

L’ecosistema delle comunicazioni elettroniche¹

di Vincenzo Lobianco

1. Premessa

L’espressione “ecosistema delle comunicazioni elettroniche” viene qui utilizzata ad indicare una componente – fondamentale – dell’ecosistema digitale: di quest’ultimo, esistono definizioni più o meno condivise e consolidate², mentre assai meno ricorrente è il riferimento all’ecosistema delle comunicazioni elettroniche.

Il ricorso al termine “ecosistema” per le comunicazioni elettroniche è funzionale a rappresentare l’insieme delle componenti infrastrutturali necessarie ad erogare una gamma, sempre più ampia, di servizi finali resi possibili – cioè, abilitati – dallo sviluppo dei processi di digitalizzazione.

In questo modo, si ritiene che, individuando un ecosistema infrastrutturale delle comunicazioni elettroniche, divenga più agevole affrontare la questione – da cui parte questa ricerca – di quali siano le misure atte a favorire, nel settore delle telecomunicazioni, gli investimenti infrastrutturali sostenibili dal punto di vista ambientale, sociale, economico e finanziario.

Dalla proposta che qui si avanza di una “mappatura” delle infrastrutture che popolano l’ecosistema delle comunicazioni elettroniche non si deve meccanicamente derivare che le misure di intervento, ossia le politiche pubbliche, per il raggiungimento degli obiettivi comunitari o nazionali in materia di connettività digitale, debbano riguardare tutti e solo gli elementi inclusi nella suddetta mappa. È una delle questioni che affronteremo più avanti.

In ogni caso, ribadiamo che non si intende proporre una nuova categoria analitica, bensì solo uno schema concettuale da sottoporre alla discussione.

¹ È il testo del capitolo primo del libro di ASTRID, *Telecomunicazioni: una politica industriale per la doppia transizione*, a cura di Franco Bassanini e Antonio Perrucci, Bologna, Il Mulino, 2024.

² Si veda F. Bassanini e A. Perrucci, *Tutela della concorrenza e regolazione dei mercati digitali*, Rivista di Politica Economica, 1, 2020.

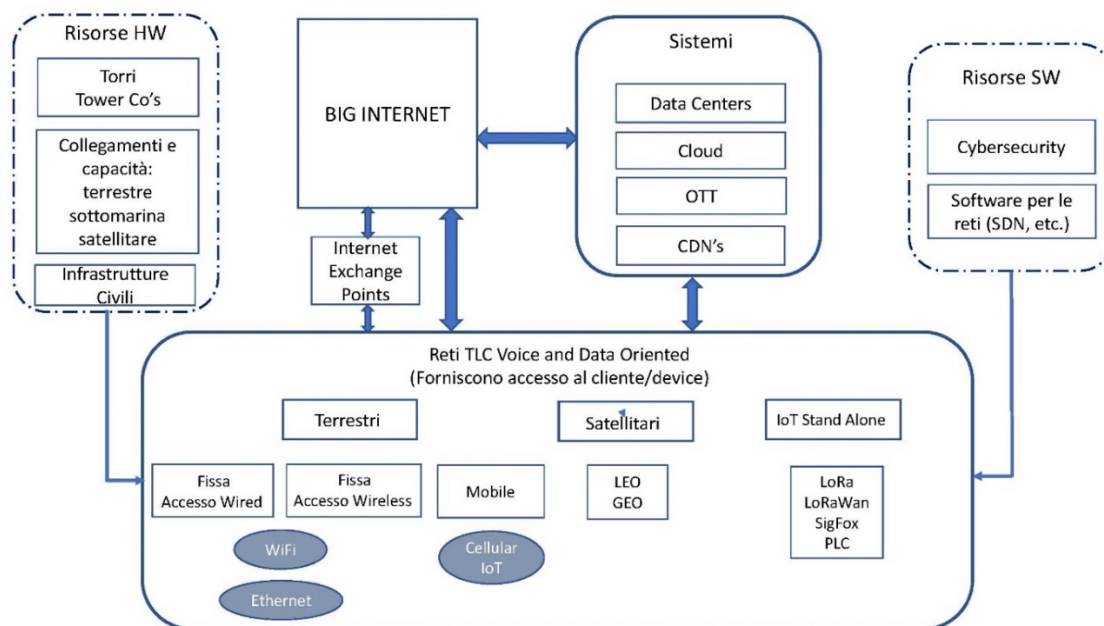


Fig. 1. Uno schema concettuale dell'ecosistema delle comunicazioni elettroniche, limitatamente alle infrastrutture.

La finalità dello schema è quella di mostrare in via semplificata le risorse e i servizi che vengono, in vari modi, utilizzati dalle differenti reti di comunicazione elettronica. Lo schema, inoltre, mostra i sistemi autonomi e complessi che si interconnettono con le reti e che offrono - e ricevono - servizi dalle reti stesse.

Lo schema – come anticipato - è di natura concettuale e ha lo scopo di identificare in maniera astratta gli elementi di interesse per lo studio che, però, non vengono rappresentati in modo funzionale³.

Infatti, alcuni degli elementi rappresentati, ad esempio il software di rete o le torri di trasmissione radio - come meglio si vedrà in seguito - non sono necessariamente esterni alle reti, ma fanno parte o possono far parte dell'architettura e della topologia di rete.

³ Una rappresentazione di natura funzionale avrebbe reso più complessa la schematizzazione che qui si propone.

