
Le reti di telecomunicazioni verso il 5G e l'Internet del futuro

Franco Davoli

DITEN-Università di Genova

CNIT (Consorzio Nazionale Inter-universitario per le Telecomunicazioni),
Laboratorio Nazionale di Reti Intelligenti e Sicure (S2N), Genova

Genova, 6 giugno 2019

Sommario

- Qualche premessa tecnologica
- L'evoluzione delle reti di telecomunicazioni e dell'Internet
- Le reti mobili
- Cos'è il 5G
- *Cloud computing, edge computing* e virtualizzazione

Qualche premessa tecnologica

Cosa deve fare essenzialmente una *rete* di telecomunicazioni?

INTERCONNETTERE

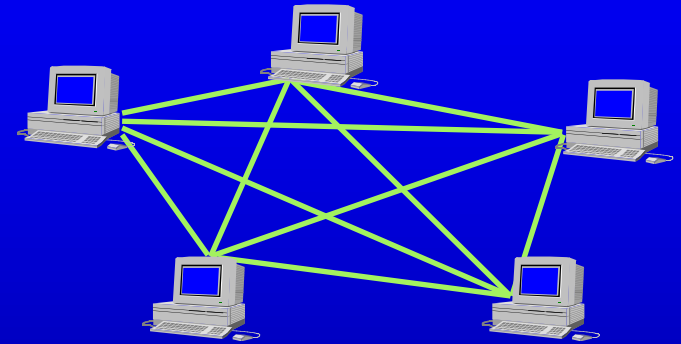
più apparati o utenti
per permettere uno

SCAMBIO di
INFORMAZIONI

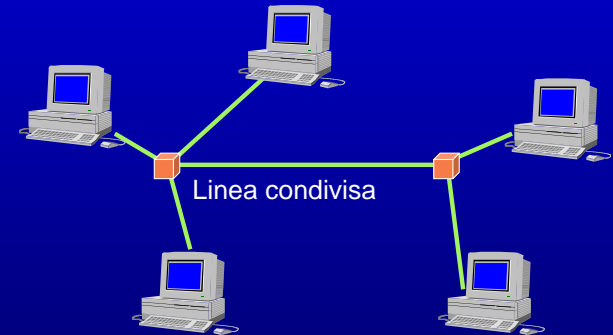


Ma come?

Così →



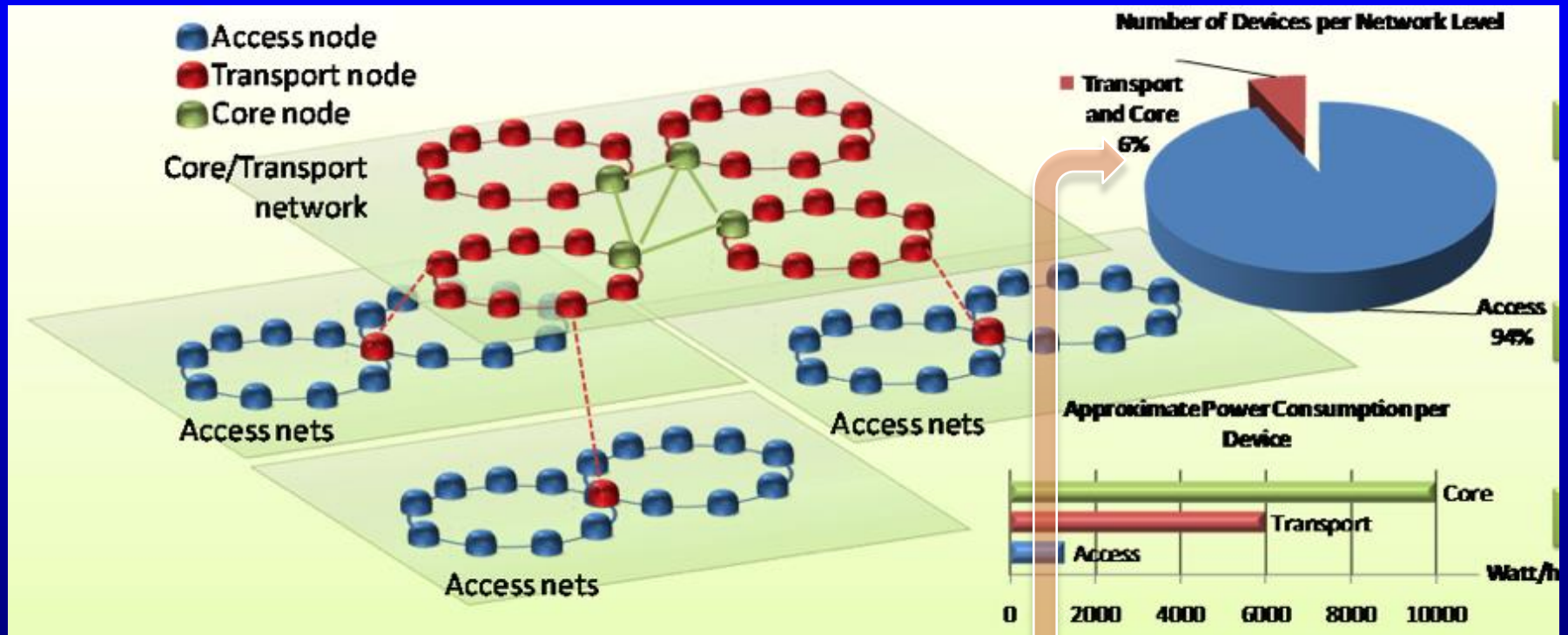
...o così? →



Per evitare di dover avere sempre una interconnessione completa, la rete deve poter effettuare una condivisione di risorse (mezzi trasmissivi – *linee di comunicazione* – e *nodi di commutazione*)

Qualche premessa tecnologica

Strutturazione della rete



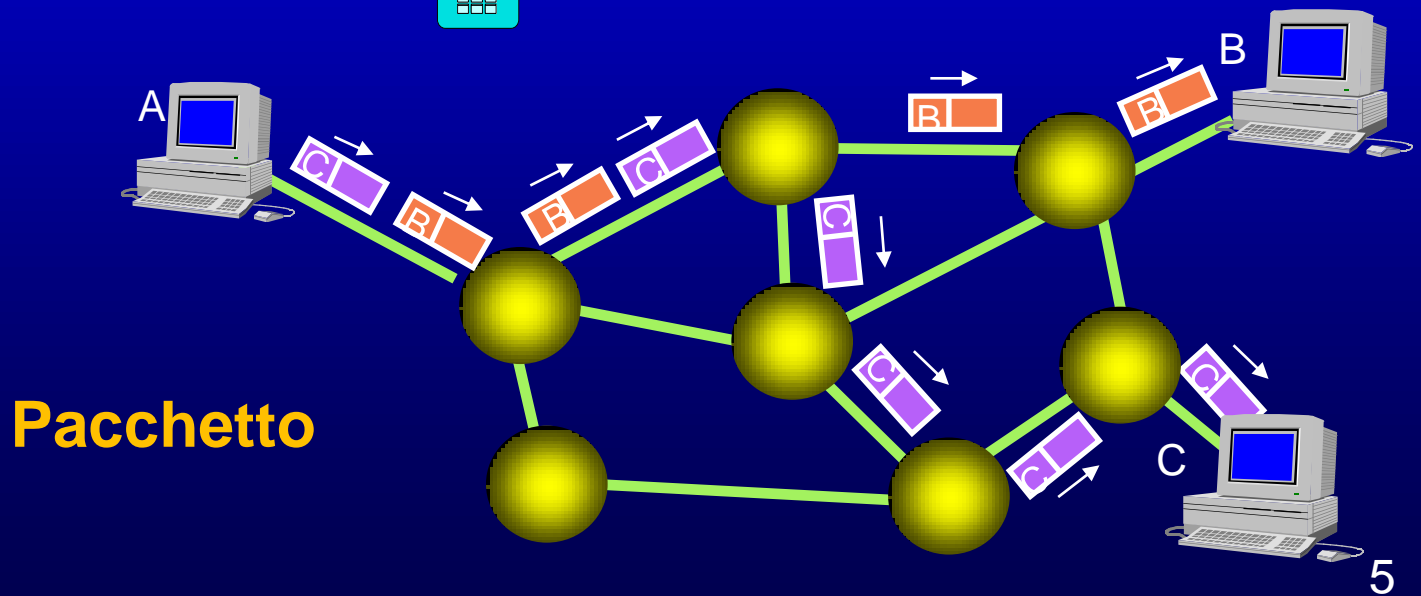
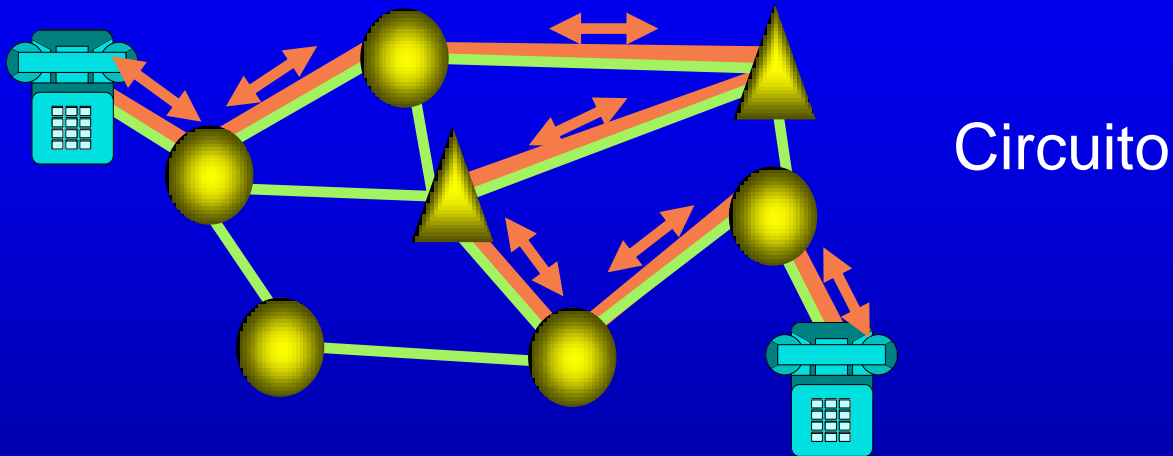
Più segmenti

- Accesso (fisso e mobile)
- Metro/Trasporto
- Core

... con numerosità di dispositivi e consumi energetici diversi

Qualche premessa tecnologica

Commutazione



Strutturazione delle funzionalità (architettura funzionale e protocolli)

| | |
|--|-------------------------|
| FTP, Telnet, SMTP, HTTP, SNMP, ... | Process/ Application |
| TCP-UDP | Host-to-Host |
| IP | Internet |
| Non Specificati | Network access |

L'architettura base dell'Internet, progettata all'inizio degli anni '70, ha conquistato la scena e ha di fatto conservato fino ad ora il suo posto.

Evoluzione elettronica - informatica – reti di TLC

Electronica/Informatica

- Transistor

- Elaborazioni Batch

- Sistemi Time-sharing

1950

1960

- Rete analogica a commutazione di circuito - commutazione elettromeccanica

- Linee dedicate

- Terminali remoti

- RJE

Reti di TLC

Evoluzione

(Cont.)

