

# **Storia e Tecnologie**

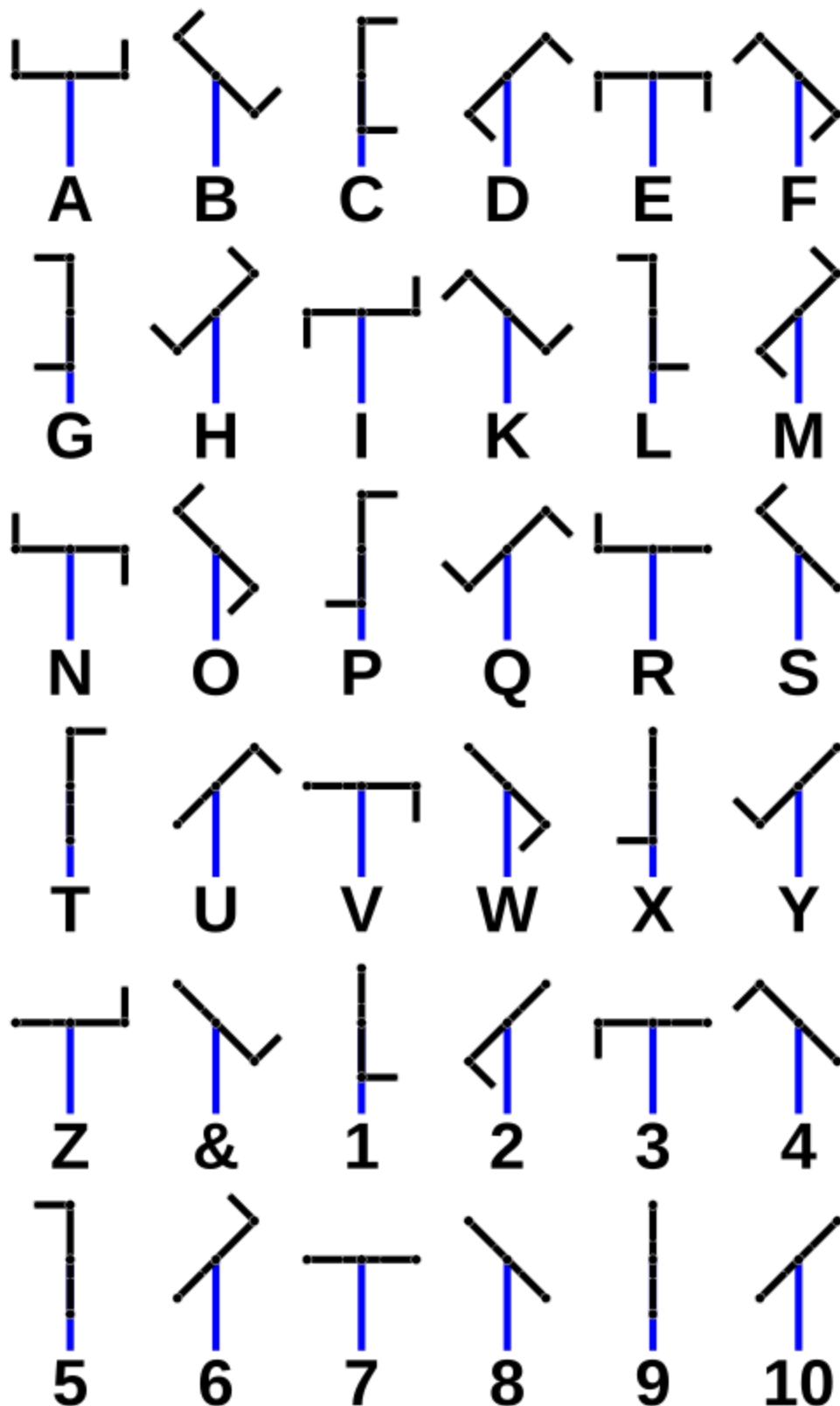
Cercherò in questo caso di riassumere velocemente la prima parte, focalizzandomi solo su alcune parti interessanti. Tratterò nel caso degli Use Case del 5G solo sommariamente i migliori utilizzi.

## **Storia**

Si parte, quindi, ricordando le prime tecnologie di comunicazione.

## **Telegrafo**

Il Telegrafo di Chappe naque in Francia, distanza di 10 km.



È formato da due bracci di legno( indicatore ) e uno congiungente(regolatore) i due.  
Ogni indicatore ha 7 posizioni e il regolatore ne ha due portando a 98 combinazioni.  
Formando 196 parole.  
Era una torre semaforica.