2. Il blocco denominato “Reti TLC Voice and Data Oriented”

Come dice il nome stesso, esso include tutte le tipologie di reti che offrono accesso al “cliente” dove il termine cliente è da intendersi in maniera estesa includendo, oltre ai clienti umani, dispositivi semplici (come i sensori delle reti dell'Internet of Things, IoT) o direttamente computer o altri sistemi autonomi. Per accesso, si intende quindi il rilegamento del “cliente” alla rete di telecomunicazione per l'offerta di servizi che, in tale rappresentazione, sono identificati come servizi voce e dati, anche se tale denominazione appare ormai anacronistica. Infatti, alla luce della completa digitalizzazione di tutte le reti, ciascun servizio consiste in uno scambio di dati che veicola contenuti che possono indifferentemente essere chiamati comunicazioni vocali, videoconferenza, streaming audio e video, messaggistica, etc.

Le reti considerate includono le reti degli operatori tradizionali terrestri e mobili, le reti satellitari, nonché quelle degli Internet Service Provider (ISP).

Le reti vengo classificate per le caratteristiche del circuito di rilegamento (connessione) del cliente, secondo la seguente articolazione.

Reti Terrestri: sono le reti che nell'accesso utilizzano risorse di natura terrestre e sono suddivise in:

- i. **Rete fissa con accesso wired:** il punto di accesso (CPE, Consumer Premises Equipment) è collegato alla rete attraverso un cablaggio fisico (rame o fibra ottica). I terminali (dispositivi quali telefono, PC, smart TV, etc.) si collegano al punto di accesso (dove di norma viene installato il dispositivo di collegamento alla rete o modem/router) attraverso un collegamento fisico (p.e. rete ethernet) o radio (WiFi nella quasi totalità dei casi). I terminali collegati via radio godono di mobilità limitata al raggio di copertura della rete WiFi.
- ii. **Rete fissa con accesso Wireless:** il punto di accesso è collegato alla rete attraverso un collegamento radio dedicato ed è installato presso l'abitazione/ufficio in maniera fissa. Al CPE è collegato il modem/router, come nella rete fissa wired. Anche in questo caso i terminali si collegano al modem router in Ethernet o WiFi e godono, nel caso di connessione radio, di mobilità limitata al raggio di copertura del router WiFi.
- iii. **Rete Mobile⁴:** sono le tradizionali reti mobili cellulari in tecnologia da 2G a 5G. Offrono completa mobilità, sia nazionale che internazionale

⁴ Può essere utile utilizzare anche la dicitura ITU: IMT, *International Mobile Telecommunications*.

attraverso il roaming. I terminali di rete (smartphone, tablet, dispositivi dotati di modem cellulare) si collegano alla CPE (costituita dalla stazione radio base, BTS) attraverso collegamenti radio in banda condivisa con gli utenti che insistono nella stessa cella di copertura. Le reti mobili offrono anche servizi di tipo Internet of Things in tecnologia 2G, 3G e 4/5G (Narrow Broadband IoT).

Reti satellitari: Queste reti rilegano i terminali di utente attraverso collegamenti radio di tipo satellitare offerti da satelliti in orbita bassa (Low Earth Orbit) o geostazionari. (GEO). I primi, stante la vicinanza con la superficie terrestre, offrono servizi con latenza molto più ridotta rispetto ai secondi, la cui orbita è a 36.000 Km circa. Il raggio di copertura dei LEO è però molto ridotto e sono quindi necessarie centinaia di satelliti per la completa copertura del globo terrestre, a differenza dei satelliti geostazionari. I servizi offerti sono di tipo vocale (in particolare per le reti LEO), con collegamento alle reti terrestri o ad altri terminali di rete satellitare e servizi dati (LEO e GEO). I satelliti GEO offrono anche servizi broadcasting televisivo e radio. In questo ultimo caso, il cliente accede direttamente al contenuto offerto dal broadcaster attraverso propri dispositivi di ricezione.

IoT Stand Alone: In questo blocco sono indicate le reti dedicate ai servizi Internet of Thing i cui rilegamenti di accesso ai dispositivi terminali (di norma sensori di differente tipologia) sono realizzati, nella maggior parte dei casi, via radio con stazioni radio base autonome e differenti da quelle realizzate per le reti cellulari. Anche le frequenze radio e i protocolli di accesso sono specifici per i servizi IoT. La rete dedicata di norma riguarda la sola porzione di rete di accesso, in quanto le stazioni radio base si collegano ai server centrali di raccolta dai dati attraverso le reti tradizionali, con rilegamenti di tipo fisso o anche radiomobile. Ad esempio, i dispositivi di misura dei contatori elettrici si collegano alla prima cabina di trasformazione utilizzando il portante elettrico. Nella cabina, i segnali provenienti da una pluralità di contatori aggregati vengono trasmessi al server centrale con collegamenti in 4G. In questo caso, quindi, la rete di accesso dei dispositivi IoT è costituita dalla rete elettrica del distributore di energia utilizzata in tecnica Power Line Communication (PLC)

Le reti ora illustrate - e contenute nel box principale - si collegano tra di loro attraverso collegamenti di capacità terrestre, sottomarina e satellitare e, per quanto riguarda l'accesso alla rete internet, attraverso i collegamenti inclusi nel box "**Big Internet**". In quest'ultimo caso eventualmente attraverso uno o più **Internet Exchange Point**.

3. Gli altri blocchi (la metà superiore dello schema)

3.1. Le “risorse HW”

Il primo box a sinistra, denominato “**Risorse HW**”, include le risorse fisiche utilizzate dalle reti per il loro funzionamento e per il collegamento con le altre reti e con i **Sistemi**. Questi ultimi, utilizzano le reti TLC per connettersi ai “clienti” e offrire i propri servizi, di differente tipologia, come vedremo successivamente.