Elettronica/Informatica

- Sistemi *Time-sharing*

- Microproc.

- Minicomputer

1960

1970

- Terminali remoti
- RJE

- ARPAnet

- Commutazione di pacchetto

- Rete numerica a commutazione di circuito

- Architetture Proprietarie

Reti di TLC

Evoluzione

(Cont.)

Elettronica/Informatica



- TCP/IP

- OSI

- Architetture Proprietarie

Radiomobile 1G

Reti di TLC

Evoluzione

(Cont.)

Elettronica/Informatica

- Personal Computer

- VLSI
- Workstation

1980

1990

- OSI

- LAN

Reti satellitari

- Larga diffusione dell'Internet

- ISDN

Reti di TLC

Evoluzione

(Cont.)

Electronica/Informatica

- Sistemi distribuiti
- AI

- Macchine ad elevato parallelismo

- WWW

1990

2000

- ISDN

- ATM

- Radiomobile 2G (GSM, CDMA)

- WLAN

- Reti ottiche e «*optical bubble*»

- GPRS

Reti di TLC

Evoluzione

(Cont.)

Electronica/Informatica

- WWW
- Sistemi distribuiti
- Intelligenza Artificiale
- Macchine ad elevato parallelismo

- *Web Services, Grid, Data Centers, supercomputing*

- *Cloud Computing*

2000

Radiomobile 3G
(CDMA 2000, UMTS, Edge)

2010

Radiomobile 4G, LTE

• IP
multiservizio,
MPLS, GMPLS

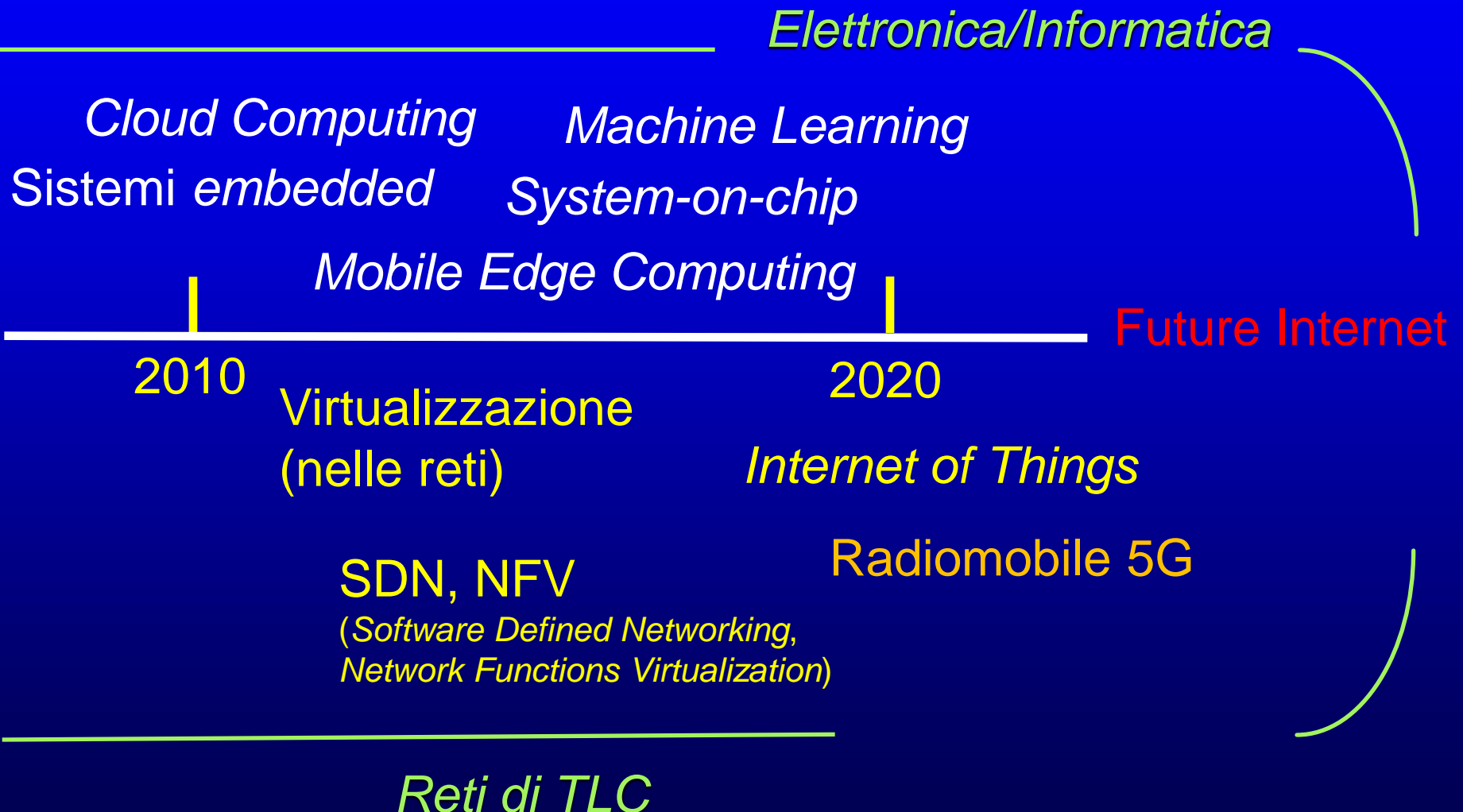
Radiomobile 3.5G
(HSPA)

- p2p
- Social Networks
- Cognitive Networks
- "Green" Networking

Reti di TLC

Evoluzione

(Fine)



Evoluzione

Qualche dato sull'Internet

- **Per il traffico IP globale è prevista una crescita di 3 volte nel quinquennio.** Globalmente, il traffico IP dovrebbe crescere ad un tasso annuale (*Compound Annual Growth Rate, CAGR*) del 26 % tra il 2017 e il 2022. Il traffico IP mensile è previsto a 50 GB pro-capite nel 2022, da 16 GB pro-capite del 2017.
- **Si prevede che il traffico IP annuale globale raggiunga 4.8 ZB (zettabyte) per anno nel 2022**, pari a 396 exabyte (EB) al mese. Nel 2017, il traffico IP globale era 1.5 ZB per anno, ovvero 122 EB al mese. Lo **zettabyte** corrisponde a 1000 exabyte ed è pari a 10^{21} byte, ovvero 1000 miliardi di Gbyte). Per aver un'idea dell'ordine di grandezza, si pensi che 1 zettabyte/anno, ovvero ca. 83 exabyte (1 miliardo di Gbyte) al mese, equivarrebbe al traffico generato da ca. 42 milioni di persone che scarichino *Avatar* in 3D in *streaming*, con continuità per tutto il mese.
- **Il traffico Internet nelle ore di punta (*busy-hour*) cresce più rapidamente di quello medio (4.8 volte contro 3.7 nel quinquennio).**

Evoluzione

Qualche dato sull'Internet

- **Globalmente, il traffico IP video raggiungerà l'82% di tutto il traffico IP (*business+consumer*) nel 2022**, partendo dal 75% del 2017 (con un CAGR del 29%). A titolo di esempio, una persona impiegherebbe ca. 5 milioni di anni per vedere la quantità di video che attraverserà le reti IP globali in un mese nel 2019 (ca. 1 milione di minuti di contenuti video ogni secondo).
- **Globalmente, il traffico dati mobile crescerà di 7 volte tra il 2017 e il 2022**, con un CAGR del 46%, raggiungendo 77.5 exabyte/mese entro il 2022; la crescita prevista è ca. **2 volte più veloce di quella del traffico IP fisso**. Il traffico dati mobile è stato il 9% del traffico totale IP nel 2017, e salirà al 20% nel 2019.
- **Il traffico da dispositivi *wireless* WiFi e mobili ammonterà al 71% del traffico IP totale nel 2022**, contro il 29% di quello generato da dispositivi cablati. Nel 2017 la frazione attribuita a dispositivi cablati era già inferiore a metà del totale (48%).

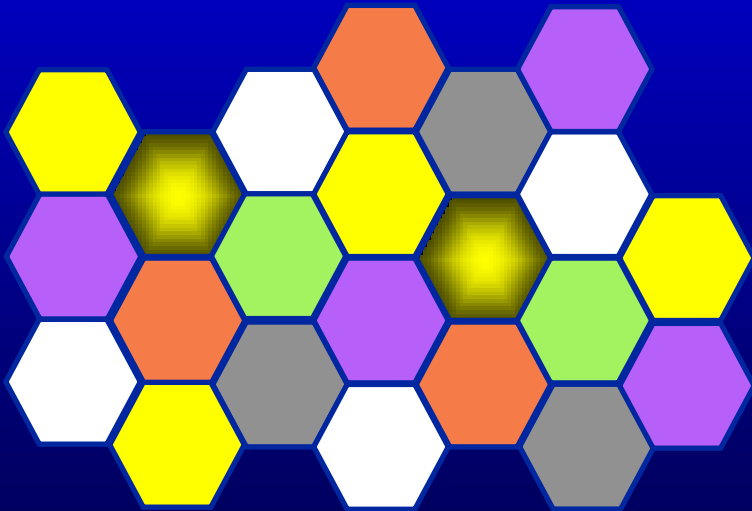
Evoluzione

Qualche dato sull'Internet

- **Le connessioni *Machine-to-Machine* (M2M) costituiranno più della metà del numero globale di connessioni tra dispositivi nel 2022.** La frazione di connessioni M2M salirà dal 34% del 2017 al 51% nel 2022 (14.6 miliardi di connessioni M2M).
- **Il traffico generato da *Smartphone* supererà quello generato da PC.** Nel 2018, i PCs producevano il 41% del volume totale di traffico IP, che calerà al 19% nel 2022. Il traffico da *Smartphone* salirà al 44% del totale del traffico IP nel 2022, dal 18% del 2017.
- **Il numero di dispositivi connessi a reti IP dovrebbe eccedere tre volte la popolazione mondiale entro il 2022** (ca. 3.6 dispositivi connessi in rete pro-capite, da 2.4 nel 2017; 28.5 miliardi in totale nel 2022, da 18 miliardi nel 2017).

