si riflette su come l'evoluzione tecnica delle reti e gli strumenti d'analisi oggi a disposizione finiscano per influenzare il ruolo stesso dell'Operatore.

Meteo dell'Emilia ed Entropia posizionale

Il mese di maggio 2019 è risultato un mese climaticamente eccezionale per l'Italia, con diversi episodi di maltempo un po' su tutta la penisola



1

Fotogramma tratto da immagini radar pubblicate dalla Protezione Civile. Poco prima delle 18:00 (16:50 UTC+2H, per ottenere l'ora Italiana) si è formato un forte nucleo temporalesco (la macchia rossa, evidenziata dalla freccia) all'incirca al confine delle province di Bologna, Ferrara e Ravenna. Quel forte nucleo temporalesco si è poi rapidamente spostato verso ponente, prima di perdere intensità.

la, spesso durante il fine settimana. Ed è proprio un fine settimana che viene qui esaminato, in particolare la domenica 12 Maggio 2019, caratterizzato da fenomeni meteo anche intensi che hanno interessato la regione Emilia Romagna, come si evince anche dal fotogramma di Figura 1 (elaborazione basata su un'immagine radar della Protezione Civile), in un contesto meteorologico che ha presentato rapide successioni di momenti precipitativi e

momenti di pausa un po' in tutta la regione in esame. Nelle stesse giornate risultava attiva anche una campagna di misure MDT 4G del cluster (insieme di Celle 4G LTE) di Bologna, per cui è risultato possibile studiare gli effetti di quel nucleo temporalesco sulla distribuzione del traffico telefonico nella zona. L'importanza dello studio di queste variazioni dipende dal fatto che la copertura radioelettrica di un territorio è solo idealmen-

te considerabile uniforme in tutte le posizioni, poiché nella realtà il segnale radioelettrico ha punti di emissione specifici (le antenne) ed inoltre è ovunque sottoposto ad attenuazioni, riflessioni e rifrazioni che alterano il livello del segnale nei singoli punti di un territorio. La qualità dei servizi varia quindi anche in funzione del dove effettivamente i servizi vengono utilizzati, ed a sua volta il dove (vengono utilizzati i servizi) può essere influen-

zato dall'ambiente, e dalle sue variazioni.

È intuibile che in situazioni di tempo caldo e stabile uno spazio pubblico possa essere occupato con modalità differenti rispetto ad una situazione piovosa, specie se molto intensa, durante la quale l'occupazione di singoli luoghi più riparati dall'intemperie può improvvisamente diventare una posizione di utilizzo dei servizi molto più probabile di altre.

Essendo in linea teorica moltissime le possibili distribuzioni di posizioni lungo un territorio diventa rilevante individuare una modalità di misura delle distribuzioni che sia ad un tempo oggettiva, rapidamente ricavabile dai dati radio e comunque ancora indicativa dei diversi scenari (complessivi) d'utilizzo dei servizi. Viene incontro a questa esigenza riassuntiva di fenomeni complessi il concetto di entropia, concetto emerso in Fisica per rappresentare in modo sintetico lo stato di maggiore o minore ordine di un sistema composto di moltissime componenti, componenti che nel nostro caso non saranno le particelle fisiche ma

lo sciame di terminali che accedono ed utilizzano servizi radiomobili.

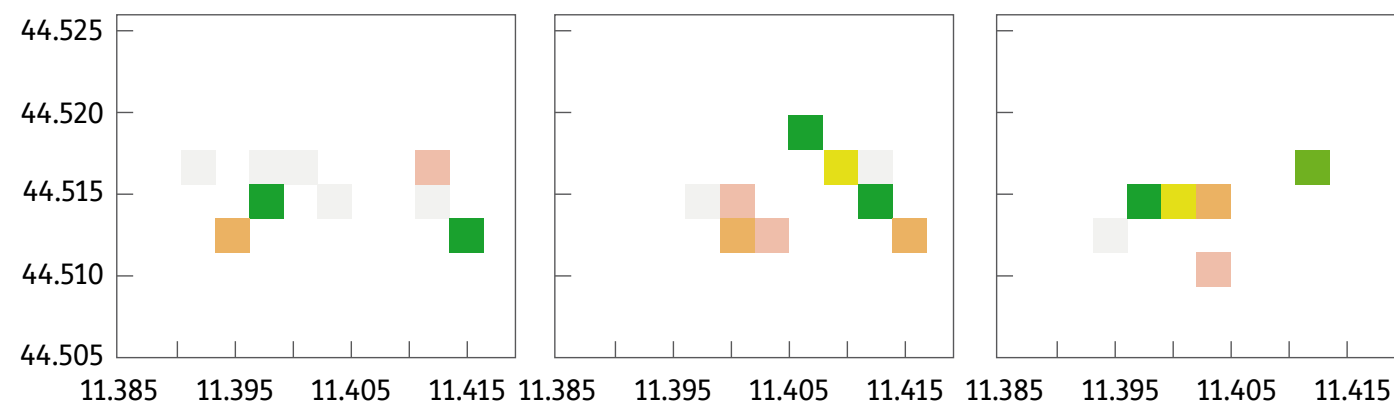
Parleremo quindi di entropia posizionale, una rappresentazione numerica semplice di quanto lungo un territorio gli utilizzatori di servizi radiomobili tendano più ad essere "caoticamente dispersi" (in tutte le posizioni possibili) o, al contrario, tendano più ad essere "ordinatamente raccolti" intorno ad alcune posizioni specifiche.

Passando ad un esempio illustrativo relativo all'area emiliana in esame viene analizzato un rettangolo (5 km di diagonale) di territorio che circonda il centro commerciale Meraville di Bologna (Viale Tito Carnacini). Questo tipo di area rappresenta infatti un luogo ad un tempo sufficientemente frequentato (nelle ore di apertura), per poter così disporre di misure statisticamente significative, ma anche un luogo molto accessibile e con pochi vincoli posizionali, essendo un centro commerciale tipicamente dotato di ampi parcheggi e di varie strade di accesso e deflusso.

Il rettangolo di territorio anzidetto è stato quindi idealmente suddiviso in 48 *mattonelle* identiche, a ciascuna delle quali diventa così possibile associare il numero di misure radio ivi generate, entro uno specifico intervallo temporale (scelto di 5 minuti). Ecco quindi che la distribuzione delle misure radio nella zona può così essere trasformata (vedi *Figura 2*) in una sequenza di "fotografie" che rappresentano le varie *mattonelle*, ciascuna più o meno popolata, di momento in momento.

La suddivisione (rasterizzazione) delle presenze entro le *mattonelle* può infine tramutarsi in un vettore (un elenco di numeri), ove ogni

2
Esempio di rasterizzazione delle misure nella zona del Centro Commerciale Meraville (Bologna). Ogni riquadro rappresenta un intervallo temporale di 5 minuti, ed i diversi colori la densità di misure in una *mattonella* (il colore più scuro indica una densità maggiore, quello più chiaro una densità minore).