Sono riportati in questo box:

- **Torri (e Tower Co's):** il box indica le torri di comunicazione radio necessarie per le reti radiomobili, per le stazioni radio base delle reti FWA, per i ponti radio di collegamento interni alla rete
- **Collegamenti di capacità trasmissiva:** Sono indicati in questo box i circuiti di collegamento (attivi e passivi) che forniscono capacità trasmissiva alle reti per i collegamenti interni alla singola rete (p.e. tra dispositivi di accesso/concentrazione e da/verso le stazioni radio base) e per i collegamenti con le altre reti di comunicazione e ai sistemi.

In funzione della loro dislocazione fisica i collegamenti possono essere costituiti da circuiti **terrestri** o **sottomarini**. Includono, inoltre, i **collegamenti satellitari** con le relative stazioni terrestri di tipo fisso (p.e. il Fucino) o mobile per il collegamento con gli elementi delle costellazioni LEO e GEO.

I circuiti di collegamento sono ormai per la maggior parte in fibra ottica, ma possono essere anche in cavo coassiale e in ponte radio.

- **Infrastrutture civili:** includono tutte le risorse civili necessarie per ospitare i circuiti di collegamento (cavidotti lungo le sedi stradali e ferroviarie, gallerie delle metropolitane, cavidotti delle reti gas e idriche, etc. ...). Inoltre, includono gli edifici che ospitano elementi delle reti (accesso, commutazione, etc.), nonché gli edifici e le costruzioni (diverse dalle torri) che ospitano stazioni radio base mobile o per reti IoT Stand Alone.

Si fa presente che gli elementi contenuti nel box “**Risorse HW**” sono parte delle reti TLC e, nel passato, erano tutti di proprietà dei gestori delle reti TLC stesse. Con il progressivo sviluppo dell'ecosistema delle reti TLC, alcune di queste risorse sono ora offerte da società indipendenti, originariamente nate prevalentemente come spin-off di asset degli operatori TLC, e che hanno acquisito indipendenza e piena autonomia nell'offrire i propri servizi agli

operatori TLC, a differenza di altre risorse, quali ad esempio edifici urbani per l'installazione delle stazioni radio base (SRB) mobili, cavidotti delle utilities, etc. Di questi processi di *unbundling* delle risorse e delle loro motivazioni e problematiche discuteremo più avanti.

3.2. *La Big Internet*

Big Internet: questo box indica l'insieme dei router IP e dei collegamenti fisici che costituiscono il backbone della rete internet mondiale per il collegamento dei "clienti" attestati sulle reti TLC ai siti e ai sistemi della rete internet.

Internet Exchange Points In alcuni casi, l'accesso alla big Internet può essere mediato attraverso centri di commutazione denominati Internet Exchange Point (IXP) che, oltre ad offrire l'accesso alla rete internet mondiale a beneficio, ad esempio, dei piccoli operatori ISP, costituiscono il punto di peering neutrale per il collegamento diretto del traffico internet tra le reti TLC e tra gli ISP.

3.3. *I Sistemi*

Indicano l'insieme delle risorse hardware e software necessario per l'offerta di servizi attraverso, anche se non esclusivamente, la rete internet. Includono:

- i. **Data Centers:** Sistemi di e-commerce, siti internet, sistemi di servizio al cittadino (PA)
- ii. **Cloud:** reti di server per l'offerta di servizi di memorizzazione (v. approfondimento al successivo paragrafo 4.)
- iii. **OTT (Over The Top):** fornitori di servizi di intrattenimento (contenuti video e audio) in streaming live e on demand, fornitori di video giochi e di gioco interattivo, piattaforme social
- iv. **CDN's:** Content Distribution Network (CDN), reti che offrono servizi per l'ottimizzazione e il miglioramento della qualità di servizio per l'accesso ai siti internet e ai servizi in streaming. Le reti CDN sono spesso integrate nelle reti degli OTT o nelle reti TLC, ma possono essere offerte anche da fornitori indipendenti (p.e. Akamai, Fastly).

3.4. *Le Risorse SW*

Includono i servizi di natura tipicamente software utilizzati dalle reti. In particolare, si tratta di tutti i servizi **Cybersecurity** per il contrasto delle minacce del cyberspazio e il **software di controllo delle reti TLC**, in

particolare quelle di ultima generazione il cui funzionamento può essere completamente gestito con i servizi di Software Defined Networks (SDN).

4. Telco Cloud

Lo schema della Figura 1 mostra un modello semplificato dell'ecosistema delle comunicazioni. Il blocco denominato “**Sistemi**” contiene il box “*Cloud*” che indica i servizi di memorizzazione e calcolo forniti in via remota e centralizzata dai fornitori di servizi di *cloud storage* e *cloud computing*. Come detto, questi servizi sono offerti tramite una rete di accesso dati, sia internet che privata e grazie alla velocità raggiunta dalla rete e, in taluni casi, dalla bassa latenza di accesso ai servizi, costituiscono un elemento essenziale per le applicazioni e servizi offerti in rete agli utenti.

Negli ultimi anni il *cloud computing*, oltre a essere uno dei principali servizi disponibili attraverso le reti internet, è divenuto parte integrante delle reti stesse, andando a costituire un componente essenziale per lo sviluppo e l'implementazione di nuovi paradigmi quali ad esempio il Network Function Virtualization (NFV) e Software Defined Network (SDN).