Poi si ebbe il telegrafo elettrico usando cavi per ogni lettera.

Nel 1851 se ebbe una standardizzazione Europea del codice morse.

## Reti Telefoniche

All'inizio ogni telefono doveva essere collegato ad ogni altro telefono, avendo quindi un incremento esponenziale nel cablaggio di più telefoni.

Poi venne fatta una architettura più centralizzata, affidando la direzione di comunicazioni ad un solo nodo. Il problema è che questo rende il sistema vulnerabile poichè si ha un singolo punto di fallimento, ovvero il punto centrale.

## Switching Gerarchico e a Circuito

Lo **Switching Gerarchico** risolve il problema della copertura, della lunghezza dei cavi e della resilienza da guasti. Questa architettura si focalizza su organizzazioni centrali telefoniche strutturate in più livelli.

### Public Switched Telephone Network

Mentre la **Rete a Circuit - Switched** è un modello di rete che permette durante la comunicazione tra due nodi di dedicare risorse fisiche (banda, percorso) a un'unica coppia nella comunicazione. Come se ci fosse un cavo virtuale tra i due partner dedicato solo a loro. Questo modello viene utilizzato per i servizi vocali (chiamate).

## Reti a Scambio di Pacchetti

Autori principali sono Paul Baran e Leonard Kleinrock.

Costo basso dato che i collegamenti di comunicazione vengono usati da utenti multipli e quindi un collegamento non viene riservato ad una sola coppia, i pacchetti mandati da differenti utenti potranno avere lo stesso medium.

I nodi che fanno da medium sono connessi tramite una architettura mesh e si ha un semplice protocollo chiamato **Store and Forward**, dove i pacchetti entrano da un nodo e va via da uno dei possibili altri cammini. Se si perde un pacchetto si rinvia poichè si è salvato in una queue.

Lo stesso pacchetto può essere mandato su più cammini procurando ridondanza ( [#MultipathRouting](#) ). Questo provoca resilienza da pacchetti persi o fallimento nel cammino.

Si spezzetta i messaggi in pacchetti più piccoli così da utilizzare le risorse comuni in meno tempo.

Ovviamente ci sono stati i classici problemi del Networking:

- Congestione
- Indirizzamento
- Gestione Errore

- Routing inter - network (tra i nodi)

Nel 1974 da Cerf e Kahn viene introdotto TCP e IP che facilita interconnessione tra reti individuali per formare Internet.

Baran ideò di avere resilienza tramite la ripetizione di pacchetti tra differenti collegamenti.

L'impatto di questa idea fu provvedere la connessione di persone con servizi vocali e di data.

## Reti Cellulari

Viene progettata all'inizio come una estensione wireless del PSTN concentrandosi sui servizi vocali, poi si è avuto una transizione alla trasmissione di dati tramite protocollo IP. I servizi vocali vennero realizzati anche essi su IP ( **#VoIP** - Voice over IP).

### 1G (First Generation)

- Basato su tecnologie analogiche.
- Progettato per servizi vocali, estensione di PSTN.
- supporto mobile limitato.
- Alto costo e difficile da fare manutenzione.
- Poca sicurezza, Hacking e Intercettazione Facile.

### 2G

- transizione a tecnologie digitali. (uso di segnali Digitali invece che Analogici)
- Trasmissione via aria basata su Time Division Multiple Access ( **#TDMA** ).
- introdotto sicurezza e caratteristiche sulla mobilità. Cifratura delle chiamate.
- possibilità di usufruire i servizi dati come SMS.

### 3G

- Viene sostituita TDMA con WCDMA che ha una migliore efficienza rispetto alla prima.
- raggiunto obiettivo di mobilità
- bande di frequenze armonizzate sono state identificate come bande globali comuni.
- Oltre ad avere la possibilità di usufruire dei servizi vocali si ha anche l'utilizzo di dati estensivi.

### 4G

- si ha la vera mobilità dell' Internet.
- viene utilizzato **#OFDMA** .
- Software è cruciale nelle reti cellulari.