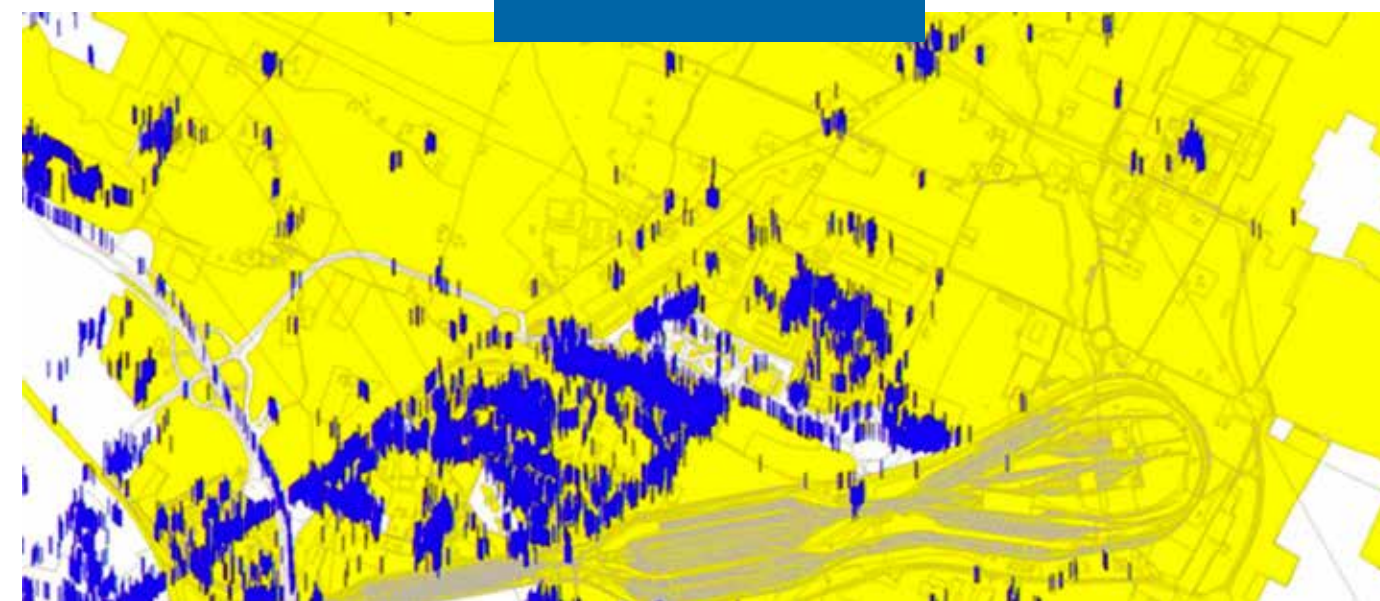


posizione del vettore rappresenta una delle varie *mattonelle*, ed in ciascuna *mattonella* (posizione del vettore) vi compare il conteggio delle misure radio in quella specifica *mattonella* (in quel momento). Nell'esempio in esame sono state conteggiate nelle *mattonelle* solo le misure radio associabili a spostamenti a bassa velocità (minore di 5 km/h), puntando ad isolare gli spostamenti di tipo pedonale (che sono più liberi di occupare qualsiasi porzione di territorio) da quelli stradali (più vincolati alle strade ed alle direzioni obbligate).

Di ciascun vettore (che rappresenta le *mattonelle* entro un singolo intervallo temporale) è poi possibile misurare (avvalendosi degli strumenti di Teoria dell'Informazione) esattamente quanta informazione quel vettore contiene cioè, per esempio, quanti bit informativi servirebbero per descriverlo nella sua

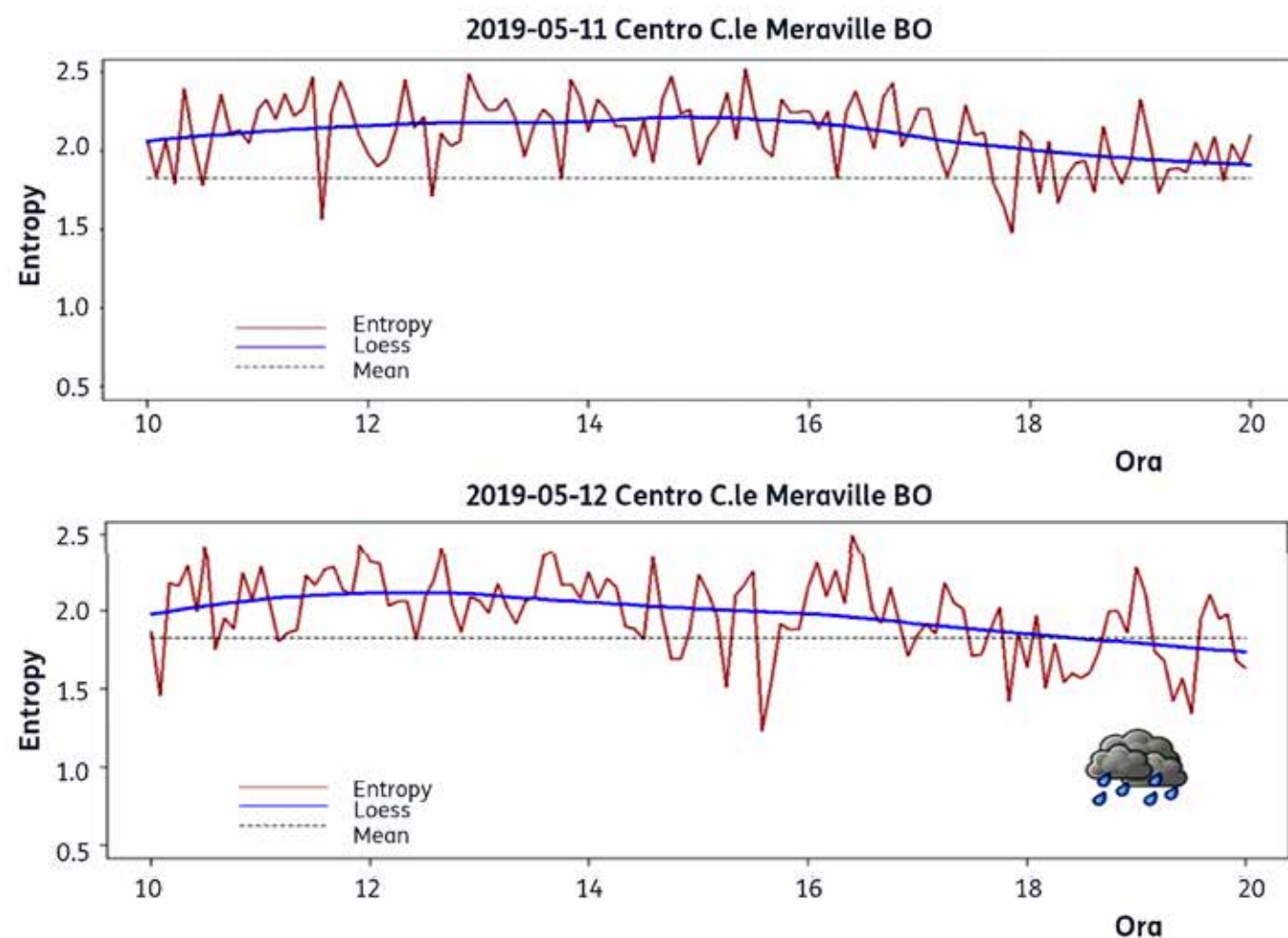
specifiche composizione. Chiaramente il caso di una sola *mattonella* popolata sarebbe una situazione che intuitivamente richiederebbe meno bit, per essere descritta, rispetto al caso di molte *mattonelle* popolate, e tutte popolate in modo differente tra loro. In termini di *entropia* diremmo che nel primo caso il sistema è abbastanza ordinato (bassa entropia), mentre nel secondo caso affermeremmo l'esatto contrario, cioè che il sistema risulta abbastanza disordinato (alta entropia). Nella *Figura 3* è riportato un esempio di distribuzione dei campioni MDT nella zona oggetto dell'analisi.

3
Rappresentazione grafica di un esempio di distribuzione geografica dei campioni nella zona in esame



Possiamo quindi mettere a confronto due giornate differenti, cioè il sabato 11 Maggio, che non ha presentato particolari criticità meteorologiche, con il giorno successivo, la domenica 12 Maggio, che verso il tardo pomeriggio ha manifestato un rapido crescendo di piovosità.

Ciò che ci si aspetta è che quando iniziano momenti di intensa piovosità la zona investita da quei fenomeni tenda a diminuire la propria entropia posizionale, perché le posizioni d'utilizzo dei servizi tenderanno a ridursi in quanto molti più utilizzatori tenderanno a raggrupparsi in alcune zone specifiche (quelle più riparate) e pochi utilizzatori rimarranno sparpagliati nelle posizioni che prima (della pioggia) risultavano frequentabili senza problemi. La *Figura 4* conferma questa ipotesi mostrando che quando inizia il periodo di intensa piovosità (dopo le 18:00) l'andamento dell'entropia



4

Variazioni della Entropia (posizionale) nei dintorni del Centro Commerciale Meraville (Bologna) nei giorni 11 Maggio (tempo meno piovoso, nella zona) e 12 Maggio (fenomeni piovosi pomeridiani, acuti dal tardo pomeriggio come evidenziato dal simbolo della pioggia). Per consentire il confronto tra i due giorni nel grafico è riportato il valore medio ("Mean") di entropia riferito alle due giornate poste a confronto.

misurata tende a ridursi, mentre nello stesso periodo del giorno precedente (meno piovoso) questo fenomeno non si manifesta. Generalizzando il singolo esempio qui illustrato possiamo intuire le potenzialità derivanti dall'utilizzo di MDT come strumento per monitora-

re luoghi, tempi e situazioni dei contesti urbani, facendo leva sulle potenzialità che il concetto di entropia posizionale ci mette a disposizione. Numerose ricerche [15-18] basate sull'analisi di un numero considerevole di tracce spazio-temporali generate dai device mobili hanno de-

lineato la possibilità di individuare diversi livelli di "ordine" (ad es. l'ordine spaziale, l'ordine sociale, l'ordine spontaneo auto-organizzato), nella distribuzione apparentemente casuale dei cittadini nel tessuto urbano.