Nel seguito si illustreranno i concetti base della tecnologia *cloud* e come essa sia diventata parte delle reti di comunicazione elettronica.

4.1. La tecnologia cloud

Sebbene il concetto della remotizzazione delle attività di calcolo verso un'unità centrale che offre il servizio agli utenti sia emerso già negli anni '60, è solo a partire agli anni '90 che tale concetto trova un'implementazione concreta, sia in ambito privato che pubblico grazie all'affermarsi della rete internet e dell'accesso alla rete da parte di milioni di utenti. In quegli anni viene anche introdotto il termine “*cloud computing*” associato al termine “nuvole” con il quale venivano allora rappresentate le componenti della rete internet.

Cloud computing è quindi il termine con il quale vengono designati i servizi di calcolo, di memorizzazione, di accesso ai databases, ai server, etc. forniti attraverso la rete internet. Con il *cloud computing* gli utenti possono accedere al software, alle applicazioni e ai propri dati da qualsiasi punto di connessione alla rete. Con il *cloud computing*, inoltre, gli utenti accedono a risorse di calcolo e di memorizzazione di norma non disponibili con i propri dispositivi. Le società che offrono servizi in *cloud* sono in grado di assicurare un accesso ubiquo, sempre disponibile, rispettoso della privacy e con ampie garanzie di

affidabilità, ad esempio, sulla conservazione dei dati memorizzati, sollevando così l'utente dalla necessità di gestire i processi di backup dei propri dati.

L'industria del *cloud* si è sviluppata in origine con la creazione di *data center* di grandi dimensioni (i c.d. *hyperscale datacenter*) dove sono concentrati un numero enorme di risorse elaborative e di memorizzazione con il fine di aumentare l'efficienza d'uso dei locali e delle risorse energetiche per il funzionamento dei server e limitarne, per quanto possibile, l'impatto ambientale.

Tuttavia, nel corso degli anni gli *hyperscale datacenter* sono stati affiancati da datacenter di dimensioni più ridotte, diffusi sul territorio per avvicinare i centri di elaborazione agli utenti consentendo di ridurre i tempi di risposta alle richieste (latenza). Un esempio di tale evoluzione è rappresentato dalla creazione delle *Content Delivery Network* (CDN), ossia reti di server diffuse sul territorio per la distribuzione di contenuti, soprattutto video, che consentono ad esempio la visione in tempo reale di eventi da parte di milioni di utenti senza sovraccaricare la rete e con tempi di ritardo accettabili (decine di millisecondi).

Un'altra linea evolutiva ha riguardato la creazione di mini o micro *datacenter* (di dimensione di un singolo rack o un container) distribuiti in maniera capillare sul territorio, che permettono di ridurre ulteriormente la latenza, ad esempio per applicazioni IoT (Internet of Things) che richiedono risposte in tempo reale. I mini/micro *datacenter* diffusi sul territorio e collegati in rete con la rete *cloud* rappresentano l'elemento di base del c.d. *edge cloud* (*computing*), detto anche *fog computing* ossia la nebbia che avvicina le nuvole al terreno.

L'impressionante sviluppo dell'industria del *cloud computing* ha prodotto anche l'introduzione di nuovi modelli di business nell'industria ICT. Sono infatti entrati nell'uso comune servizi quali *Infrastructure as a Service* (*IaaS*), *Platform as a Service* (*PaaS*) e *Software as a Service* (*SaaS*), che identificano nuove modalità di offerta dei servizi ICT che grazie all'uso del *cloud computing* realizzano un disaccoppiamento flessibile tra la fruizione dei servizi ICT e la proprietà e la gestione delle infrastrutture e del software, delegando queste ultime attività al fornitore di servizi *cloud*.

Il modello di servizio *IaaS* mette a disposizione istanze di server virtuali (immagini) con varie combinazioni di risorse di calcolo, memoria e rete e sono pensate per far fronte ad una vasta gamma di carichi di lavoro diversi e scalabili. Anche per lo *storage*, i servizi *IaaS* mettono disposizione diverse classi di servizio che si distinguono per il tipo di utilizzo dei dati, in particolare la frequenza di accesso e i tempi di risposta. Il ricorso a questo modello di servizio rappresenta una valida alternativa rispetto all'acquisto delle risorse di

processing e di *storage* da dispiegare presso i propri locali o presso propri *datacenter* privati o affittati in co-location.

Il modello di servizio *PaaS*, prevede invece che il cliente si approvvigioni dal fornitore cloud di servizi a valore aggiunto più elevato rispetto alle infrastrutture di *processing* e *storage* acquisibili secondo il modello *IaaS* e più precisamente di ambienti di sviluppo o di strumenti di *middleware* (es, database, ERP, CRM, Portali, ...) su cui basare lo sviluppo delle proprie applicazioni configurando le piattaforme o sviluppando parti di codice proprio. Un esempio di servizio *PaaS* è l'offerta di servizi di *web hosting*, secondo cui il cliente sviluppa il proprio codice e lo inserisce nel servizio di *web hosting* che lo esegue e mostra il sito creato senza che il cliente debba farsi carico dello spazio di archiviazione, della manutenzione o della configurazione dei database.

Infine, il modello di servizio *SaaS* esternalizza completamente lo *stack* IT con il cliente che si approvvigiona di un servizio applicativo, tipicamente standard, offerto dal *cloud service provider*, estendendo i benefici del disaccoppiamento anche all'area applicativa, azzerando completamente gli oneri di programmazione e di gestione sistemistica dei sistemi software e mettendo direttamente a disposizione degli utenti finali i servizi applicativi. Tra le offerte di servizi *SaaS* più noti ricordiamo Office 365 di Microsoft, Google Docs e l'offerta di Salesforce.