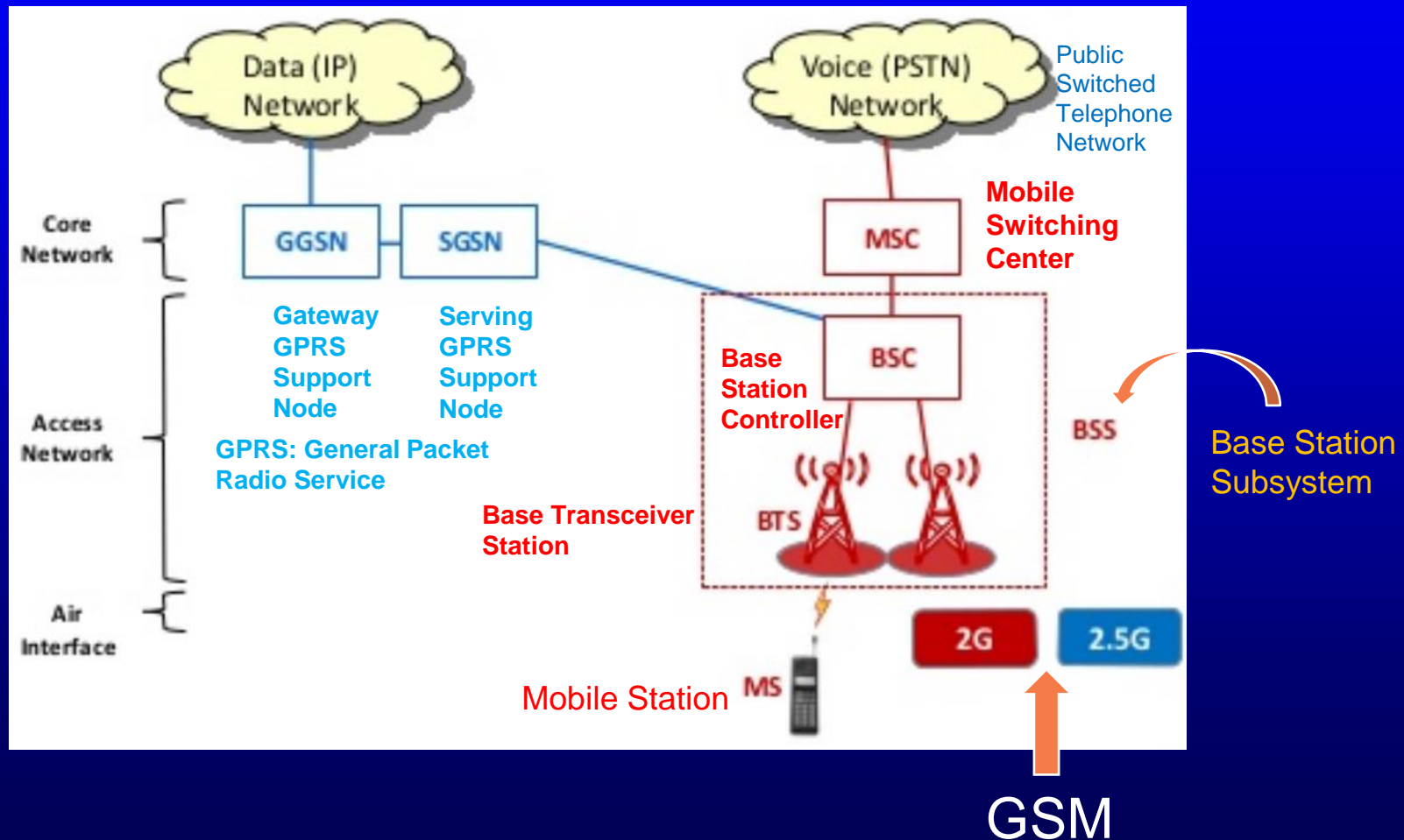
Cos'è una rete radiomobile cellulare?

- E' una rete il cui ultimo segmento è *wireless* (non-cablato, tipicamente radio), organizzata in zone geografiche (celle), ognuna servita da almeno una *stazione radio base* (o *transceiver*, *BTS*) a cui si collegano i terminali mobili di utente (UE – *User Equipment*) all'interno della cella, nelle due direzioni (*uplink* e *downlink*). La BTS è collegata a sua volta alla rete fissa (*backhaul*).



I vari colori indicano il **riuso di risorse** nelle diverse zone geografiche (tipicamente, **bande di frequenza**, ma via via le risorse utilizzabili sono diventate anche **tempo** (*slot*), **sequenze di codice** e **potenza di trasmissione**).

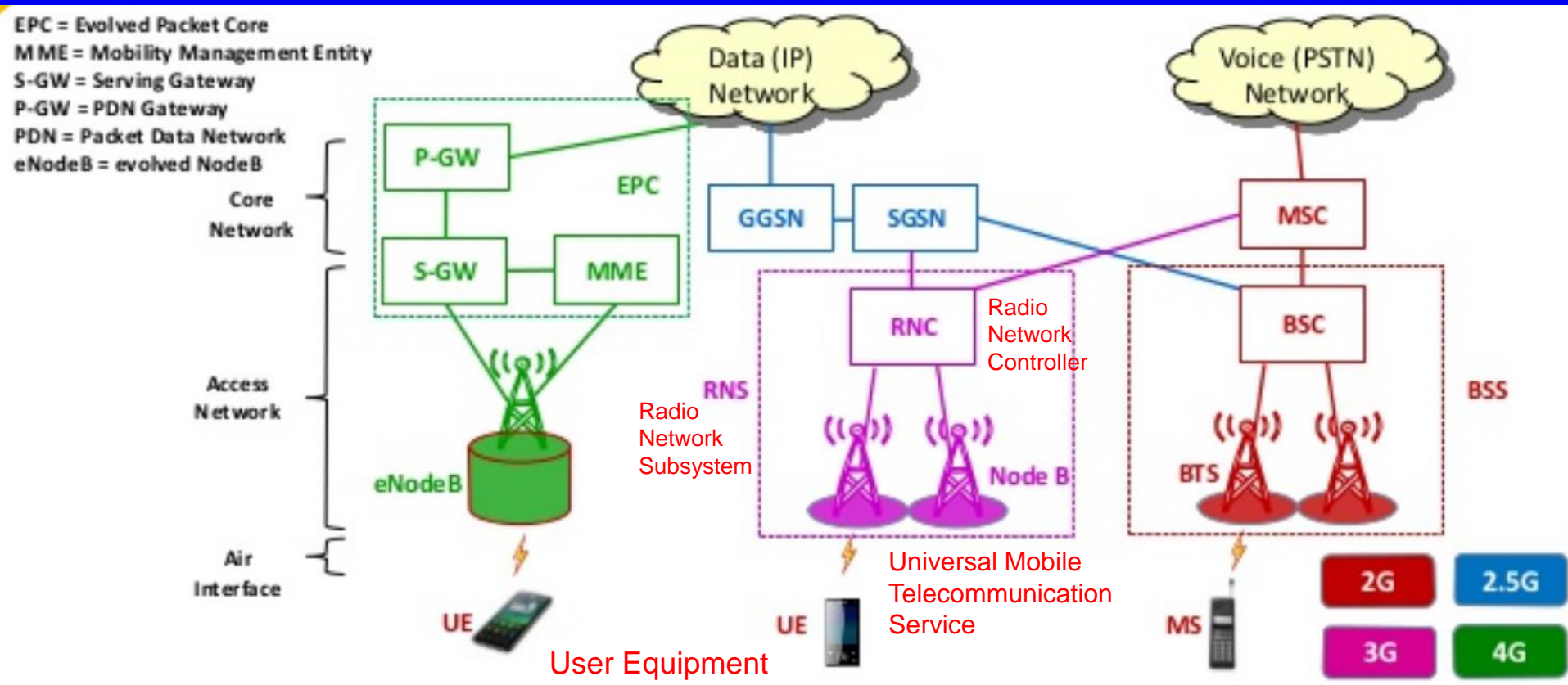
Reti radiomobili cellulari ...e com'è strutturata? 2G – 2.5G



Reti radiomobili cellulari

...e com'è strutturata?

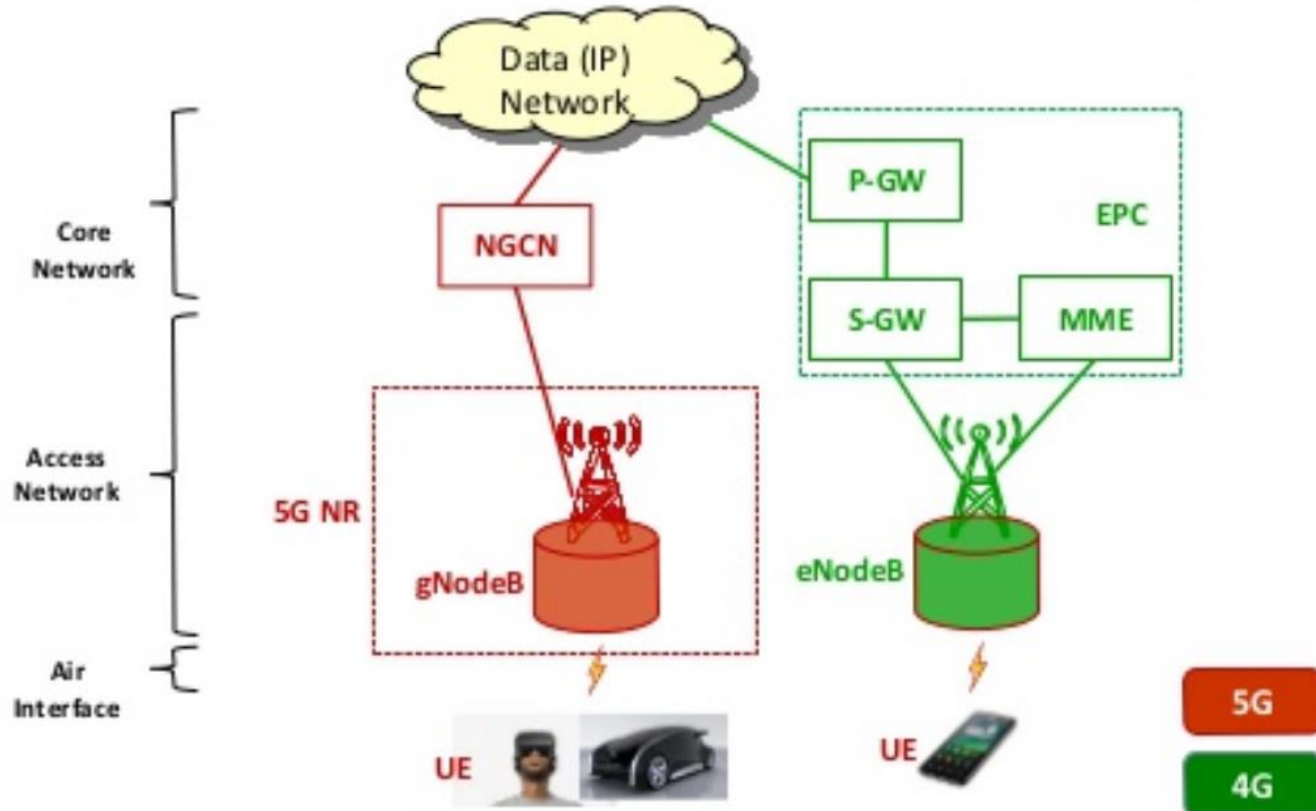
3G (UMTS) – 4G (Long Term Evolution, LTE)



Source: <https://www.slideshare.net/3G4GLtd/highlevel-architecture-of-mobile-cellular-networks-from-2g-to-5g>

Reti radiomobili cellulari ...e com'è strutturata? LTE – 5G (Phase 2)

NGCN = Next Generation Core Network
gNodeB = next generation NodeB
NR = New Radio