Meteo del Veneto e Segnale Radiomobile

Se lo studio dei fenomeni meteorologici attraverso MDT fa emergere differenti comportamenti per l'uso dei servizi radiomobili, gli stessi fenomeni meteorologici possono modificare anche le caratteristiche stesse del servizio radiomobile. La potenza del segnale ricevuto da una antenna rappresenta uno dei parametri principali che i nostri telefonini monitorano costantemente e che comunicano all'infrastruttura in modo da poter, di volta in volta, sfruttare l'antenna (la Cella) che meglio può servire, in quel momento, in quella posizione, in quella situazione. Mentre nel caso dell'entropia posizionale la causa (il meteo) e l'effett-

to (il cambio nello scenario d'uso) risultano direttamente correlabili, nel caso delle variazioni delle caratteristiche radio ciò avviene in modo particolarmente complesso, a causa delle molteplici cause che concorrono a formare il livello di segnale ricevuto (es. il fatto che teniamo il telefonino in mano o che lo riponiamo in una tasca o in una borsa). Le frequenze radiomobili in uso nelle reti 2G, 3G e 4G hanno caratteristiche fisiche che le rendono molto robuste da un punto di vista meteorologico (vedi Figura 5), tuttavia, il livello di segnale ricevuto dai telefonini dipende anche da riflessioni (es. dal suolo), rifrazioni (es. dai palazzi)

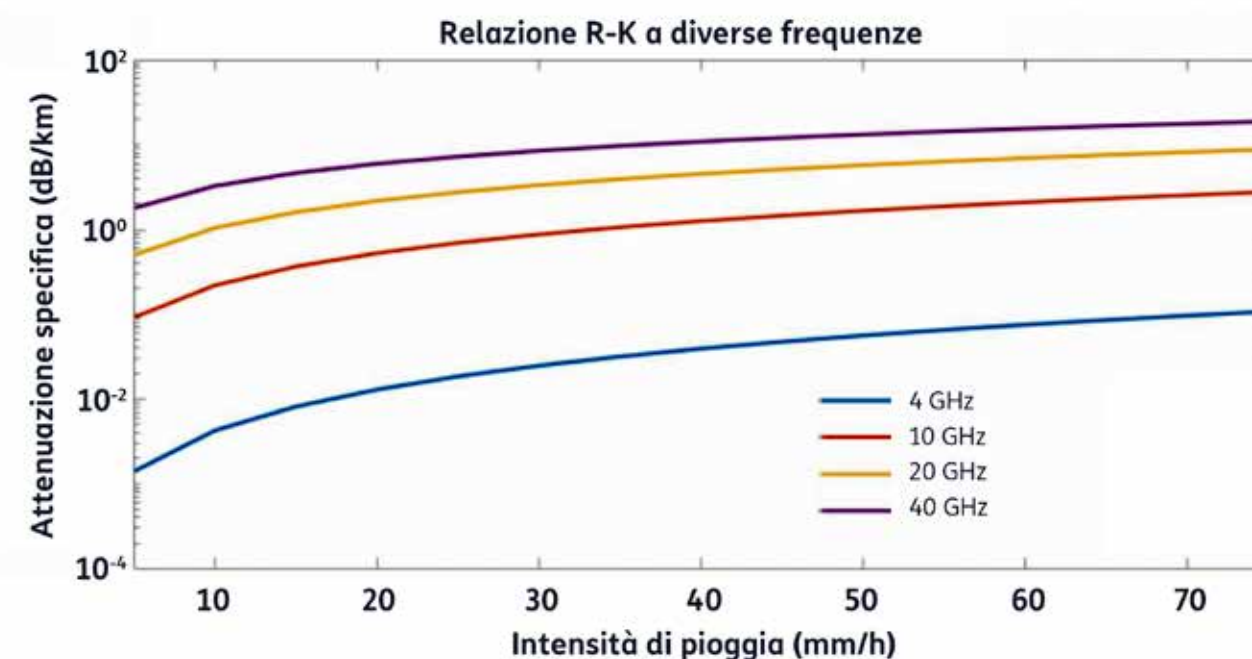
ed assorbimenti (es. pareti o alberi), nonché da come si ricombinano segnali diretti e segnali riflessi (fenomeno di interferenza).

Il clima quindi, modificando l'intero territorio investito dall'umidità e della pioggia incide nello scenario radiomobile introducendo un ulteriore livello di complessità (vedi Figura 6).

Per comprendere meglio questa complessità, in Figura 6 si riporta il risultato della simulazione della propagazione elettromagnetica attraverso un vetro piano di 5 mm di spessore in assenza ed in presenza di un sottile strato di acqua di 0.3 mm di spessore sovrapposto su cui incide il campo elettromagnetico. Questo scenario tenta di rappresentare in modo semplificato un vetro

5

Relazione fra intensità di pioggia e attenuazione specifica a frequenze differenti [13]. Si nota come tutte le principali Bande di frequenza delle reti in tecnologia 2G, 3G e 4G, rientrando entro i 4 GHz, presentino basse attenuazioni specifiche (dB/km) anche per intensità di pioggia molto intense (mm/h).



LA CLASSIFICAZIONE DELLA MOBILITÀ MEDIANTE **SURVIVAL MODELS** ED ENTROPIA DI INFORMAZIONE

Armando Bazzani
armando.bazzani@unibo.it

Lo sviluppo delle tecnologie ICT ha avuto un grande impatto nello studio delle proprietà dinamiche e statistiche della mobilità nelle moderne città grazie alla possibilità di raccogliere grandi data base georeferenziati che contengono informazioni sulla mobilità individuale. La principale conseguenza di tale sviluppo è stata il cambiamento di punto di vista nell'analisi dei fenomeni legati alla mobilità. Prima la comunità scientifica utilizzava un punto di vista *euleriano* in cui lo studio della mobilità veniva effettuato attraverso osserva-

zioni localizzate in singole strade e mediate nel tempo per misurare il flusso e la densità media di veicoli e dedurre un diagramma fondamentale. Ora i data base basati su ICT forniscono informazioni sulle traiettorie

effettuate da un campione di individui che utilizzano diversi mezzi di trasporto ed è necessario sviluppare tecniche di analisi che si adattino ad un punto di vista *lagrangiano* per lo studio della mobilità. Nel caso della mobilità urbana è inoltre necessario lo sviluppo di osservabili di tipo statistico per comprendere quando siamo in presenza di fenomeni che riflettono un cambiamento macroscopico dello stato di mobilità, ovvero di una transizione di fase nel senso fisico del termine. Questo approccio apre nuove interessanti prospettive per la comprensione dei problemi di traffico e per lo sviluppo di nuove politiche di governance che consentano un miglioramento della qualità della vita nelle città. Prendiamo ad esempio il problema della misura del grado di congestione di una città: l'osservazione che in una determinata strada o incrocio si è formata una coda potrebbe essere utilizzata come misura del grado di congestione della rete urbana solo se assumiamo di conoscere la domanda di mobilità di diverse classi di cittadini e l'esistenza di un equilibrio di Wardrop per lo stato di mobilità (ovvero ogni individuo si comporta

in modo razionale realizzando una mobilità ottimale rispetto alla sua conoscenza del comportamento degli altri utenti). Evidenze empiriche hanno mostrato come sia estremamente difficile giustificare tali assunzioni che possono risultare anche sbagliate in molti casi. Assumendo il punto di vista lagrangiano la domanda diventa: qual è l'effetto del grado di congestione di una città sulle traiettorie dinamiche realizzate dagli individui e sul comportamento stesso degli individui. Attualmente non siamo in grado di dare una risposta soddisfacente a tale domanda se non che la velocità di percorrenza nella rete stradale urbana diminuisce al crescere del carico di traffico nella rete stessa, in modo non lineare. Il punto fondamentale è lo sviluppo di nuovi modelli che consentano un'interpretazione delle leggi statistiche da un punto di vista lagrangiano per misurare delle quantità in relazione al comportamento degli individui. Tale problematica ha avuto recenti contributi dalla Fisica dei Sistemi Complessi basati sui *survival models* e sul concetto di entropia di informazione (*Lempel-Ziv entropy*). I *survival models* sono stati applicati per la compren-