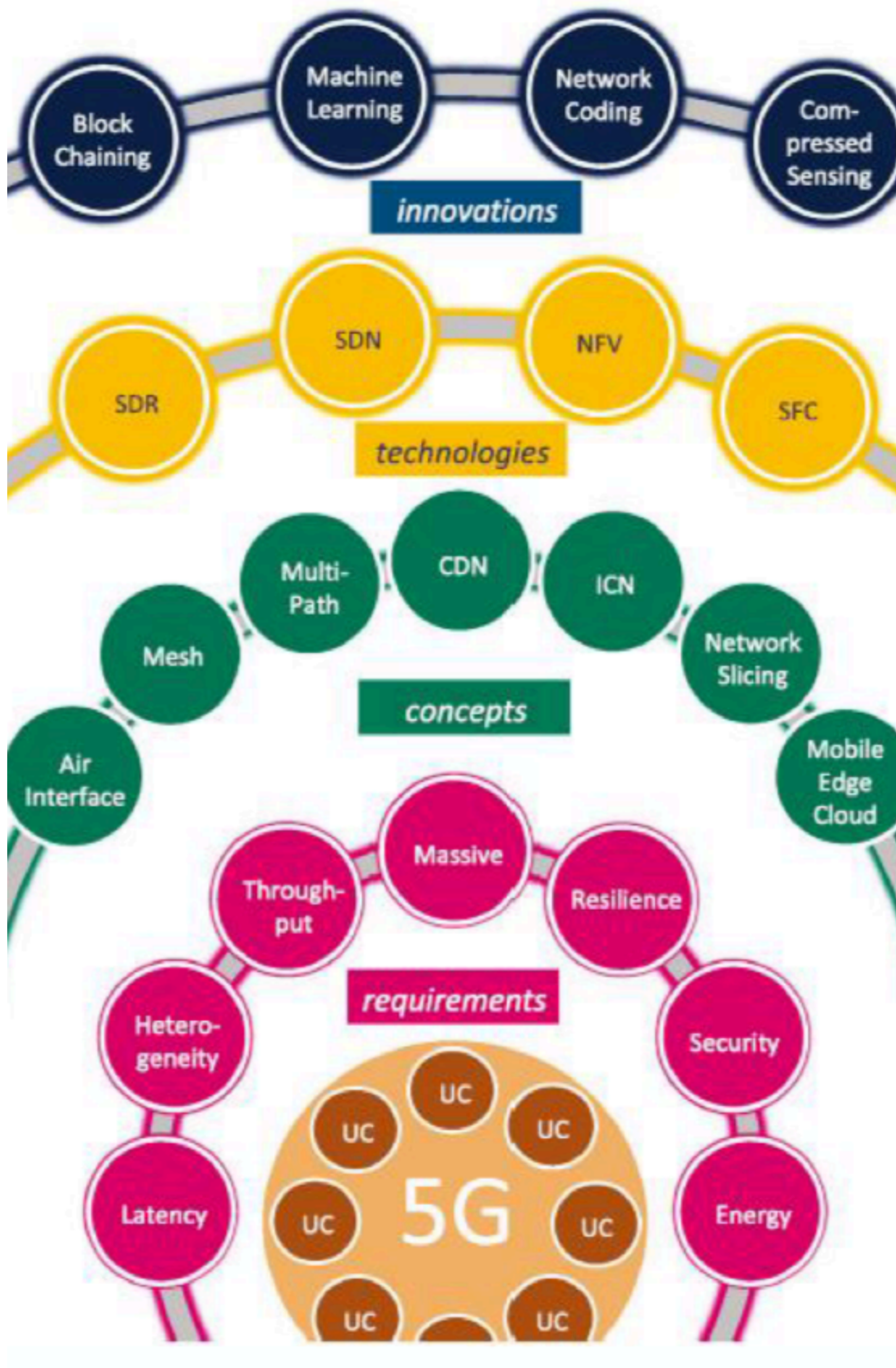
- **#OTT** Over The Top → questi servizi operano in infrastrutture cloud bypassando gli operatori di rete (WIND, TRE, ecc...).
- Softwarizzazione si ha nei livelli di protocollo più alti. **#SDR** (Software Defined Radio ) per supportare bande di frequenza multiple in modo dinamico.

## 5G

- supporto quasi real time con la comunicazione per dispositivi IoT.
- servizi target per umani e dispositivi IoT
- Integra reti wireless e wired
- **#3GPP** (3rd Generation Partnership Project ), **#RAN** (Radio Access Network) e **#NR** (New Radio 5G).
- guidato solo tramite software
- la rete che scambia i pacchetti può essere aggiornato dinamicamente.
- Non si ha un una gestione della rete hardware ma software . Si ha infatti la softwarizzazione della rete.

Il 5G integra i mondi wireless e cablati creando una rete computing-centric, non si ha più il paradigma store and forward ma compute and forward. Queste reti si concentrano sul connettere cose e provvedere a voce, dati e servizi di controllo.