Il grande successo dei servizi offerti dai *cloud provider* ha indotto gli operatori di comunicazioni elettroniche a cercare un proprio posizionamento in un mercato largamente dominato dagli OTT e dagli *Hyperscaler* che, sfruttando i servizi di connettività degli operatori, hanno registrato un enorme crescita di utenti e fatturato, in particolare nell'ultimo decennio. Ciò a fronte di ricavi degli operatori costanti o in riduzione nonostante abbiano dovuto affrontare notevoli investimenti per sostenere il fenomenale incremento dei dati trasmessi sulla rete dovuto agli OTT.

Gli operatori di comunicazione elettronica hanno quindi cercato di estendere le proprie offerte aggiungendo servizi in *cloud*, spesso realizzati in partnership con gli OTT e gli *Hyperscaler*, contando sulla propria legacy di infrastrutture sul territorio. Ad esempio, sono stati proposti servizi di connettività e di co-locazione presso i locali delle centrali telefoniche distribuite sul territorio che, grazie alla progressiva digitalizzazione delle apparecchiature, necessitano di sempre minor spazio. In Italia, nel 2020, TIM ha sottoscritto un importante accordo di partenariato con Google per lo sviluppo di un'offerta cloud basata su tecnologia Google Cloud Platform (GCP) e ospitata nei datacenter di TIM. Operatori come Vodafone, WindTre e Fastweb, sviluppano invece modelli ibridi, andando ad offrire all'interno dei propri data center soluzioni di private

cloud o public cloud, e su specifici progetti lavorano in partnership con gli *Hyperscaler* offrendo connettività verso quest'ultimi.

4.2. *Il cloud come tecnologia per le reti*

Il percorso di avvicinamento tra l'industria Telco e quella del *Cloud* negli ultimissimi anni è stato tuttavia seguito anche in senso opposto ovvero con l'ingresso dei fornitori di servizi *cloud*, in particolare degli *Hyperscaler*, nel mercato delle infrastrutture e dei servizi per la realizzazione e la gestione delle reti di comunicazione elettronica.

Il cloud è una opportunità per gli operatori di telecomunicazioni in diverse aree di applicazione:

- il *Multi-Access Edge Computing* (MEC): un sistema che dispone di risorse ICT ai bordi della rete di accesso fissa e mobile, per migliorare l'efficienza (ad esempio alleggerendo le reti di backhauling, aggregazione e trasporto con l'uso di soluzioni di caching trasparente) e rendere possibili applicazioni che richiedono latenze molto basse, incompatibili con interazioni con entità applicative distanti;
- il *Cloud-Radio Access Network*: un sistema che ridistribuisce le funzioni per gestire l'accesso radio, usando la capacità computazionale e la flessibilità del cloud e la velocità di trasmissione dati dei collegamenti di *backhaul* e *fronthaul*, per creare soluzioni in grado di adattare l'uso dello spettro in modo dinamico ed efficace e alleviare le risorse distribuite ai margini dei siti radio (si cita il recente annuncio tra Vodafone e Nokia a favore dell'iniziativa Open Radio Access Network, mirato a una serie di prove che sono state effettuate nell'arco di tre mesi sui siti radio 5G di Arcisate e Sernio, ai piedi delle Alpi nel Nord Italia, connessi alla rete Core 5G delle strutture di test Vodafone a Milano);
- la disaggregazione dell'accesso: una soluzione che punta a ristrutturare i sistemi e i modelli di accesso alle reti fisse, indipendentemente dalla tipologia di supporto fisico, finalizzata a aumentare la flessibilità nell'introduzione di nuovi servizi e alla riduzione dei costi sfruttando modelli aperti e le capacità delle nuove tecnologie software.

L'ingresso degli *Hyperscaler* nel mercato delle telecomunicazioni è la logica conseguenza dell'evoluzione tecnologica delle reti e della progressiva trasformazione delle componenti hardware specializzate costituenti le reti in software dedicato che viene eseguito su calcolatori standard o ad alte prestazioni, *general purpose* e aperti a differenti configurazioni e destinati a svolgere vari servizi di rete in funzione delle richieste provenienti da un centro di controllo (OSS) remotizzato.

Gli *Hyperscaler* vedono nel nuovo mercato delle piattaforme digitali degli operatori di telecomunicazioni una grande occasione e vogliono entrare in aree che prima erano dominio degli operatori e che, con i nuovi approcci software *defined* e *cloud*-centrici imposti dalle nuove architetture, diventeranno cruciali negli ecosistemi digitali che producono dati in tempo reale e alimentano sistemi di data *analytics* e intelligenza artificiale che operano nella rete. Grazie alle loro competenze e tecnologie, i principali *Hyperscaler* oggi possiedono tutti una offerta per la “cloudizzazione” degli operatori di telecomunicazioni puntando sulla core network 5G, spesso in collaborazione con partner tecnologici come Ericsson e Nokia, ma anche player specializzati come Mavenir o l’italiana Athonet e sulle nuove architetture di *Edge computing*.

Il *cloud computing* si è dimostrato essenziale per l’affermazione dei nuovi paradigmi del *Network Function Virtualization* e *Software Defined Network*.