Continua →

← Segue

ne della distribuzione dei tempi di mobilità correlati a diversi mezzi di trasporto. In un approccio meccanico statistico all'analisi della mobilità individuale il tempo può essere considerata una quantità corrispondente all'energia. Sia $P(t)$ la probabilità che un percorso osservato abbia durata maggiore di un dato tempo t , proponiamo di introdurre il seguente modello per classificare la distribuzione empirica delle durate dei viaggi:

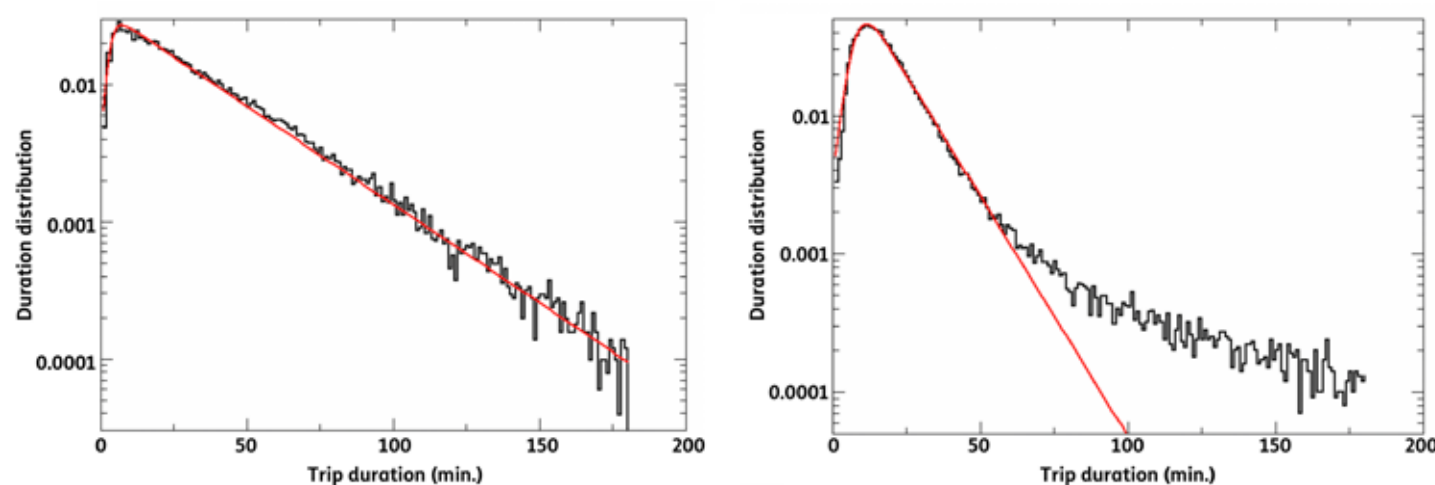
$$\frac{dP}{dt}(t) = -\tau(t)P(t) \quad \tau(t) = \frac{\beta}{1 + \exp(-\alpha(t-t_c))}$$

dove la funzione $\tau(t)$ definisce la così detta *hazard function*. La forma logistica di tale funzione è tipica dei modelli decisionali in quanto rappresenta matematicamente un effetto soglia. Tale modello dipende da tre parametri che assumono un preciso significato e consentono di classificare la mobilità osservata: t_c è un tempo caratteristico che misura una durata conside-

rata conveniente per il mezzo di trasporto scelto, α^{-1} misura la tipica distanza temporale da una meta che un individuo ha scelto di raggiungere e β^{-1} e una scala temporale che rappresenta la distanza caratteristica delle mete nel contesto urbano considerato. Notiamo che per $t \gg t_c$ la hazard function tende alla costante β e abbiamo $P(t) \sim \exp(-\beta t)$ che coincide con la distribuzione di Maxwell-Boltzmann con β^{-1} che gioca il ruolo di temperatura. Nella *Figura A* mostriamo come tale modello interpoli sia la distribuzione empirica dei tempi di percorrenza per tragitti in auto che la distribuzione dei tempi per tragitti in bicicletta registrati nella città di Bologna.

I parametri del modello sono diversi nei due casi considerati: in particolare per le auto t_c risulta pari a 3 minuti mentre per le biciclette è pari a 8 minuti mentre α^{-1} è stimato 1,5 minuti per le auto e 2,5 minuti per le biciclette. Tenendo conto del rapporto di velocità tra i due mezzi di trasporto questi risultati suggeriscono come a Bologna le auto e le biciclette rispondano ad una stessa domanda di mobilità a piccola scala. Se infine consideriamo che il parametro β^{-1} ha un valore di 30 minuti per

A
(sinistra) distribuzione delle durate dei tempi di viaggio di percorsi in auto nella città di Bologna (istogramma) ed interpolazione con il modello (linea continua) (viaggi ricostruiti mediante dati GPS nel maggio 2011 – database Octotelematics); (destra) distribuzione delle durate dei tempi di viaggio di percorsi in bicicletta nella città di Bologna (istogramma) ed interpolazione con il modello (linea continua) (viaggi ricostruiti mediante dati GPS – database Bellamossa 2018 Comune di Bologna).