## Modello Atomico 5G



Si hanno i seguenti livelli:

- Il core rappresenta i differenti use case.
- il primo livello rappresenta i requisiti tecnici definiti dagli use case.

- il secondo livello rappresenta i concetti di comunicazione che servono per avere i requisiti tecnici.
- il terzo livello sono le tecnologie softwarizzate che servono per realizzare i concetti.
- Il quarto livello rappresenta le innovazioni introdotte tramite la softwarizzazione.

## Casi d'uso del 5G

Sono stati trattati diversi casi d'uso (use case) del 5G, evidenziando come questa nuova generazione di reti miri a supportare una vasta gamma di applicazioni che vanno ben oltre la comunicazione tradizionale, con requisiti tecnici molto diversi tra loro<sup>1</sup>....

In generale, il 5G è progettato per supportare servizi sia per gli esseri umani che per miliardi di dispositivi IoT, inclusa la comunicazione quasi in tempo reale per questi ultimi<sup>1</sup>. La visione iniziale dei casi d'uso del 5G si è concentrata su scenari di applicazioni IoT machine-to-machine<sup>5</sup>, mentre una successiva "ondata" di applicazioni mira a interazioni human-to-machine, realizzando il concetto di Internet Tattile (TI)<sup>5</sup>.

Ecco un riassunto dei principali casi d'uso del 5G discussi nel documento:

### **Veicoli Autonomi Connessi (Connected Autonomous Cars):**

Obiettivo principale: Migliorare la sicurezza del trasporto di persone e merci, ridurre il consumo energetico e le emissioni inquinanti.

Necessità di comunicazione: Richiedono una comunicazione costante e affidabile tra i veicoli stessi e con l'infrastruttura, superando i limiti dei soli sensori di bordo (che non possono "vedere dietro l'angolo") ....

Scenari specifici: Supportano la formazione di plotoni di veicoli per una maggiore efficienza, la navigazione ottimizzata per ridurre la congestione, l'intrattenimento in auto, e la manutenzione predittiva.

Requisiti chiave: Per il controllo dei veicoli, sono necessarie bassissime latenze (e.g., 1 ms end-to-end) e una sufficiente larghezza di banda per reazioni immediate. La comunicazione affidabile e sicura è fondamentale per distinguere il traffico di controllo critico da quello per il tempo libero.

### **Industria 4.0:**

Obiettivo: Connettere logisticamente ogni strato della produzione, con una crescente integrazione della comunicazione wireless nei processi produttivi<sup>13</sup>.

Applicazioni chiave:

- Controllo di robot: Le funzioni di controllo e guida possono essere ospitate localmente o trasferite al Mobile Edge Cloud (MEC) per ridurre i costi e abilitare nuovi servizi<sup>13</sup>. La rete di comunicazione diventa parte integrante del ciclo di controllo, imponendo sfide di latenza e resilienza<sup>14</sup>.
- Sensori massivi: Implicano un gran numero di sensori nelle fabbriche per migliorare il controllo dei processi e la pianificazione. Questi sensori possono connettersi a più stazioni base per aumentare il throughput e ridurre la latenza, permettendo la virtualizzazione in tempo reale dei processi.
- Supporto alla mobilità: Include la pianificazione del percorso e la prevenzione delle collisioni per piattaforme mobili o robot.

Requisiti chiave: La rete deve supportare applicazioni con requisiti diversi di latenza, throughput e affidabilità.

## **Agricoltura 4.0:**

Obiettivo: Integrare tecnologie e applicazioni per migliorare la produzione agricola attraverso l'uso delle TIC, come la misurazione e l'analisi dei dati meteorologici e del suolo in tempo quasi reale.

Sfide e soluzioni: Spesso opera in aree con copertura cellulare sfavorevole o assente<sup>18</sup>. Il Mobile Edge Cloud (MEC) potrebbe essere impiegato direttamente sulle macchine agricole per supportare funzioni di rete e algoritmi di posizionamento<sup>1819</sup>.

Scenari specifici: Include il rilevamento del terreno (sensori per umidità, ecc.), la fotografia agricola (telecamere per identificare malattie delle piante), l'automazione dei macchinari agricoli (e.g., platooning) e la manutenzione predittiva.

## **Reti Energetiche (Energy Grid):**

Obiettivo: Facilitare la transizione verso l'energia decentralizzata e le Smart Energy Grids, che consentono un monitoraggio migliorato e una distribuzione energetica superiore<sup>1820</sup>.