Con la *Network Function Virtualization* (NFV) la tecnologia di computing tipica delle infrastrutture di virtualizzazione IT viene utilizzata per svolgere funzioni di networking, sostituendosi agli apparati specializzati dedicati a funzioni specifiche quali: *routing* e *switching*, *firewall* e servizi di *Network Address Translation* (NAT) e *Domain Name System* (DNS). Per determinate tipologie di funzione legate alla gestione di flussi di traffico ad alta velocità di trasmissione (10-100 Gbps) sono comunque necessari apparati specifici, con hardware dedicato in grado di gestire flussi di dati secondo i requisiti richiesti dalla rete.

Attraverso l’NFV, le varie risorse della rete (computer) vengono gestite in maniera dinamica per configurare ed esercire la rete secondo le necessità dell’operatore. Il controllo della configurazione delle risorse viene effettuato attraverso una piattaforma *cloud* (*Telco cloud*) distribuita nei vari nodi della rete, sia a livello di rete Core sia a livello di rete di accesso. Sono evidenti i vantaggi di una tale soluzione: riduzione di spazi, di consumi energetici e di condizionamento ambientale grazie all’efficientamento dell’uso delle risorse fisiche condivise tra più funzioni. Inoltre, si raggiunge una maggiore flessibilità e rapidità di (ri-)configurazione. In ultima analisi significa una riduzione dei costi di investimento (CAPEX) per la realizzazione delle funzioni di rete e di costi operativi (OPEX) per l’esercizio delle stesse.

Mentre le prime realizzazioni utilizzavano di norma piattaforme di *cloud computing* di proprietà e gestione diretta dell’operatore TLC connessa su rete privata, negli ultimissimi anni sono apparse soluzioni gestite dai grandi *Hyperscaler* (Amazon AWS, Microsoft Azure, Google Cloud Platform) rilegate su rete pubblica quando i requisiti prestazionali di rete lo consentono.

Il paradigma del *Software Defined Network* (SDN), che richiede esplicitamente l'utilizzo di piattaforme *cloud*, indica lo sviluppo di architetture di rete che tendono a separare le funzioni di controllo dall'esecuzione delle funzioni di trattamento del traffico di rete. Le funzioni di controllo sono realizzate via software e possono determinare le modalità di trattamento dei flussi di dati gestiti dai dispositivi che possono quindi essere combinati e configurati con tecniche specifiche (la c.d. *orchestration*) attraverso un sistema di controllo centralizzato. Attraverso una piattaforma di *cloud computing*, possono quindi essere realizzati - in modo rapido ed efficiente- servizi di rete complessi.

In tal modo le piattaforme di rete sono in grado di coniugare in modo più moderno le esigenze di flessibilità e di prestazioni elevate che possono ricorrere a risorse specializzate o virtualizzate (con l'NFV) in base alle richieste provenienti in particolare dagli OTT, relativamente alla rapidità di attuazione degli interventi di riconfigurazione dei servizi, tipica delle tecnologie *software defined*.

Allo scopo di mostrare come la tecnologia *cloud* sia diventata una componente essenziale delle moderne architetture di rete, si menziona l'introduzione di sistemi di Intelligenza artificiale (AI) per la configurazione e la gestione di reti che devono offrire servizi *wholesale* a più operatori creando una configurazione specifica per ciascuno dei soggetti utilizzanti le risorse di rete.

Nella figura seguente (Fig.2) tratta da un recente studio del Prof. Maurizio Dècina è mostrato come l'AI e la piattaforma cloud concorrano a configurare dinamicamente le varie risorse della rete in funzione dei requisiti dell'utente controllando le prestazioni richieste.

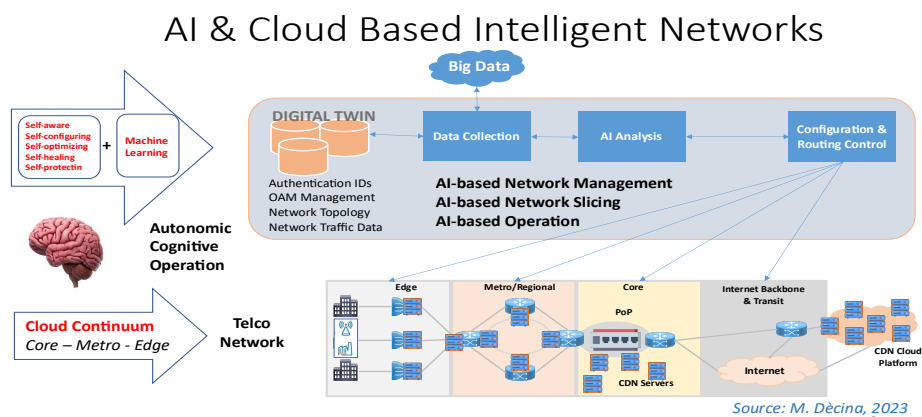


Fig. 2. *AI & Cloud Based Intelligent Networks*. Fonte M. Dècina, *Artificial Intelligence & Machine Learning*, 2023.

Il cloud computing gioca un ruolo fondamentale nel processo di apprendimento ed esecuzione dell'IA dedicata e nella piattaforma

centralizzata di configurazione e controllo di ciascuno dei “*digital twin*” ossia della configurazione fisica e virtuale dedicata a ogni operatore che acquisisce risorse *wholesale* dalla rete. Relativamente all'architettura fisica della rete vediamo come il cloud computing si ritrovi in tutti i livelli della rete: Core, Metro e Accesso (Edge).

L'*Edge cloud computing* (o *Edge computing*) è una soluzione che consiste nell'offrire servizi di computing da risorse IT, come potenza di calcolo o memoria, collocate vicino ai dispositivi e ai sensori che producono dati e che usano i risultati delle funzioni di computing.