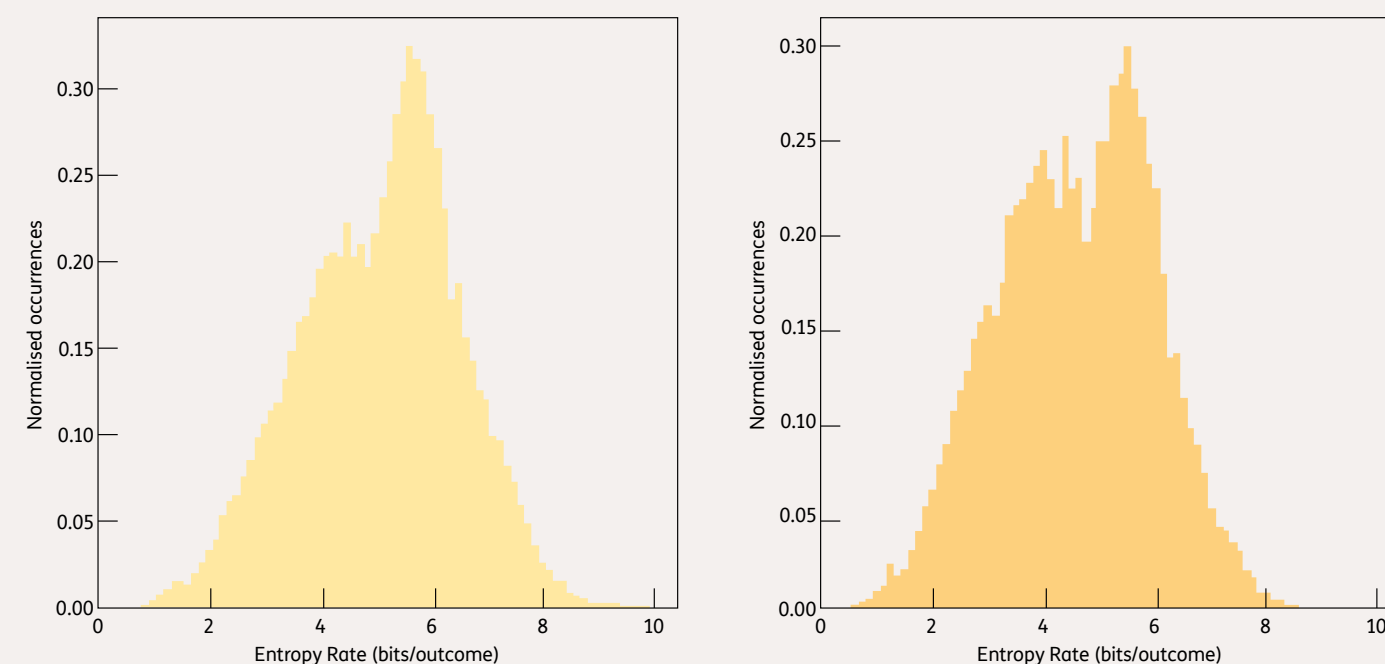


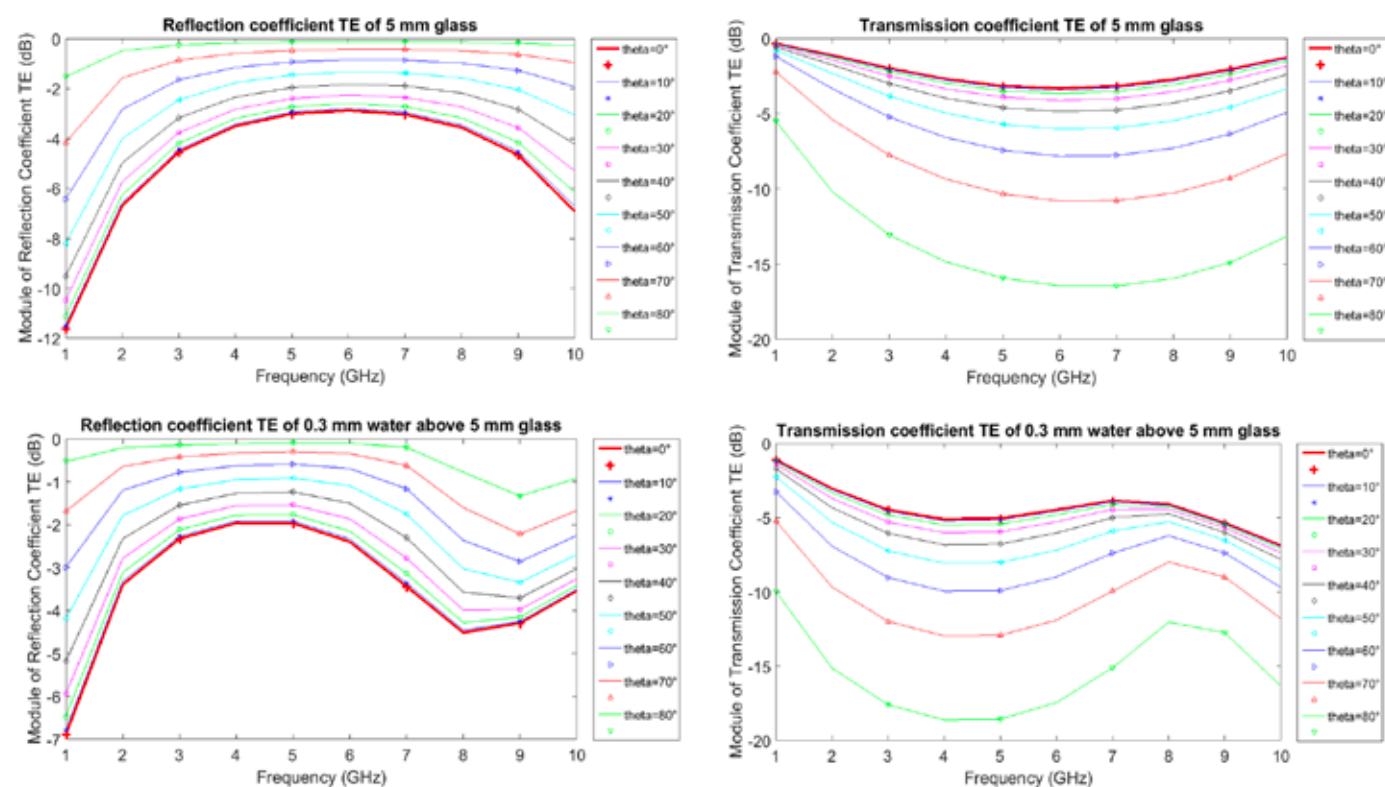
le auto e 13 minuti per le biciclette ciò riflette il fatto che l'auto è comunque utilizzata per percorsi di durata maggiore rispetto alla bicicletta anche se la presenza di una coda più grande del previsto nella distribuzione dei percorsi ciclistici potrebbe far pensare alla presenza di una frazione piccola di individui che usano la bicicletta come mezzo principale di trasporto.

Possiamo quindi classificare la tipologia dei percorsi utilizzando il concetto di entropia di informazione di Lempel-Ziv che misura la compressibilità della codifica simbolica di una traiettoria. In altre parole, se dividiamo la città in diversi settori (ad esempio una partizione in quadrati di 200 metri di lato) e associamo un simbolo ad ogni settore è possibile codificare una traiettoria associando il simbolo corrispondente al quadrato in cui si trova la traiettoria ogni dato intervallo di tempo, l'entropia di Lempel-Ziv corrisponde al rapporto tra la lunghezza del segnale compresso con l'algoritmo di Lempel-Ziv e la lunghezza del segnale originale e si misura in bit per carattere. Nella *Figura B* riportiamo

l'analisi effettuata sulle traiettorie dei ciclisti nella città di Bologna utilizzando le traiettorie più lunghe di 15 minuti con un sampling di 10 secondi per traiettoria. I risultati mostrano l'esistenza di due tipologie di mobilità: una mobilità a bassa entropia molto probabilmente di tipo origine-destinazione ed una mobilità ad alta entropia che può essere associata ad una componente random nelle traiettorie. L'analisi ristretta alle traiettorie effettuate nel centro storico di Bologna mostra come la componente origine-destinazione sia in realtà più presente nel centro storico rispetto a tutta la città. Questo fatto si può interpretare con il fatto che la bicicletta è un mezzo di trasporto che soddisfa la domanda di mobilità nel centro, mentre viene utilizzata per spostamenti locali nella periferia preferendo l'auto o un mezzo pubblico per gli spostamenti più lunghi. L'entropia di informazione risulta quindi un buon indicatore per distinguere le caratteristiche della domanda di mobilità alla base delle traiettorie osservate attraverso le tecnologie ICT ■

B
(sinistra) distribuzione dell'entropia di Lempel-Ziv calcolata su tutte le traiettorie dei ciclisti più lunghe di 15 minuti su una scala spaziale di 200 metri con passo temporale di 10 secondi; (destra) lo stesso restringendo l'analisi alle traiettorie che partono dall'interno del centro storico.





6

Simulazione dei Coefficienti di riflessione (RC), trasmissione (TC), di uno strato di vetro di 5 mm di spessore in assenza ed in presenza di uno strato sovrapposto di acqua di 0.3 mm di spessore verso il quale incide il campo elettromagnetico per angoli di incidenza tra 0 e 80°. Nel caso di incidenza obliqua dell'onda piana del campo elettromagnetico sulla superficie dei materiali, si distinguono i casi di trasversale elettrico (TE) e trasversale magnetico (TM), a seconda che la componente tangente del campo elettromagnetico incidente all'interfaccia aria-multistrato sia il campo elettrico o il campo magnetico. Sono qui riportati per semplicità solo i grafici per il modo di incidenza di tipo TE (Trasversale Elettrico).

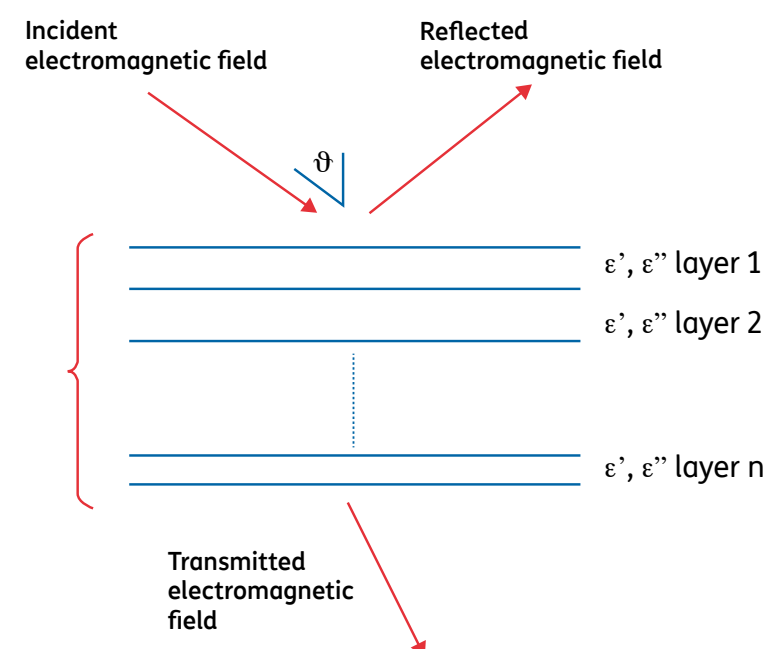
di un'auto oppure di una finestra nel caso di pioggia battente sul vetro. Le simulazioni sono state effettuate considerando le caratteristiche dielettriche del vetro indicate dalle raccomandazioni ITU (ITU-R P.2040-1) [19] e dell'acqua [20], considerando un modello di riflessione e trasmissione di un'onda piana attraverso una struttura multistrato come riportato in Figura 7. Il modello matematico di propagazione elettromagnetica attraverso una struttura di materiali multistrato è stato imple-

mentato in Matlab per il calcolo dei coefficienti di riflessione (RC) in dB, del coefficiente di trasmissione (TC) in dB e del fattore di perdita (LF) in percentuale [21].