Reti radiomobili cellulari

Da 1G a 5G

| Generation | Speed | Technology | Key Features |
|--|--|---|---|
| 1G (1970–1980s) | 14.4 Kbps | AMPS,NMT, TACS | Voice only services |
| 2G (1990 to 2000) | 9.6/ 14.4 Kbps | TDMA,CDMA | Voice and Data services |
| 2.5G to 2.75G (2001-2004) | 171.2 Kbps 20-40 Kbps | GPRS | Voice, Data and web mobile internet, low speed streaming services and email services. |
| 3G (2004-2005) | 3.1 Mbps 500- 700 Kbps | CDMA2000 (1xRTT, EVDO) UMTS and EDGE | Voice, Data, Multimedia, support for smart phone applications, faster web browsing, video calling and TV streaming. |
| 3.5G (2006-2010) | 14.4 Mbps 1- 3 Mbps | HSPA | All the services from 3G network with enhanced speed and more mobility. |
| 4G (2010 onwards) | 100-300 Mbps. 3-5 Mbps 100 Mbps (Wi-Fi) | WiMax, LTE and Wi-Fi | High speed, high quality voice over IP, HD multimedia streaming, 3D gaming, HD video conferencing and worldwide roaming. |
| 5G (Expecting at the end of 2019) | 1 to 10 Gbps | LTE advanced schemes, OMA and NOMA | Super fast mobile internet, low latency network for mission critical applications, Internet of Things, security and surveillance, HD multimedia streaming, autonomous driving, smart healthcare applications. |

Orthogonal / Non-Orthogonal Multiple Access

www.rfpage.com

LTE - 5G

Caratteristiche del 4G

- Velocità di trasmissione più elevate (fino a 1 Gbit/s)
- Mobilità e sicurezza migliorate
- Latenza ridotta per applicazioni *mission-critical*
- *Video streaming* e giochi online ad alta definizione
- *Voice over LTE* – VoLTE (uso di pacchetti IP anche per il segnale vocale)

Caratteristiche della tecnologia 5G

- Accesso Internet mobile ultra veloce (fino a 10 Gbit/s)
- Bassa latenza – pochi millisecondi per applicazioni *mission-critical*
- Riduzione dei costi complessivi per i dati
- Maggior affidabilità e sicurezza della rete
- Uso di tecnologie quali piccole celle e *beam-forming* per miglior efficienza
- Facilità di miglioramenti futuri grazie alla accresciuta compatibilità delle funzionalità di rete
- L'infrastruttura *Cloud* comporta maggior efficienza energetica, flessibilità di adattamento e gestione delle risorse, facilità di manutenzione e aggiornamento

5G

Ma il 5G non è solo il segmento radio...

Sono forse anche più rilevanti, dal punto di vista dell'Internet del futuro (*Future Internet*)

- L'integrazione più stretta con la rete fissa, con l'uso molto spinto di **virtualizzazione** e “**softwarizzazione**” nella rete
- I legami con il **cloud** e con il **Mobile Edge Computing (MEC)**
- La trasformazione delle “applicazioni verticali” (*vertical applications*) da **cloud-native** a **5G-ready**, favorendone l'interazione bidirezionale con la rete attraverso il **Network Service Provider (NSP)**.

Per capirlo meglio, è necessario dire qualcosa su *cloud*, MEC e virtualizzazione/softwarizzazione nella rete (NFV/SDN).

Cos'è il cloud

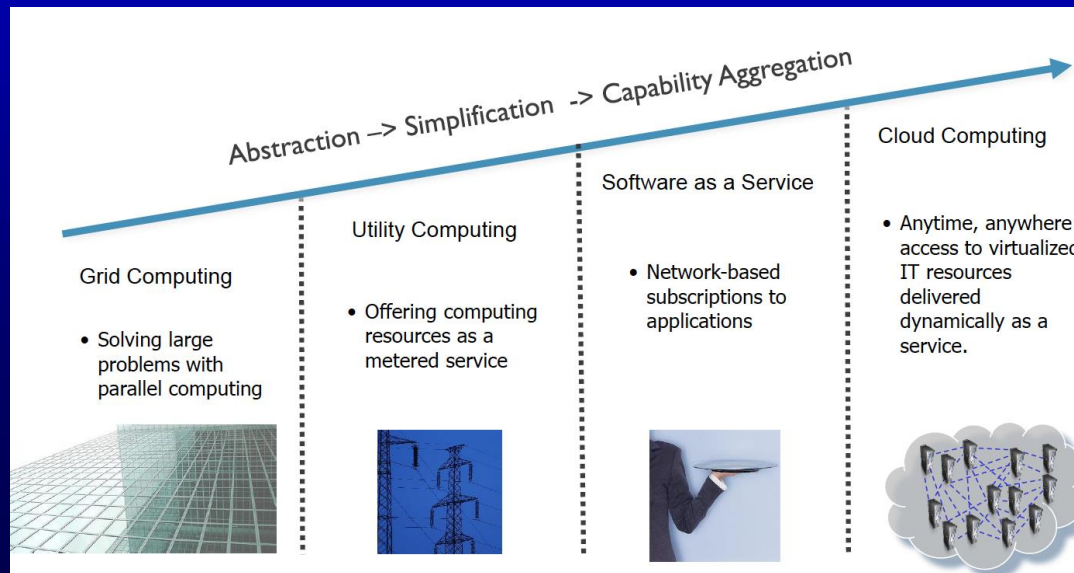
Cloud Computing è un termine generale che indica una nuova classe di *network-based computing* che si “appoggia” sull'Internet

- Un insieme di hardware integrato in rete, di software e di infrastruttura Internet (una “piattaforma” – *platform*)
- L'uso dell'Internet per comunicazione e trasporto dell'informazione consente di fornire hardware, software e servizi di rete agli utenti
- Queste piattaforme nascondono la complessità e i dettagli dell'infrastruttura sottostante a utenti e applicazioni, mettendo a disposizione semplici interfacce grafiche o API (*Application Programming Interface*)

Cloud computing

Cos'è il cloud

- Inoltre, la piattaforma offre servizi su richiesta (*on demand*), che sono sempre attivi (*always on*), ovunque e in ogni momento accessibili
- Tariffati per uso e quando serve, elastici
 - ❑ In grado di scalare verso l'alto e verso il basso in capacità e funzionalità
- Servizi hardware e software disponibili a
 - ❑ Utenti privati generici, imprese grandi, medie e piccole e mercati *business*

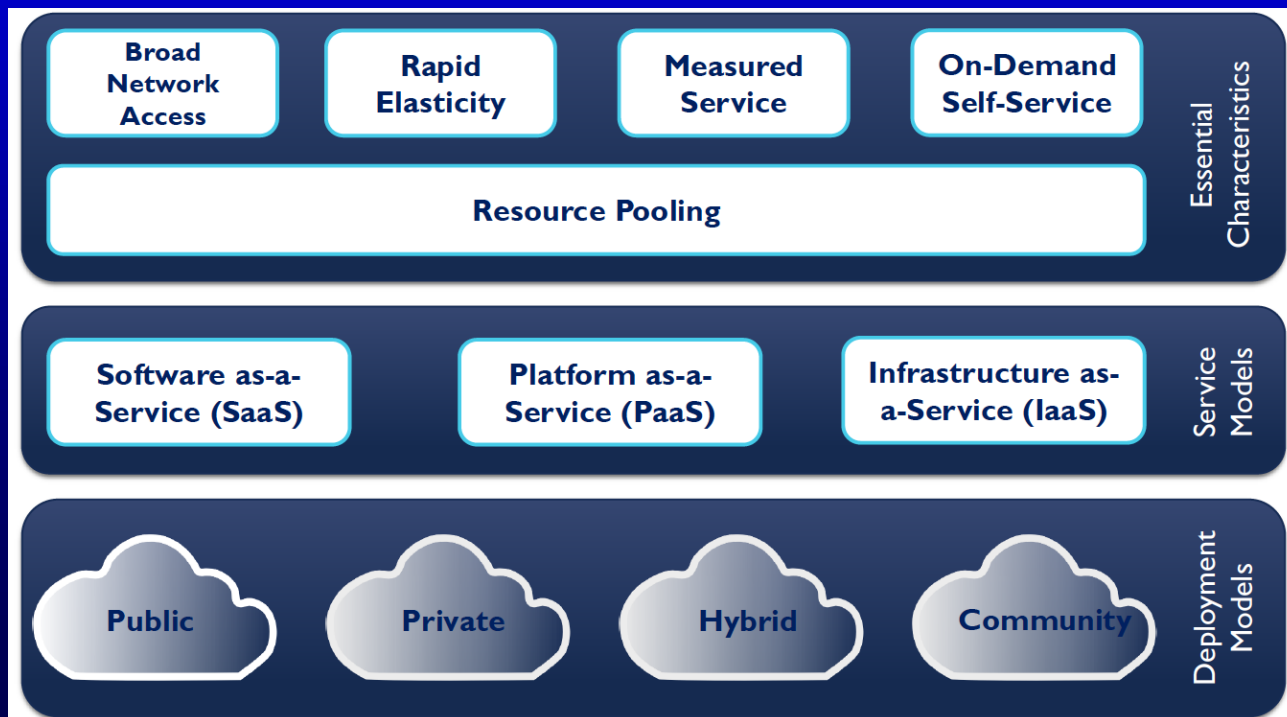


Cloud computing

Cos'è il cloud

“Il **Cloud computing** è un modello per abilitare l'accesso da rete ubiquo, conveniente, su richiesta ad un insieme condiviso di risorse di calcolo configurabili (e.g., reti, server, memoria di massa, applicazioni e servizi) che possano essere rapidamente messe in opera e rilasciate con minimo sforzo di gestione o interazione con il fornitore del servizio. Questo modello di **cloud** è composto da 5 caratteristiche essenziali, 3 modelli di servizio e 4 modelli di messa in opera.”

NIST – National Institute of Standards and Technology, <https://www.nist.gov/>



Cloud computing

... e perché il cloud?

Una risposta articolata trova le sue radici negli sviluppi recenti in termini **tecnologici** e di **mercato** dell'ICT (*Information and Communication Technologies*):

- La cosiddetta “rivoluzione dei dati” (***data revolution***)
- Aspetti socio-economici comuni dell'era industriale:
 - *La “mercificazione” (Commodification) di nuovi servizi (virtual/cloud/personal/social/...)*
 - *La trasformazione in merce di uso comune (Commoditization) di risorse hardware e software (e.g., risorse di memorizzazione)*

... e perché il cloud?

- Come all'inizio dell'*Era Industriale*, questo processo tende a favorire la progettazione e la realizzazione di **un gran numero di nuovi servizi (merci) con un sorprendentemente breve tempo di messa in opera sul mercato (time-to-market) e con prezzi estremamente più bassi di quelli correnti.**
- Il “*paradosso di Jevons*”, originariamente formulato osservando il consumo di carbone nell'Era Industriale, suggerirebbe che questi processi conducano ad **un nuovo mercato di massa per servizi basati sui dati e ad un nuovo e significativo aumento nella domanda di risorse ICT**; pertanto
 - molti più datacenter,
 - maggiori risorse computazionali e di memorizzazione,
 - maggiori richieste di banda per la rete
 - latenza molto ridotta

5G e virtualizzazione nella rete

E allora la rete?