Le motivazioni che portano all'*Edge* sono soprattutto legate alla necessità di rispettare requisiti di latenza nei tempi di risposta che alcune applicazioni distribuite richiedono come ad esempio, i veicoli a guida autonoma e i processi industriali di precisione.

La necessità per gli operatori di realizzare soluzioni in *Edge* ha principalmente l'obiettivo di alleggerire lo sviluppo delle reti di trasporto, sfruttando l'utilizzo di soluzioni di caching per l'erogazione di contenuti digitali quali siti web, software, gaming e video-streaming. Inoltre, l'*Edge computing* permette di eseguire le funzioni di *Cloud-Radio Access Network* (Cloud-RAN) che permettono di modernizzare la distribuzione delle funzioni di accesso radio. Infine, combinato con l'introduzione delle tecnologie mobili di quinta generazione 5G e a breve 6G, l'*Edge* permette di eseguire le funzioni MEC (*Multi-access Edge Computing*) con l'obiettivo di soddisfare soprattutto i requisiti critici di latenza dei servizi *Ultra-Reliable Low Latency* (URLLC), ma anche i requisiti di efficienza nel trattamento dei grandi traffici generati dall'Internet of Things: *Massive Machine Type Communications* (MMTC) e *Enhanced Mobile BroadBand* (eMBB).

Un esempio tipico dell'utilizzo dell'*Edge computing* combinato alla rete mobile lo possiamo trovare nei contesti industriali. Gli scenari di uso più implementati sono quelli che chiaramente si occupano della parte di *Remote e Digital Assistant* combinata con il controllo degli impianti e della sensoristica. In questi contesti avere piena visibilità della produzione in real-time permette di intervenire rapidamente sui sistemi per fermare eventuali errori di produzione o di guasti ad impianti che possono risultare dannosi sia in termini economici che di sicurezza. In questo modo è possibile avere degli impianti che comunicano a bassissima latenza con i nodi *Edge* dove è possibile ricevere informazioni da svariate centinaia di sensori distribuiti sull'impianto.

4.3. L'ingresso nel mercato delle reti degli Hyperscaler

Come già si è accennato, negli ultimissimi anni si è assistito all'ingresso dei giganti del settore del *cloud computing* e degli OTT nel mercato delle reti di telecomunicazioni come fornitori delle componenti *cloud* delle reti TLC ma non solo.

L'anno 2021 segna per gli *Hyperscaler* il momento di passaggio dalla fornitura agli operatori di servizi *cloud* (incluse le CDN) alla partnership per la realizzazione delle piattaforme *Telco cloud* e la gestione delle reti stesse.

Nel mese di aprile 2021, l'operatore statunitense DISH e Amazon Web Systems (AWS) hanno annunciato la loro collaborazione strategica per la realizzazione di una rete di accesso radio 5G (Open RAN) basata su *cloud*. Nell'annunciare la collaborazione veniva affermato che l'introduzione del *cloud* avrebbe consentito di supportare rilevanti carichi di lavoro in tempo reale sul bordo (Edge) della rete ed elaborare rapidamente i dati in entrata e in uscita dall'infrastruttura Open RAN. Inoltre, DISH utilizzerà le funzionalità del *cloud* (anche pubblico) di AWS quali, ad esempio, quelle di calcolo, di gestione dell'IoT, di machine learning e di sicurezza per elaborare i dati della rete 5G ed eseguire le applicazioni 5G Core, BSS e OSS su larga scala ottimizzando i costi. DISH afferma di realizzare in questo modo negli USA la prima rete mobile 5G "*cloud-native*".

Nel giugno 2021 una collaborazione analoga è stata annunciata tra Microsoft e AT&T, con il trasferimento della rete mobile 5G di quest'ultimo sul *cloud* Azure for Operators di Microsoft. Nell'operazione Microsoft incorpora la tecnologia Network Cloud di AT&T (la piattaforma che esegue il Core 5G di AT&T) e il relativo personale. La finalità è quello di definire un percorso per trasferire la gestione di tutto il traffico della rete mobile di AT&T sulla piattaforma Microsoft Azure, partendo dalla rete Core 5G di AT&T. Quest'ultima ha chiarito che continuerà a gestire la propria rete e a mantenere i rapporti con i clienti. L'annuncio congiunto tra le due società indica anche che Microsoft si assume la responsabilità sia dello sviluppo del software sia dell'implementazione del Network Cloud di AT&T, con l'obiettivo di portare il cloud di rete esistente di AT&T su Azure nei prossimi 3 anni.

Infine, nello stesso anno è stata annunciata un accordo tra Google Cloud Platform (GCP) e Vodafone, con la quale viene ceduta alla piattaforma la gestione completa dei dati dell'operatore, con la previsione di estendere la collaborazione anche alla gestione della rete.

È importante evidenziare che nello stesso anno gli *Hyperscaler* hanno sottoscritto accordi anche con i principali produttori di apparecchiature per reti telecomunicazioni: ad esempio, Ericsson che ha iniziato una partnership

con GCP finalizzata allo sviluppo di soluzioni 5G e Edge Cloud per operatori e aziende. Nokia, dal canto suo ha sottoscritto accordi con i tre *Hyperscalers* sopra citati. Ad esempio, l'accordo DISH-AWS include apparecchiature Nokia orchestrate attraverso il cloud pubblico di AWS.