Dai grafici di Figura 6, si osserva che la presenza di acqua sulla superficie favorisce la riflessione del campo elettromagnetico incidente. Inoltre segue che il campo elettromagnetico trasmesso attraverso la struttura vetro + acqua si riduce di qualche dB e anche se non riportato in figura ne aumenta la dissipazione complessiva.

I parametri della struttura che influenzano questi effetti sono le caratteristiche dielettriche dei materiali e gli spessori di ciascun materiale.

Questo semplice esempio fa intendere come in realtà lo scenario di propagazione elettromagnetica reale si possa modificare in caso di pioggia anche alle frequenze radio oggi utilizzate. Pertanto, la presenza di acqua su pareti, suolo, strade e alberi modifica complessivamente la propagazione elettromagne-



7

Modello di propagazione elettromagnetica attraverso un sandwich multistrato di materiali.

tica nell'ambiente producendo in alcuni casi una maggiore riflessione e in altri una maggiore attenuazione dei campi elettromagnetici. In letteratura esistono altri studi che confermano questa direzione come già evidenziato nella introduzione.

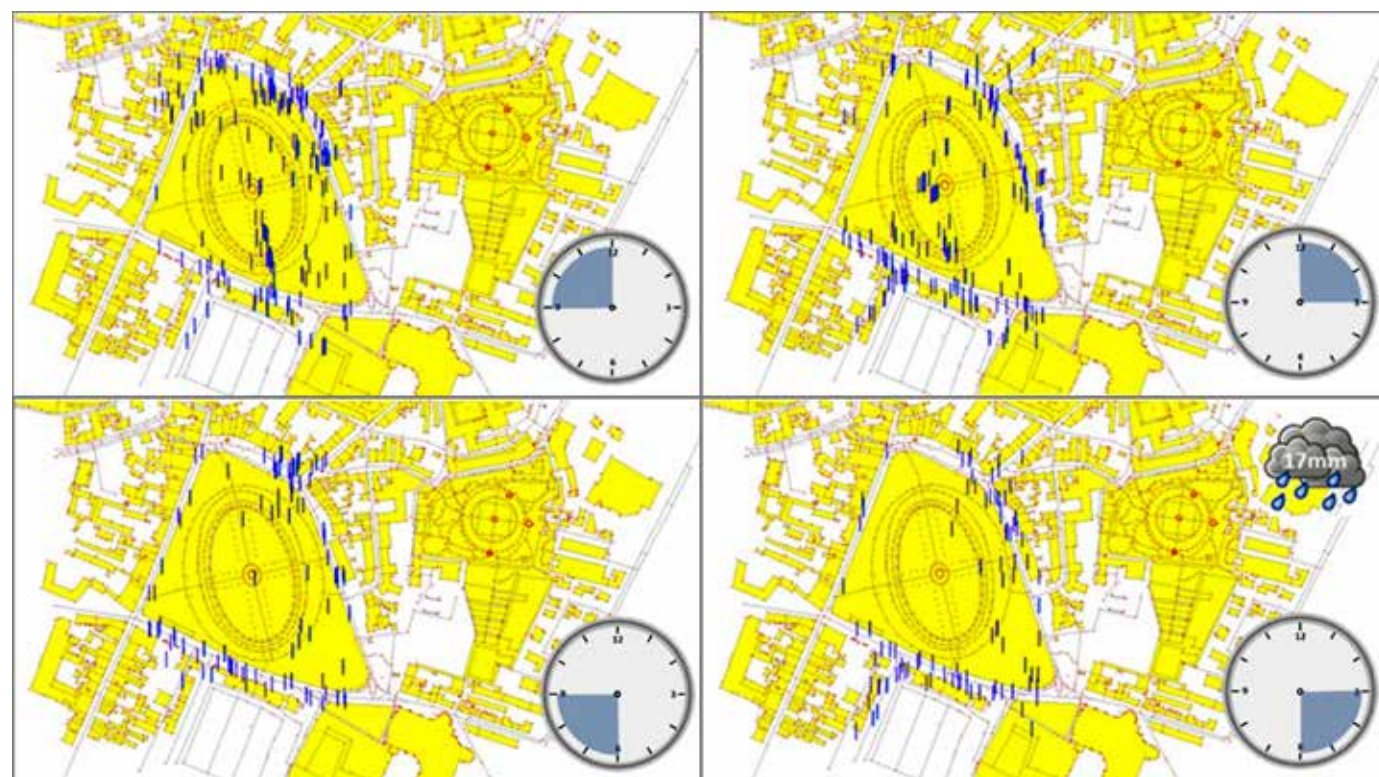
Per isolare gli specifici effetti del meteo sul livello di segnale a disposizione dei device occorre quindi operare in modo molto selettivo sulle misure MDT da analizzare, sia in termini geografici, ritagliando opportunamente l'area da porre di volta in volta in esame, sia in termini temporali, per poter correlare le variazioni dei parametri meteo con le variazioni dei parametri radiomobili misurati dai device. Solo con questo approccio certissimo è possibile isolare, studiare, e quindi misurare, quegli effetti specifici che il clima induce nelle singole zone [nota 1].

La magnifica piazza di Padova Prato della Valle, una delle piazze più grandi d'Europa, risulta un buon esempio di area urbana adatta allo studio degli effetti della pioggia sul segnale radiomobile. Innanzitutto, le dimensioni e la frequentazione continua della piazza forniscono una buona base statistica per le analisi. La stazione di rilevamento meteorologica si trova poi in prossimità della piazza, quindi i dati di piovosità oraria raccolti da quella stazione risultano direttamente utilizzabili, senza necessità di interpolare dati da più stazioni meteo (operazione possibile ma che abbasserebbe l'affidabilità del dato meteo nella zona in analisi). Infine, la posizione della principale cella servente quell'area è posta ad una distanza ottimale dalla piazza (circa 1 km) per uno studio in ambito urbano, studio nel quale si vogliono analizzare sia effetti sulla compo-

nente di illuminazione diretta ma anche possibili effetti dovuti a riflessioni e rifrazioni del segnale.

I risultati ottenuti (vedi Figura 8) mostrano un'effettiva riduzione, in media, del livello di potenza (RSRP) ricevuta dai device che hanno frequentato Prato Della Valle durante la fascia oraria piovosa (RSRP -87.5 dBm tra le ore 16 e le 18), mentre in assenza di precipitazioni la mattina e il primo pomeriggio le medie di RSRP erano risultate rispettivamente -84.4 dBm e -82 dBm. Livello di Potenza ricevuta simile, -84.5 dBm, si è poi registrato nella fascia serale, con il tempo atmosferico che era nel frattempo ritornato sereno.

È risultato quindi possibile misurare un caso d'influenza del contesto meteorologico sull'erogazione dei servizi radiomobili che risultasse anche poco influenzato da motivi comportamentali degli utilizzatori, in modo da poter isolare questo specifico effetto fisico sul segnale ricevuto dalle altre possibili cause. Il livello di potenza del segnale ricevuto dai device in una specifica zona risulta uno dei parametri più significativi per la qualità dei servizi offerti in quell'area.



8

Principali posizioni (mappe da www.OpenStreetMap.org elaborate con R Studio [14]) da cui sono state effettuate misure MDT di Potenza del Segnale di Riferimento LTE 4G a Prato Della Valle (Padova) il giorno 7/6/2018, in quattro differenti fasce orarie (9-12, 12-15, 15-18, 18-21), della quali la fascia pomeridiana (15-18) ha coinciso con una sequenza di precipitazioni (circa 17 mm di pioggia in 3 h). I quattro fotogrammi risultano abbastanza omogenei tra loro, consentendo così di confrontare le specifiche variazioni di Potenza avvenute all'interno di ciascuna fascia oraria, riducendo le possibili distorsioni dovute ad altri effetti (es. se il 7/6 ci fossero stati fenomeni piovosi estremi in quella zona, ciò avrebbe comportato misure non omogeneamente distribuite, o addirittura assenti del tutto nella fascia critica).