Con l'aumento della richiesta di banda e di capacità di elaborazione, accompagnati dalla necessità di latenza ridotta e dall'aumento del traffico generato dagli utenti, altri fattori prima non così evidenti sono emersi riguardo alla rete:

- L'infrastruttura tradizionale di rete fa uso di una grande varietà di dispositivi hardware, dedicati a compiti specifici, che sono tipicamente **poco flessibili, inefficienti dal punto di vista energetico, e incapaci di sostenere la riduzione del *Time-to-Market* per i nuovi servizi.**

5G e virtualizzazione nella rete

E allora la rete?

Dato che uno dei compiti principali della rete è l'allocazione delle risorse, occorre che essa diventi più dinamica, ottimizzata nelle prestazioni e efficiente dal punto di vista dei consumi energetici e dei costi.

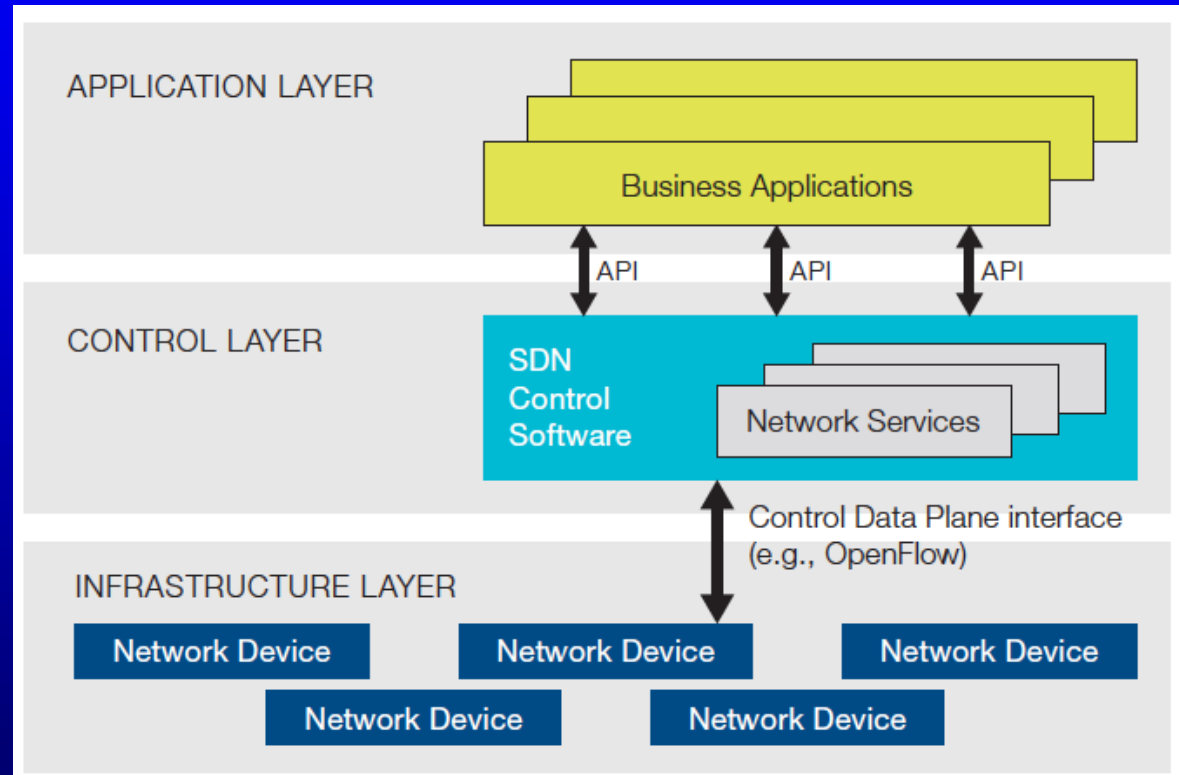
Le *keyword* sono dunque

- ***Flessibilità***
- ***Programmabilità***
- ***Efficienza energetica***

5G e virtualizzazione nella rete

Flessibilità e programmabilità: SDN

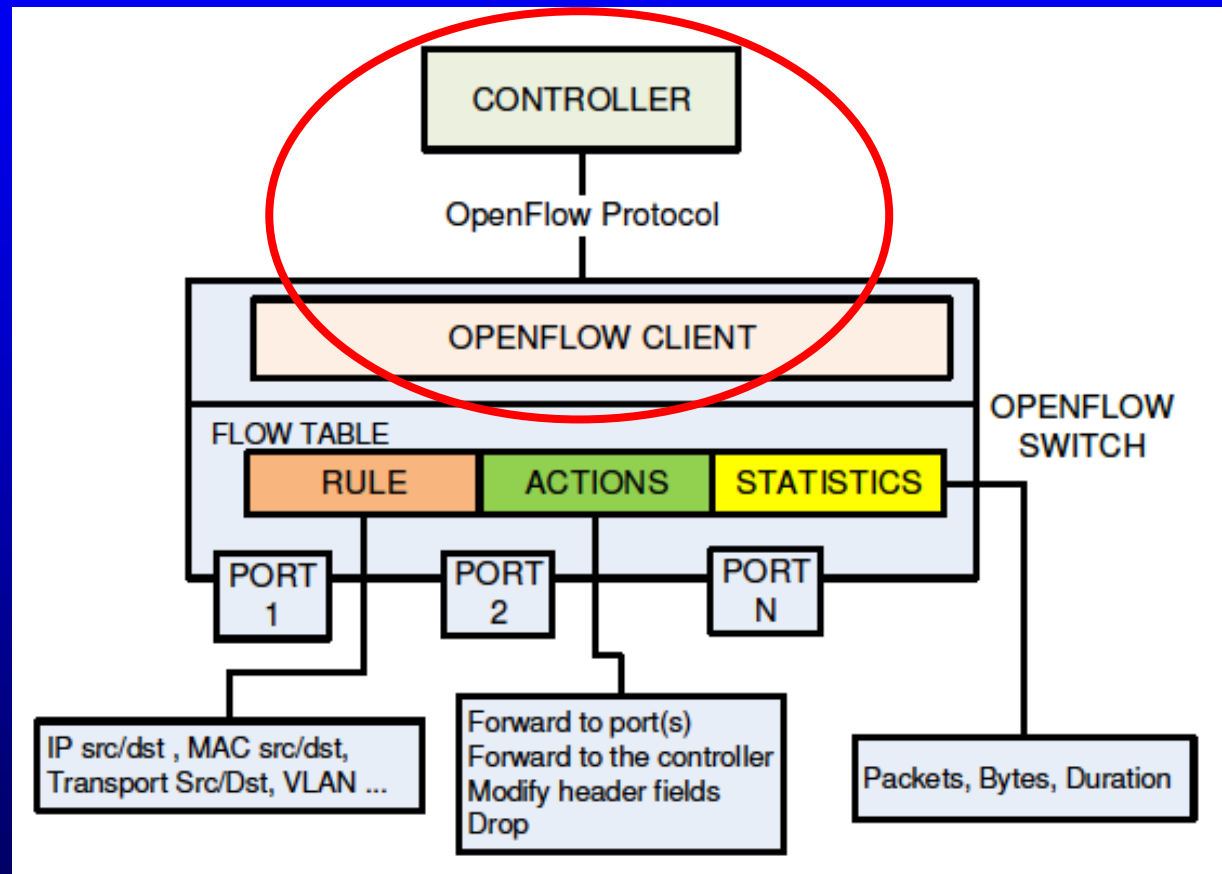
- Il *Software Defined Networking (SDN)* disaccoppia il “Piano di Controllo” e il “Piano Dati” (di inoltro – *Forwarding*).



Source: *Software-Defined Networking: The New Norm for Networks*, Open Networking Foundation (ONF) White Paper, April 2012.

Flessibilità e programmabilità: SDN / OpenFlow

- Matching rules
- Actions
- Counters
- Acting at *flow* level



Flessibilità e programmabilità: **virtualizzazione delle funzionalità di rete**

“Virtualizzazione significa che le Applicazioni possono usare una risorsa senza preoccuparsi di dove risieda, quale ne sia l’interfaccia tecnica, come sia stata realizzata, quale piattaforma usi, e quale quantità di essa sia disponibile.”

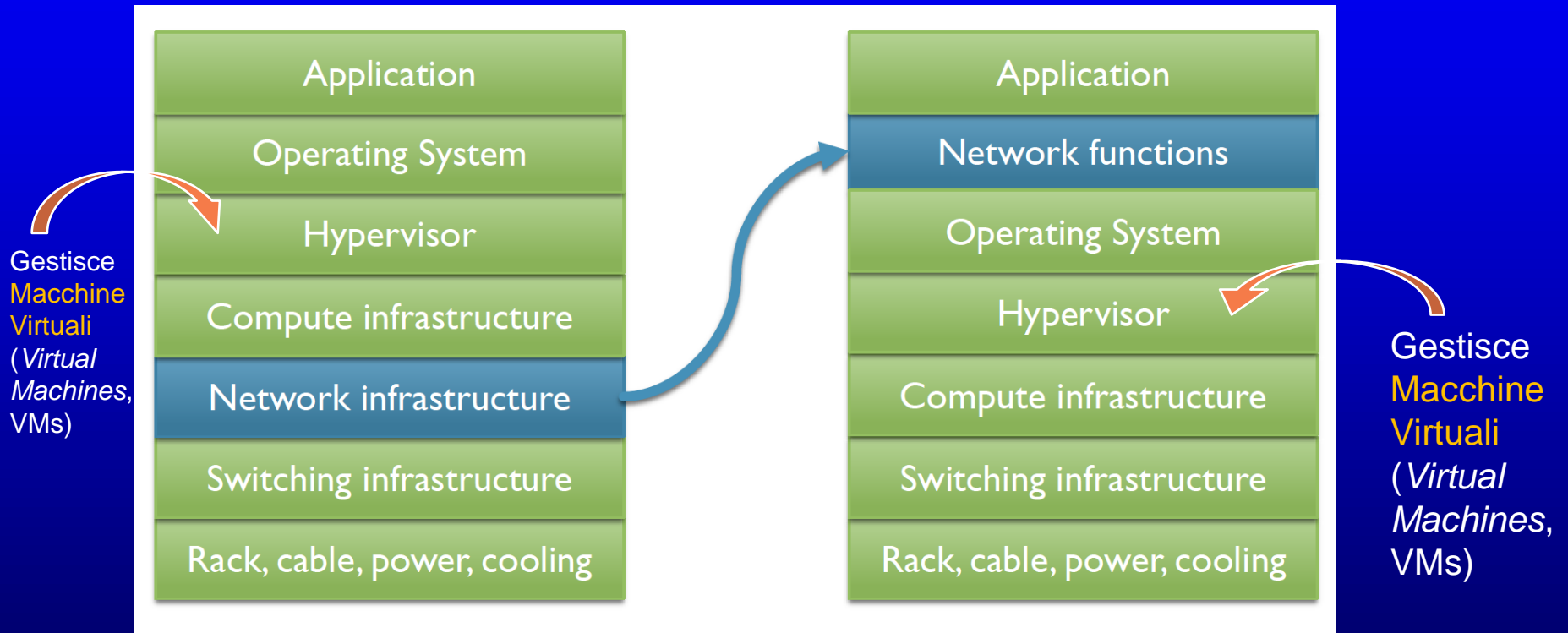
[R. F. Van der Lans, “Data Virtualization for Business Intelligence Systems”]

La *Network Functions Virtualization (NFV)* “... mira a trasformare il modo in cui gli operatori di rete strutturano e rendono operativi le reti e i servizi di rete, tramite l’evoluzione di **tecnologie standard di virtualizzazione IT** (Information Technology) per consolidare un gran numero di tipologie di dispositivi di rete su **server** a standard industriale di fascia alta, apparati di commutazione (**switches**) e di memorizzazione (**storage**).”