Ruolo del 5G: Abilita nuovi approcci con latenza ridotta, supporta applicazioni come l'Hub Energetico Nazionale 5G, e fornisce connettività wireless in aree difficili da coprire<sup>20</sup>.

Applicazioni future: Includono il rilevamento e la risoluzione automatica dei guasti nei segmenti della rete, il coordinamento dei dispositivi smart home e l'aumento dell'uso della generazione di carico decentralizzata<sup>19....</sup>

Requisiti chiave: La rete di comunicazione deve essere sicura, affidabile e critica per la latenza.

## **Internet Tattile (Tactile Internet):**



**Definizione:** Una rete per accedere, percepire, manipolare o controllare a distanza oggetti o processi reali o virtuali, in tempo reale percepito, da parte di esseri umani o macchine.

**Obiettivi:** Democratizzare l'accesso a competenze e conoscenze, promuovere l'equità globale.

**Benefici del 5G:** Il 5G è fondamentale per le sue esigenze di bassa latenza e comunicazione resiliente. Concetti come il MEC e il Network Slicing sono fondamentali per supportare i suoi requisiti.

**Modalità di trasmissione:** Prevede la trasmissione di dati audio, visivi e aptici (tatto).

**Casi d'uso maggiori:** Includono la formazione umana (e.g., con dispositivi indossabili e machine learning), il trasferimento di competenze (e.g., training in VR/AR) e l'interazione uomo-macchina (e.g., robotica per la riabilitazione)<sup>2425</sup>.

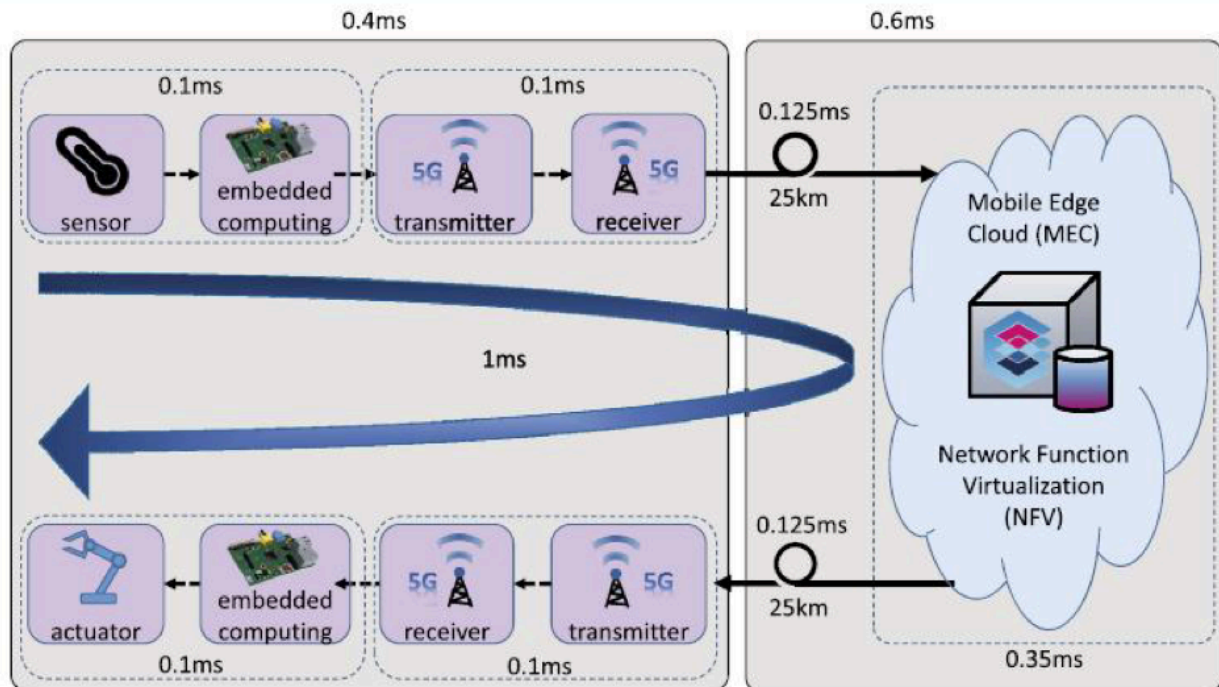
Questi casi d'uso sottolineano la necessità di un'architettura di rete 5G che sia flessibile, scalabile e capace di fornire requisiti QoS estremamente diversi, tra cui latenza ultra-bassa, throughput elevato, alta resilienza, sicurezza robusta, gestione della massività e dell'eterogeneità dei dispositivi, e ottimizzazione del consumo energetico.