Misurare le città con MDT

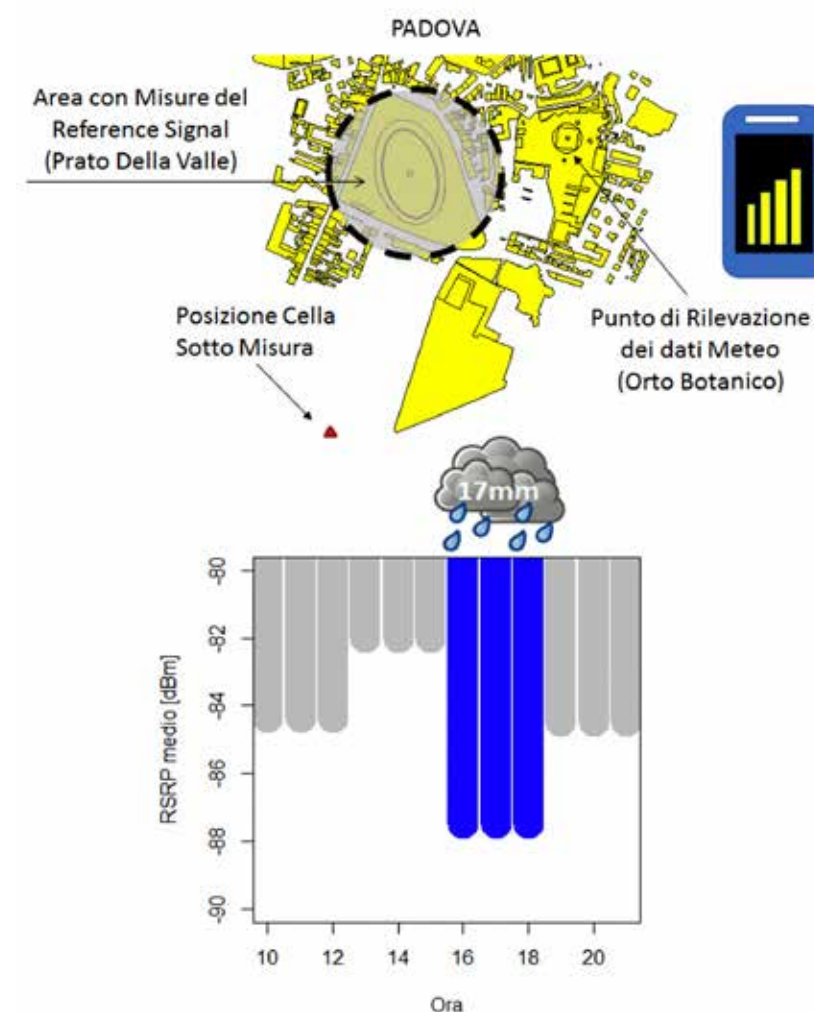
È noto che il clima influenza il modo in cui le persone vivono il proprio territorio. Ed è altresì ormai parte del sentire comune il fatto che le variazioni climatiche, da sempre in grado di generare modifiche alla vivibilità di intere zone del pianeta, potrebbero ancora incidervi anche

a fondo a causa del riscaldamento globale.

Si rende quindi sempre necessaria una doppia vista dei fenomeni climatici che subiamo, una vista fisica ed una vista comportamentale, umana, cioè legata ai riflessi sulle nostre vite dei cambiamenti fisici dell'ecosistema in cui siamo immersi.

A questo scopo l'innovazione tecnologica portata da MDT, essendo asso-

ciata a misure (radio) molto frequenti, per garantire piena continuità di funzionamento al sistema radiomobile (peraltro utilizzato in modo sempre più intenso), ed essendo MDT altresì abbinato allo strumento principe dei nostri tempi, cioè il telefonino che teniamo ormai costantemente con noi, si sta sempre più mostrando capace di forgiare strumenti in grado di offrire viste accurate degli scenari



9

A Sinistra: disposizione geografica della Cella la cui potenza è misurata dai telefoni, del punto di rilevazione (Orto Botanico) dei dati meteo orari del periodo in esame (Elaborazione dati: Radarmeteo srl. Fonte dati: ARPAV) e la magnifica piazza di Padova, Prato della Valle, da cui sono prese le misure di potenza. A Destra: il calo di potenza media (RSRP) misurata dai telefonini nella piazza nelle tre ore di pioggia, confrontate con il resto del periodo in esame, privo di precipitazioni.

Il ruolo dell'Operatore in futuro

È facile pensare all'Operatore come ad un semplice fornitore di connettività, ma il patrimonio di conoscenze che alberga in un operatore diventa ormai solo in parte legato a tale fondamentale professionalità. Discipline un tempo lontane dalla pratica quotidiana di un Operatore TLC, come il Machine Learning, diventano oggi sempre più pratica quotidiana, necessaria per affrontare un'evoluzione tecnologica che mostra complessità crescenti ed automazioni sempre più sofisticate. Questo trend che affianca nuove conoscenze (informatiche, matematiche, ecc.) a conoscenze consolidate (propagazione, connessioni, protocolli, mercato delle comunicazioni, ecc.), svolgendosi tutt'intorno all'uso di strumenti, come gli smartphone, che ormai accompagnano istante per istante le nostre vite, risulta un trend in grado di liberare nuove opportunità per l'Operatore.

in cui viviamo, offrendoci modalità d'indagine capaci di misurare, oggettivamente, gli andamenti emergenti, capaci di confrontare situazioni simili in scenari differenti, capaci di monitorare gli effetti di interventi tesi a migliorare una specifica situazione, capaci di valutare lo sforzo fatto per migliorare, per esempio, la mobilità di un'area, ed in ultima analisi capaci di privilegiare quelle azioni che si dimostrano realmente più efficaci in quello specifico contesto, urbano o non urbano che sia.

La possibilità di inferire i modelli comportamentali delle città (mobilità, entropia, densità dei cittadini in particolari punti di aggregazione sociale, etc.) attraverso i dati aggregati MDT e gli strumenti di Machine Learning, anche in relazione alle diverse condizioni meteo locali, rappresenta per gli Operatori Mobili un'opportunità di sviluppo di nuovi servizi da posizionare sul mercato in maniera distintiva rispetto agli altri player dell'ICT.

Con l'evolvere delle reti verso il 5G, crescerà esponenzialmente il volume di dati generati dalla rete stessa. Questo sarà in parte dovuto alle caratteristiche innovative del 5G che abilitano una maggiore flessibilità grazie alle peculiarità di antenne attive e beamforming, o di slicing. Sarà anche dovuto alla crescente diversità di oggetti connessi e gestiti dalle reti radiomobili che supporteranno non solo i tradizionali smartphone, ma un crescente numero di oggetti connessi sia passivi (sensori) sia attivi (robotica, droni, autoveicoli).

La crescente complessità nel pianificare e gestire la topologia delle reti e la diversità di casi d'uso, sarà possibile solo grazie ad una maggiore intelligenza che sarà a sua volta alimentata da dati.

L'infrastruttura di rete pertanto, dovrà essere ingegnerizzata per essere AI-ready, e per produrre e rendere disponibili dati che ne permettano la gestione. Questi stessi dati, come si evince da questo articolo, possono essere analizzati e messi a fattor comune con altri

dati, per produrre delle analisi e delle prospettive fin qui inimmaginabili. Le potenzialità sono numerose e interessanti ma richiederà un approccio innovativo più orientato all'apertura dell'innovazione e alla creazione di un ecosistema. Occorrerà infatti immaginare le reti come piattaforme che tramite API e Exposure, abilitano la messa a disposizione di dati di rete, nel rispetto della privacy e sicurezza.

Conclusioni

L'analisi condotta nel presente articolo, ancorché suscettibile di affinamento e validazione su un numero significativo di casi sperimentali, illustra la modalità per passare da grandi insiemi di misure MDT a descrizioni numeriche sintetiche dei luoghi e dei relativi scenari d'uso dei servizi, al variare delle situazioni meteorologiche. Le descrizioni numeriche sintetiche sono di grande utilità per l'applica-

zione di tecniche di analisi dati e per lo sviluppo di modelli predittivi, il cui addestramento richiede di codificare gli aspetti che l'algoritmo deve apprendere.