5G e virtualizzazione nella rete

Flessibilità e programmabilità: **virtualizzazione delle funzionalità di rete**

...ovvero, in termini di software:



Nuove sfide progettuali – scalabilità nel *cloud/edge* piuttosto che ottimizzazione di hardware dedicato

Nuove sfide operative – sicurezza, approvvigionamento di risorse, gestione (*management*)...

5G e virtualizzazione nella rete

Fog/Edge Computing

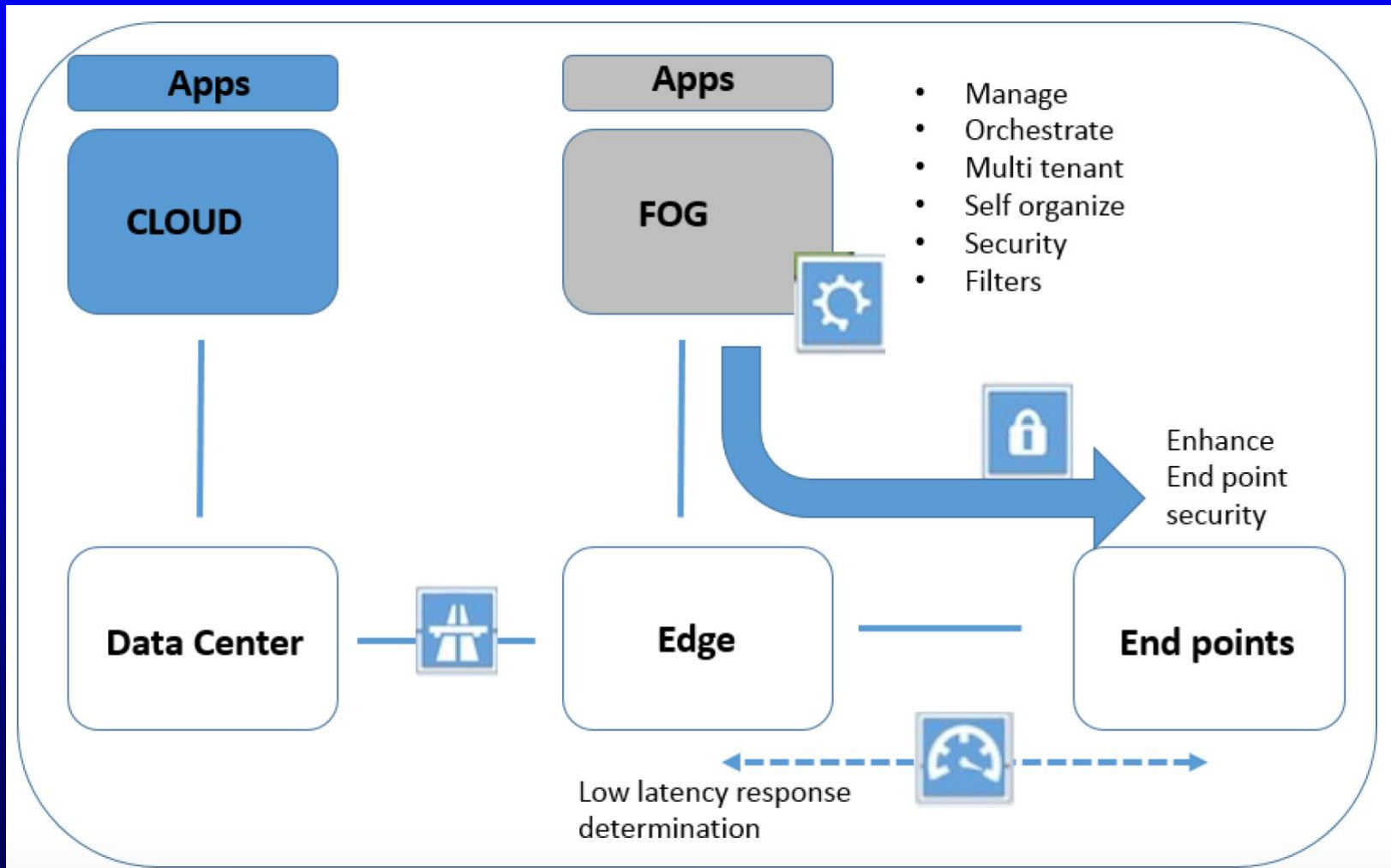
- I paradigmi *Fog/Edge Computing* rappresenteranno la piattaforma chiave per **integrare effettivamente il cloud con l'IoT e le tecnologie di rete**.
- Per andare incontro alle richieste in termini di prestazioni (in particolare riguardo alla **latenza end-to-end**) dei servizi di nuova generazione per popolazioni di utenti ad altissima densità, si prevede che nel prossimo futuro l’**“intelligenza” del cloud debba spostarsi**, almeno parzialmente, **da un numero limitato di datacenter centralizzati e diventare più pervasiva, distribuita e più vicina agli utenti e ai loro “oggetti” (smart “things”)**.

Fog/Edge Computing

- Tecnologi e analisti del mercato ICT prevedono forti investimenti per installare **micro- o pico-datacenter** (**datacenter-in-a-box**) nell'infrastruttura degli operatori ICT e delle imprese.
- E' ragionevole supporre che i dispositivi **hardware** non siano più dimensionati soltanto per **andare incontro ai requisiti computazionali e di memorizzazione, ma anche in considerazione della copertura geografica** di questi "hot-spot" computazionali e di **data caching** in modo simile a quanto avviene con le reti mobili.

5G e virtualizzazione nella rete

Fog/Edge Computing



5G e virtualizzazione nella rete

IoT e Fog/Edge Computing

Data Points, Variety & Velocity, Security, Resiliency, Latency

Hundreds
Data Centre/Cloud
Hosting IoT Analytics



Transactional response times

Thousands
Backhaul

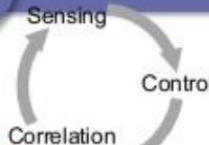


Core Network

Tens of Thousands to Millions
Multi-Service Edge
3G/3G/LTE/WiFi/RF Mesh/PLC



Fog Network



Millisecond /seconds response

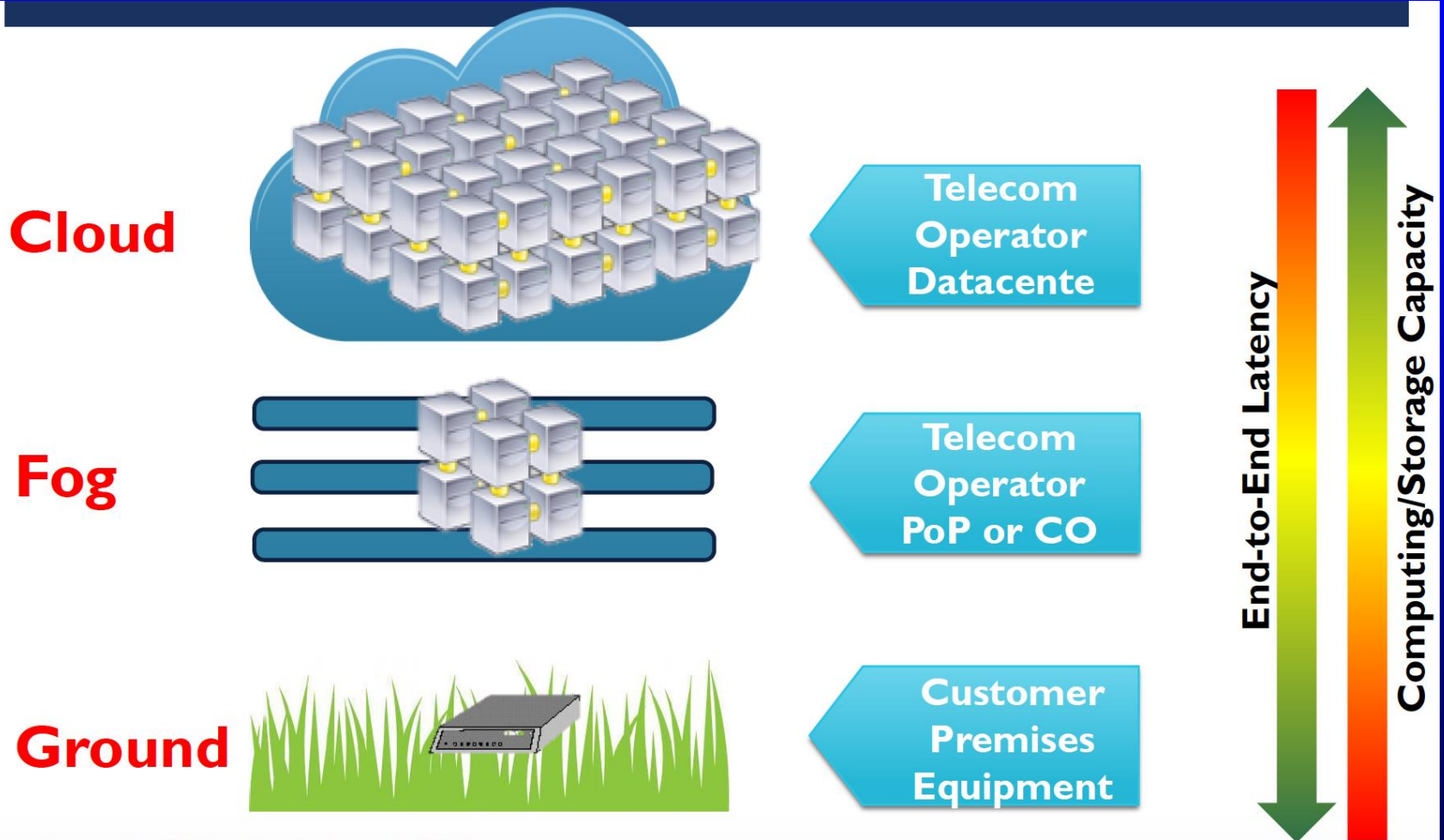
Tens of Millions to Billions
Embedded Systems & Sensors
Low power, low bandwidth