Da ultimo si segnala l'accordo sottoscritto nel mese di maggio 2024 tra Telefonica Germany e Amazon per l'integrazione della rete 5G dell'operatore con il cloud pubblico di AWS. Entro lo stesso mese, un milione di clienti verrà trasferito sul cloud AWS che svolgerà le funzioni di rete Core. Essendo il primo caso di utilizzo in produzione di un cloud pubblico di un *Hyperscaler* per la gestione della rete Core, il trasferimento dei restanti clienti di Telefonica in Germania (circa 45 milioni) sulla piattaforma AWS sarà graduale e inizierà dopo un periodo di test di almeno 6 mesi. Secondo le aziende coinvolte, lo spostamento degli utenti sul cloud, dove verranno utilizzati server ad alte prestazioni, avrà numerosi benefici, tra cui la possibilità di offrire servizi con latenza ultraridotta e a larghissima banda. Viene anche largamente aumentata la flessibilità di configurazione, ad esempio per il *network slicing* e la rapidità di allocazione delle risorse di rete in funzione delle richieste degli utenti e degli Over The Top.

4.4. Conclusioni

Abbiamo visto che l'evoluzione tecnologica della rete sta modificando in maniera profonda e pervasiva le architetture di rete che da un insieme componenti hardware specializzate si stanno trasformando in piattaforme di calcolo *general purpose* dotate di software dedicato alle funzioni di rete.

Questa evoluzione è stata consentita dall'enorme sviluppo dell'industria del *cloud computing* registrato nel corso degli ultimi vent'anni e ha portato, a partire dalla decade corrente, all'ingresso delle piattaforme nel mercato TLC dall'*Edge Cloud* nelle reti di accesso 5G e all'uso, recentissimo, di *cloud* pubblico per la rete Core. In particolare, per ciò che riguarda l'*Edge Cloud*, l'emergere dell'Open RAN porterà a trasformare in funzioni software la maggior parte delle componenti di rete di accesso, a parte evidentemente le funzioni fisiche di accesso radio.

È prevedibile quindi anche una sostanziale modifica della configurazione fisica delle reti, in particolare di quelle di accesso radio, con il dispiegamento sul territorio di mini e micro *datacenter*, allocati presso le centrali di accesso *legacy* degli operatori o addirittura nelle BTS. Questo, tra l'altro, consentirà di ridurre la latenza e sviluppare applicazioni in *real time* del tipo URLLC (*Ultra Reliable and Low Latency Communications*).

L'introduzione del *cloud computing* nell'industria delle telecomunicazioni è già una realtà consolidata e si svilupperà in maniera significativa nei prossimi

anni, come previsto da diversi analisti. Ad esempio, secondo le previsioni di mercato fatte da *Fortune*⁵, il mercato del *Telco cloud* nel 2030 avrà un valore di circa 139,31 miliardi di dollari con un tasso di crescita composito (CAGR) del 24,9% a partire dal 2024, quando si registrerà un valore del mercato pari a 23,46 milioni di dollari.

Una tale previsione di sviluppo suscita evidentemente l'interesse degli *Internet giant*. È noto come gli *Hyperscaler* e gli OTT siano prepotentemente entrati nel settore dei cavi in fibra ottica *long-distance*, con enormi investimenti nella installazione dei cavi sottomarini. Inoltre, gli *Internet giant* stanno bypassando gli operatori tradizionali installandosi direttamente negli Internet Exchange Points (IXP) e sottoscrivendo accordi di *peering* con gli operatori stessi. Ora, come visto prima, stanno iniziando a metter piede all'interno delle reti tradizionali, oltre che a installare le proprie CDN presso gli operatori. Senza un'azione di contrasto da parte degli operatori, una possibile tendenza è quella che vedrebbe gli operatori di comunicazione elettronica confinati verso le sole reti di accesso e la gestione degli utenti.

Tuttavia, la complessità di una rete di telecomunicazioni, la numerosità dei dispositivi componenti la rete stessa e la loro distribuzione sul territorio costituiscono caratteristiche per cui gli operatori di telecomunicazioni risulterebbero avvantaggiati nel controllo e nella gestione complessiva della rete. Per questi motivi, gli operatori sono ancora in grado di reagire all'invadenza dei giganti del settore nell'introduzione del *cloud* nelle reti e di offrire essi stessi servizi di *cloud computing* in concorrenza o anche in cooperazione con gli *Hyperscaler*, come descritto in precedenza. È il caso a esempio dell'operatore incumbent coreano SK Telekom che ha recentemente cominciato a rendere disponibili servizi *cloud*⁶ sia in proprio sia come Managed Service Provider (MSP) che offre soluzioni *cloud* interfacciandosi tra il cliente e il fornitore di servizi cloud (CSP) in genere un *Hyperscaler*.

Va peraltro tenuto conto dei problemi regolamentari e di quelli inerenti alla applicazione della normativa privacy, al rapporto con la magistratura e alle leggi nazionali a cui i servizi di telecomunicazione sono sottoposti: si tratta, non di rado, di problemi di difficile gestione e presa in carico da parte degli *Hyperscaler* e su cui invece le Telco sono già strutturate per garantirne le compliance.

⁵ Cfr. Fortune Business Insight, *Telecom Cloud Market Size, Share & Industry Analysis, By Deployment Model, By Enterprise Type, By Function Type, By Service Type, and Regional Forecast, 2024–2032*, giugno 2024, disponibile alla pagina: <https://www.fortunebusinessinsights.com/telecom-cloud-market-103740>.

⁶ Cfr. S.-W. Lee, *SK Telecom enters cloud managed service provider market*, in «The Korea Economic Daily», 26 luglio 2023, disponibile alla pagina: <https://www.kedglobal.com/tech-media-telecom/newsView/ked202307260012>.