Riconoscere automaticamente uno scenario d'uso ed il contesto in cui è immerso si presta poi ad applicazioni molto diverse tra loro. Tali applicazioni risultano evidenti se il processo d'apprendimento viene innestato all'interno dell'evoluzione SON (*Self Organizing Network*) delle reti e del miglioramento continuo della qualità.

Ma il campo di applicazione non è esclusivamente tecnico. È facile intuire quanto questo tipo di studi possa portare benefici anche all'analisi delle modalità con cui sono, di momento in momento, vissute le città, e di come l'insorgenza di questo nuovo valore finisca per influenzare il modo stesso con il quale gli Operatori si porgeranno sul mercato, ampliando sempre più il ruolo di fornitori di connettività ■

Nota

[1] I diversi effetti, diretti ed indiretti, che il clima induce sulla potenza ricevuta dai device richiederebbe di illustrare molteplici tipologie di casistiche, all'interno delle quali possono di volta in volta divenire predominanti effetti depressivi (assorbimenti) sul livello del segnale oppure, all'opposto, incidere maggiormente effetti espansivi (riflessioni) sul li-

vello del segnalare ricevuto. L'insieme dei casi non risulta adeguatamente trattabile all'interno di un singolo articolo che si focalizza anche su effetti indiretti, come quelli comportamentali, sul livello del segnale. In questo articolo viene comunque riportato un singolo esempio di una situazione meteo significativa.

Bibliografia

- [1] "La mobilità di breve e lungo raggio con le innovative misure radiomobili e l'Intelligenza Artificiale" - Notiziario Tecnico n.3-2018
- [2] "Big Data georeferenziati MDT per servizi digitali nelle Smart Cities" - Notiziario Tecnico n.1-2018
- [3] "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio measurement collection for Minimization of Drive Tests (MDT)"; Overall description; Stage 2 3GPP TS 37.320 V14.0.0 (2017-03).
- [4] Chiara Mizzi, Alessandro Fabbri, Sandro Rambaldi, Flavio Bertini, Nico Curti, Stefano Sinigardi, Rachele Luzi, Giulia Venturi, Micheli Davide, Giuliano Muratore, Aldo Vannelli, Armando Bazzani. "Unraveling pedestrian mobility on a road network using ICTs data during great tourist events", EPJ Data Sci. (2018) 7: 44, <https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-018-0168-2>.
- [5] Rec. ITU-R P.838 "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods"
- [6] Rec. ITU-R P.530 "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial-line-of-sight systems"
- [7] Rec. ITU-R P.618 "Propagation data and prediction methods required for the design of trans-horizon radio-relay systems"
- [8] Rec. ITU-R P.676 "Attenuation by atmospheric gases"
- [9] Andrea Scaloni, Pasquale Cirella, Mauro Sgheiz, Riccardo Diamanti, Davide Micheli, "Multipath and Doppler Characterization of an Electromagnetic Environment by Massive MDT Measurements From 3G and 4G Mobile Terminals", Published in: IEEE Access (Volume: 7), 21 January 2019, Page(s): 13024 - 13034, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2892864
- [10] Rogers, N. C., A. Seville, J. Richter, D. Ndzi, N. Savage, R. F. S. Caldeirinha, A. K. Shukla, M. O. Al-Nuaimi, K. Craig, E. Vilar, and J. Austin, "A generic model of 1-60 GHz radio propagation through vegetation" Final Report, May 2002.
- [11] Li, Y. and P. Yang, "The permittivity based on electromagnetic wave attenuation for rain medium and its applications" J. of Electromagnetic Waves and Appl., Vol. 20, No. 15, 2231-2238, 2006.
- [12] S. Helhel, S. Ozen, and H. G. Oksu. "INVESTIGATION OF GSM SIGNAL VARIATION DRY AND WET EARTH EFFECTS", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 1, 147-157, 2008.
- [13] M.Cubaiu, L.Cerea, R.Nebuloni, G.L.Solazzi, M.Oldoni "Caratterizzazione dei segnali di link a microonde per scopi di modellizzazione e rilevamento pioggia" 05/06/2018 Progetto MOPRAM.
- [14] R is a project which is attempting to provide a modern piece of statistical software for the GNU suite of software. The current R is the result of a collaborative effort with contributions from all over the world. R was initially written by Robert Gentleman and Ross Ihaka—also known as "R & R" of the Statistics Department of the University of Auckland. R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [15] Entropy and its Application to Urban Systems - Ben Purvis et al. - MDPI, 2019
- [16] Spatiotemporal Analysis of Urban Mobility Using Aggregate Mobile Phone - Gariazzo et al. - MDPI, 2019
- [17] An Entropy-Based Model to Infer Social Strength from Spatiotemporal Data - Pham et al. - Univ. of Southern California, 2013
- [18] Entropy and order in urban street networks - A. Gudmundsson and N. Mohajeri - Nature Scientific Reports, vol. 3, p. Article number: 3324, 2013
- [19] Recommendation P.2040-1 (07/2015). Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz.

[20] “Valori della costante dielettrica (relativa) e del fattore di perdita (relativo) dell’acqua a diverse frequenze e a due diverse temperature”, Proprietà dielettriche dei materiali, 2006. <https://studylibit.com/doc/5634917/proprietà--dielettriche-dei-materiali>.

[21] Davide Micheli et al. - “Broadband Electromagnetic Absorbers Using Carbon Nanostructure-Based Composites,” Published in: IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: 59 , Issue: 10 , Oct. 2011), 29 July 2011, Page(s): 2633 – 2646, DOI: 10.1109/TMTT.2011.2160198.



Davide Micheli davide.micheli@telecomitalia.it

Laureato in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni e in Ingegneria Aerospaziale e Astronautica, è entrato in azienda nel 1989 dove si occupato fino al 2001 di Progettazione, Realizzazione impianti, Esercizio e Qualità nell'Area Territoriale di Ancona. Dal 2002 si è trasferito a Roma dove lavora tuttora nel settore di Ingegneria della Rete di Accesso Radio occupandosi di varie tematiche connesse con l'ingegnerizzazione della rete tra cui quelle legate allo studio della propagazione elettromagnetica. Negli ultimi anni, dopo aver conseguito un Dottorato di Ricerca in Ingegneria Aerospaziale, ha iniziato ad approfondire nell'ambito del suo lavoro le tecniche di machine Learning, in particolare, sui Big Data di tipo elettromagnetico statistico disponibili nella rete di accesso radio. E' inoltre autore di numerosi articoli scientifici su riviste internazionali ■



Giuliano Muratore giuliano.muratore@telecomitalia.it

Laureato in Ingegneria Elettronica, è entrato in azienda nel 1987, ricoprendo responsabilità prima nel nascente mercato liberalizzato dei servizi di messaggistica interpersonale (1990) ed in seguito nello sviluppo della Rete e dei Servizi Radiomobili di TIM (1995), con incarichi nell'evoluzione del Piano di Numerazione Nazionale (1997) e nell'introduzione in Italia della Mobile Number Portability (2001), per poi seguire il Mobile Roaming business (2010) e successivamente progetti internazionali TIM in GSMA. Negli ultimi anni ha messo la sua esperienza a disposizione della formazione Big Data e dello sviluppo delle tecniche di Machine Learning applicate a dati radiomobili ■



Aldo Vannelli aldo.vannelli@telecomitalia.it

Laureato in Fisica e in Ingegneria dell'Informazione, in azienda dal 1988. Dopo un'ampia esperienza nell'ambito dell'Ingegneria e dell'Innovazione delle Reti Dati (Frame Relay, ATM e IP), nel 2001 passa in TIM per occuparsi dello sviluppo e dell'innovazione di applicazioni e servizi multimediali su tecnologie 2.5G/3G. In questo ambito ha coordinato numerosi progetti riguardanti l'integrazione multiservizio di voce/video/dati su mobile e lo sviluppo di soluzioni per il Mobile Content Distribution. Dal 2012 lavora nella Direzione Business & TOP Clients dove si occupa dello sviluppo di iniziative e progetti innovativi per Aziende di rilevanza Nazionale. Da alcuni anni si interessa dello sviluppo di iniziative finalizzate alla realizzazione di Proof of Concept basati su tecniche Big Data Analytics & Machine Learning ■

Notiziario Tecnico

Anno 28 - Numero 2, Luglio 2019

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.*