Smart Objects/Sensors

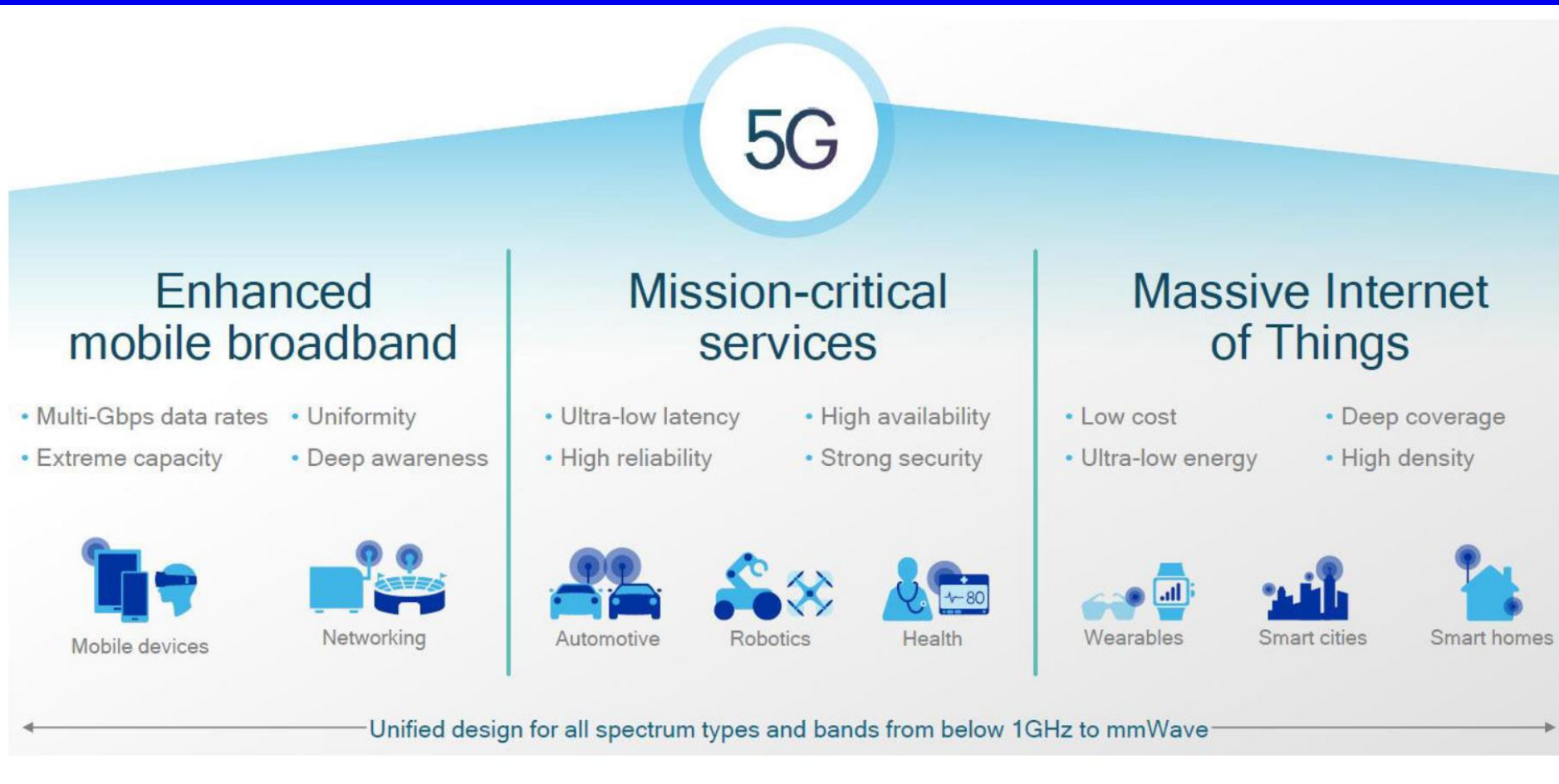
5G e virtualizzazione nella rete

Posizionamento e interazione *NFV-Edge*



Source: NTT, OpenStack Summit, 2015

5G e virtualizzazione nella rete ...e integrazione nel 5G



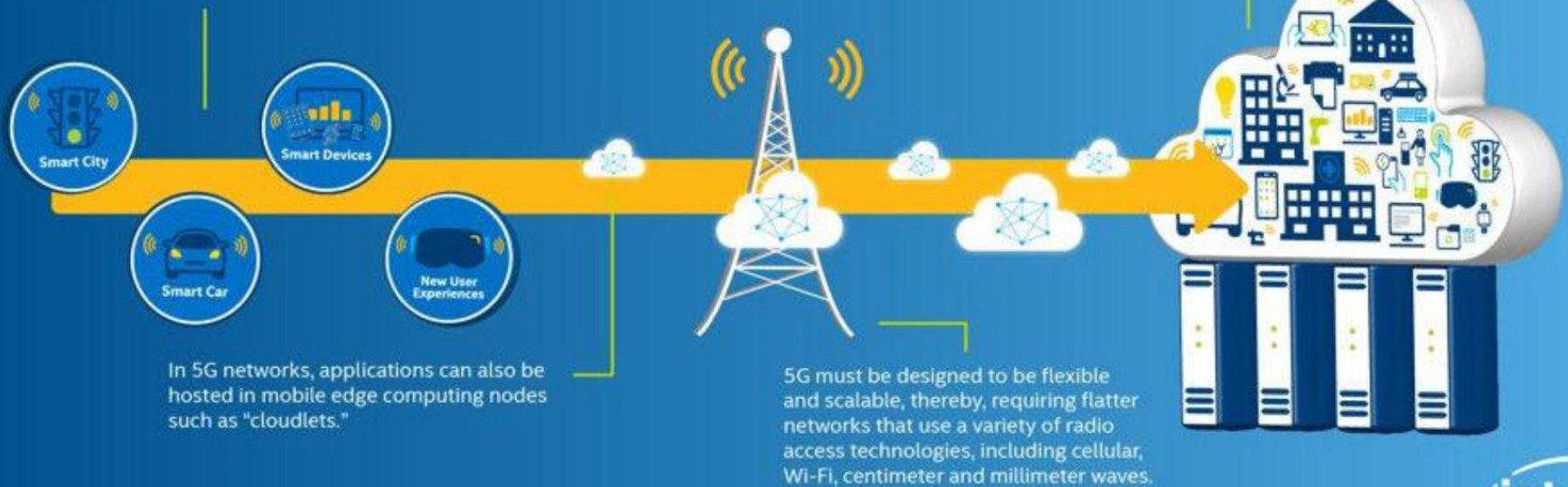
5G e virtualizzazione nella rete

5G: dai dispositivi al *datacenter*

By 2020, 50 billion smart devices are expected to be in use.* 5G will help support the massive growth in the Internet of Things and enable devices to communicate with each other seamlessly through the convergence of mobile communications and computing. 5G networks will also diffuse intelligence across the entire network, from the device to the data center.

Using fast wireless connection to cloud computing and data services, and to other connected devices, 5G will enable a variety of new capabilities, user experiences and devices such as self-driving cars with built-in intelligent traffic routing, improved city infrastructures, intelligent machines and sensors, augmented reality and more.

5G's combination of high-speed wireless communications and efficient cloud computing means that even the tiniest devices can access virtually unlimited computing power.



In 5G networks, applications can also be hosted in mobile edge computing nodes such as "cloudlets."

5G must be designed to be flexible and scalable, thereby, requiring flatter networks that use a variety of radio access technologies, including cellular, Wi-Fi, centimeter and millimeter waves.

Qualche considerazione sull'impatto sociale di tecnologie e servizi ICT

- La tecnologia di per sé non è né buona né cattiva. Dipende dall'uso che se ne fa, ma è bene ricordare che, a differenza della ricerca scientifica pura, lo sviluppo tecnologico è spesso guidato dal mercato.
- L'Internet in generale e il 5G non fanno eccezione, con buona pace di chi pensava che una determinata rivoluzione tecnologica avrebbe potuto cambiare i tratti fondamentali dello sviluppo economico.
- Tuttavia, gli strumenti tecnologici, e gli sviluppi dell'ICT in particolare, sono mezzi importanti, il cui studio sociale, economico e politico non va trascurato.

Qualche considerazione sull'impatto sociale di tecnologie e servizi ICT

- E' stato osservato che gli studi sull'Internet (*Internet Studies, IS*) "... dovrebbero porre un'attenzione specifica sull'analisi di come il capitalismo influenza ed è influenzato [*shapes and is shaped*] dall'Internet. Questo implica la necessità di ripensare gli IS e riorientarli verso una critica dell'economia politica e una teoria critica dell'approccio all'Internet..." [C. Fuchs, N. Dyer-Whiteford (2013). Karl Marx @ Internet Studies. *New Media & Society*, 15(5), 782-796. <https://doi.org/10.1177/1461444812462854>]
- "...si parla molto di *social media*, ma Facebook, Twitter e Google sono grandi società per azioni private e come tali espressione di individualismo possessivo..." [C. Fuchs* (2017). Marx's Capital in the information age. *Capital & Class*, 41(1), 51–67. <https://doi.org/10.1177/0309816816678573>];
"...Google e Facebook non sono industrie della comunicazione, ma piuttosto le maggiori agenzie pubblicitarie al mondo. I "*Social media*" sono essenzialmente l'espressione di pubblicità mirata."
[<http://www.historicalmaterialism.org/node/963>]

Qualche considerazione sull'impatto sociale di tecnologie e servizi ICT

- “L’Internet o, in termini più ampi, la rivoluzione digitale, ha effettivamente cambiato il mondo a molti livelli. Ma ha anche fallito nel portare a compimento molte delle promesse che erano state viste come implicite nella sua tecnologia. Se ci si aspettava che l’Internet avrebbe portato mercati più competitivi e responsabili, governi aperti, fine della corruzione, e minori disuguaglianze—o, per dirla semplicemente, un aumento della felicità umana—è stata una delusione. In altri termini, se l’Internet ha veramente migliorato il mondo negli scorsi vent’anni quanto i suoi campioni sostenevano, ci sarebbe da chiedersi con preoccupazione dove sarebbe il mondo se non fosse mai esistita.”
- “...sosteniamo che ci sia stata—e rimanga—una straordinaria promessa democratica e rivoluzionaria in questa rivoluzione delle comunicazioni. Ma le tecnologie non cavalcano la storia a loro piacimento, nonostante i loro immensi poteri. Sono sviluppate in un contesto sociale, politico ed economico. E questo ha fortemente influenzato il percorso e la forma della rivoluzione delle comunicazioni.” [J. B. Foster, R. W. McChesney (2011). *The Internet’s Unholy Marriage to Capitalism*. *Monthly Review*.

<https://monthlyreview.org/2011/03/01/the-internets-unholy-marriage-to-capitalism/>

Commodification

Commodification (mid to late 1970s, Word): “a process by which something starts being sold for money, or its importance starts being measured according to its value in money” [Source: Longman Dictionary]

“Un processo in base al quale qualcosa inizia a essere venduto per denaro, o la cui rilevanza inizia ad essere misurata in termini del suo valore in denaro”

Commoditization

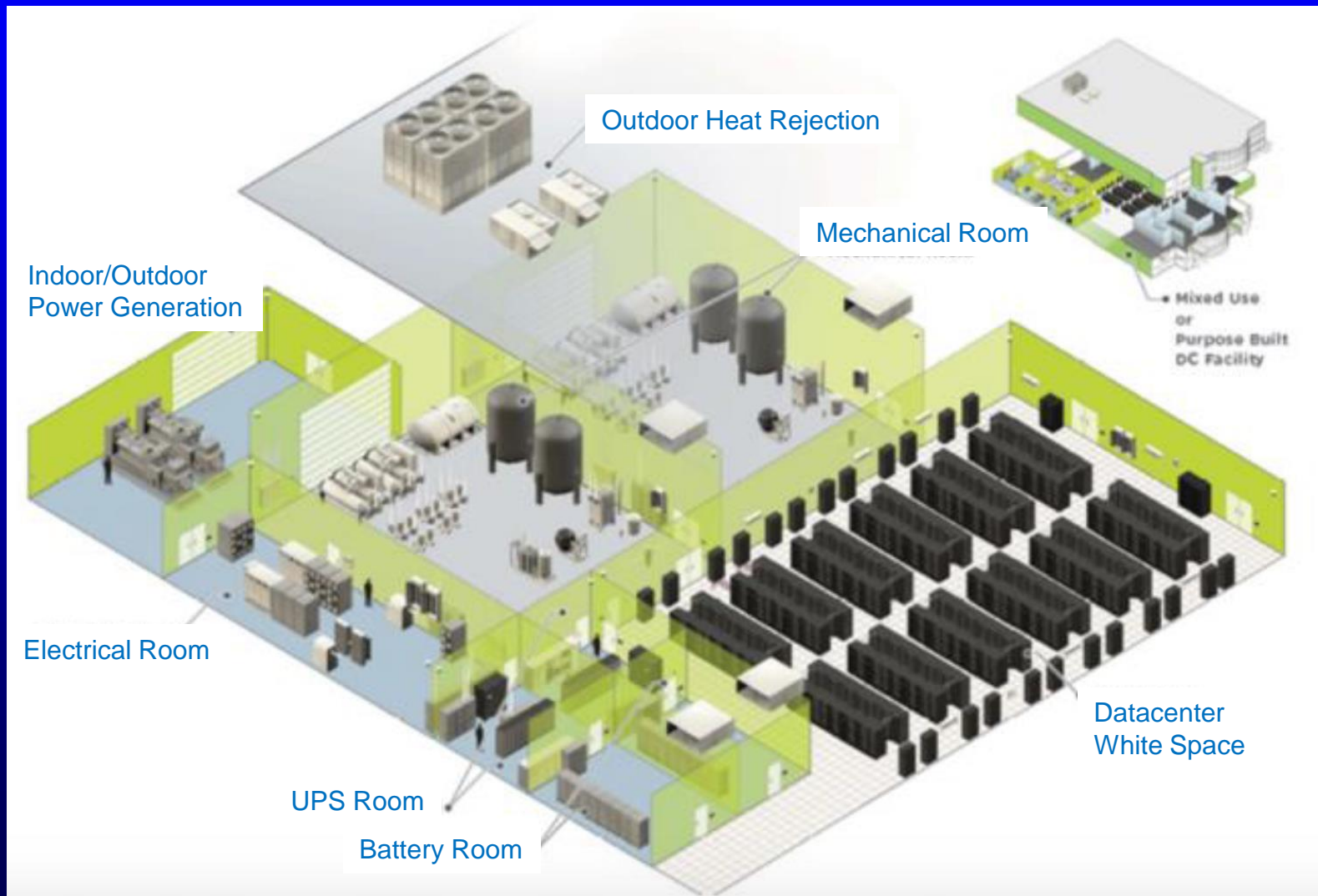
Commoditization: “a process by which goods that have economic value and are distinguishable in terms of attributes (uniqueness or brand) end up becoming simple commodities in the eyes of the market or consumers.”

[Source: Douglas Rushkoff, URL:

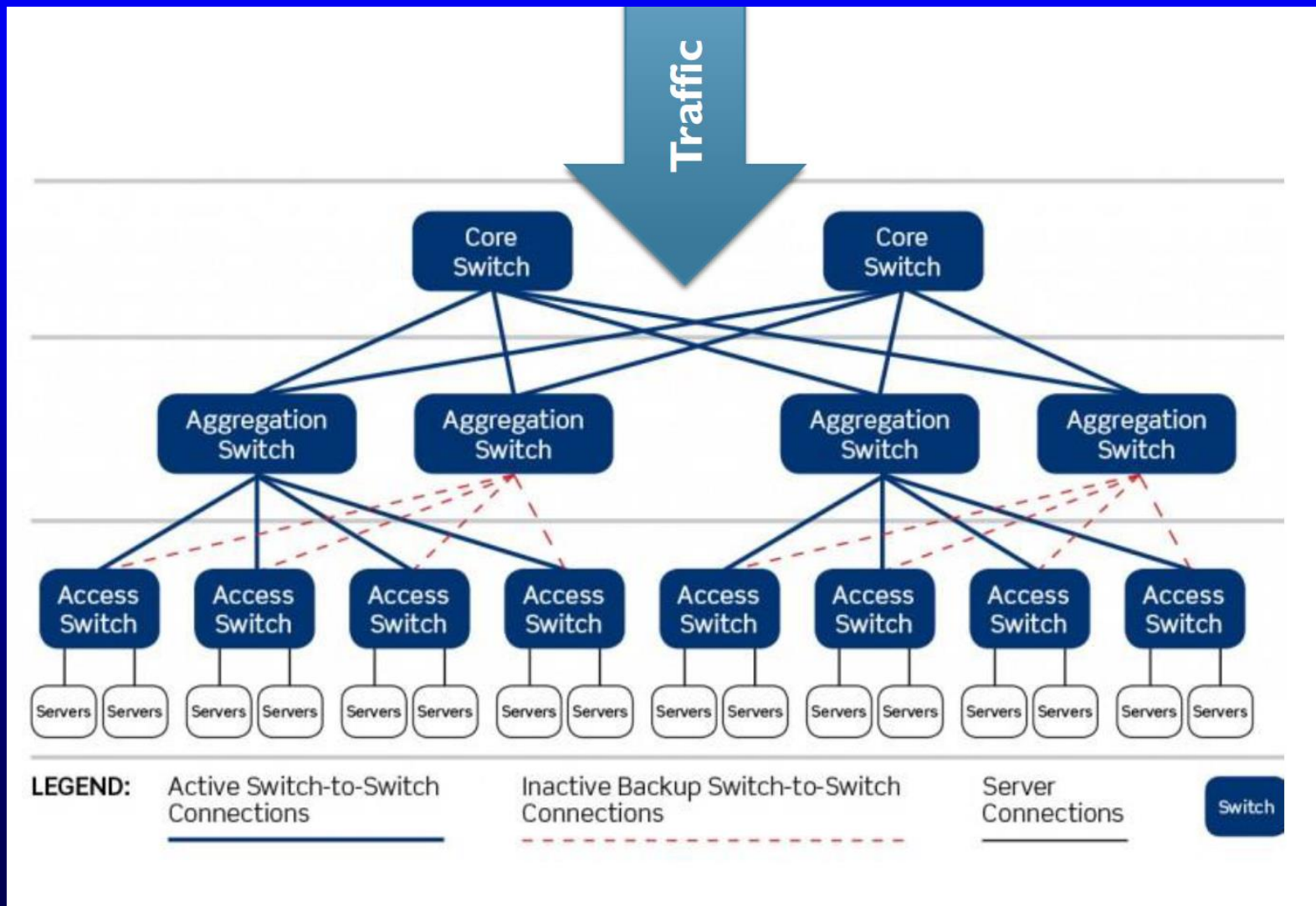
<http://www.rushkoff.com/commodified-vs-commoditized/>]

“Un processo in base al quale merci che hanno un valore economico e sono distinguibili in termini di attributi (unicità o marchio di fabbrica) finiscono per essere percepite come merci generiche agli occhi del consumatore”

Cos'è un Datacenter

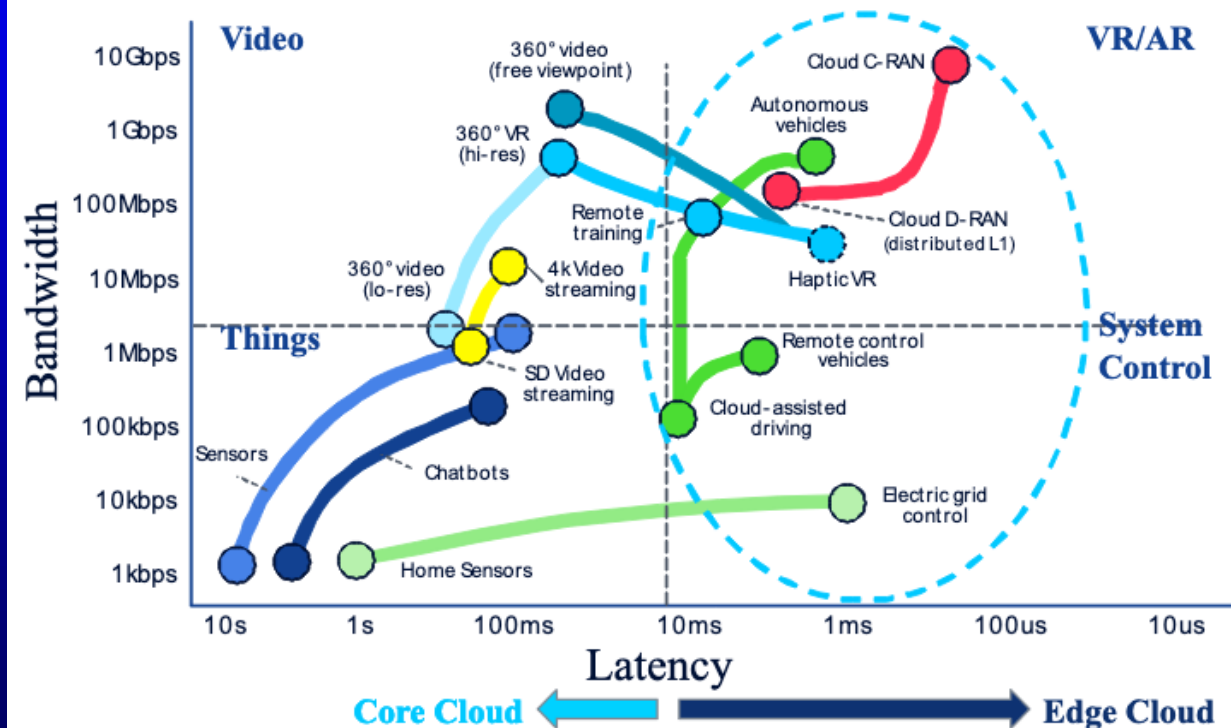


Cos'è un Datacenter



Requisiti di latenza

Imperceptible latency – New applications redefine network requirements



Low latency drivers

- Virtualized cloud access
- Interactively-intense AR/VR applications
 - virtual remote control
 - real time cloud rendering
 - haptic interaction
- Critical control systems
 - industrial/utility
 - vehicular automation