## **Primo Livello: Requisiti Tecnici Fondamentali per le Future Applicazioni 5G1**

Il 5G non si limita a migliorare le prestazioni delle generazioni precedenti, ma è progettato per abilitare applicazioni rivoluzionarie, con requisiti estremamente eterogenei. Le sfide chiave includono:

- **Latenza:** Tradizionalmente, le reti dati erano valutate sulla velocità (throughput). Tuttavia, per le applicazioni 5G (es. controllo macchina-macchina e uomo-macchina con cicli di controllo integrati), la latenza e il jitter sono diventati i requisiti principali. Per un ritardo end-to-end di 1 ms, il budget si suddivide tra sensore/attuatore (20%), link wireless (20%), link cablato (25% – richiedendo distanze non superiori a 25 km tra gli endpoint e l'entità di calcolo) e calcolo nella rete (35% – con gli ambienti virtualizzati che consumano una parte

significativa).



- **Throughput:** L'aumento dei tassi di dati è guidato da servizi di streaming video, AR e VR, che richiedono sia alte velocità che bassa latenza. Il 5G punta a un throughput 1000 volte superiore al 4G, con picchi di oltre 10 Gb/s per cella e tassi individuali di 50 Mb/s in uplink e 100 Mb/s in downlink.
- **Resilienza:** È la capacità di una rete di mantenere un livello accettabile di servizio nonostante guasti o sfide. Le reti 5G sono complesse e dinamiche e devono garantire prestazioni (throughput, latenza, affidabilità) che spesso presentano dei compromessi (es. la correzione degli errori in avanti (FEC) migliora l'affidabilità ma riduce il throughput). Un approccio olistico sull'intera pila di rete è necessario per minimizzare la latenza e massimizzare throughput e affidabilità.
- **Sicurezza:** La crescente dipendenza digitale e l'uso dei servizi cloud gestiti da più parti aumentano la complessità della sicurezza. Gli obiettivi sono confidenzialità, integrità e disponibilità( #CIA - Confidentiality Integrity Availability ). Le reti 5G devono garantire la sicurezza dei dati tramite crittografia e codici di autenticazione, e l'anonimizzazione dei dati dei sensori per la privacy.
- **Massività:** Si prevede un aumento di uno o due ordini di grandezza nel numero di dispositivi wireless rispetto ai telefoni cellulari. Questa massività introduce sfide di complessità ed eterogeneità (dispositivi con diverse tecnologie).
- **Eterogeneità:** L'IoT introduce un'ampia varietà di dispositivi (automobili, sensori stradali) con caratteristiche diverse. La soluzione proposta è l'utilizzo di un'unica rete di

comunicazione fisica con algoritmi scalabili, agili e flessibili per gestire diversi livelli di complessità<sup>1</sup>.

- Consumo Energetico: Le reti 5G devono affrontare costi energetici elevati e tempi operativi limitati per i dispositivi<sup>1</sup>. Lo sviluppo di nuove architetture e protocolli di comunicazione è essenziale per ridurre drasticamente il consumo energetico.

Il documento illustra specifici requisiti tecnici (latenza, disponibilità, resilienza, data rate) per diversi casi d'uso come **Connected Autonomous Cars** (controllo dell'auto, navigazione, intrattenimento a bordo, manutenzione predittiva), **Industry 4.0** (reti massicce di sensori, dati da telecamere, controllo macchine, manutenzione predittiva), **Agriculture 4.0** (rilevamento a terra, fotografia agricola, automazione macchinari, manutenzione predittiva) e reti energetiche (applicazioni smart home, centrali elettriche virtuali, rilevamento guasti). Queste tabelle evidenziano l'estrema eterogeneità dei **#KPI** (Key Performance Indicator) anche all'interno dello stesso settore verticale, rafforzando l'importanza del network slicing per implementare più casi d'uso in parallelo sulla stessa infrastruttura fisica.

## Il Secondo Livello: I Concetti Innovativi

Per affrontare i complessi requisiti 5G e superare i compromessi intrinseci (es. throughput vs. latenza), sono necessari nuovi concetti di comunicazione:

- Nuova Interfaccia Radio (New Air Interface): Si concentra sul miglioramento delle condizioni di latenza, throughput, supporto a un numero massiccio di nodi e sicurezza, con la bassa latenza come caratteristica distintiva.
- Reti Mesh Wireless (Wireless Mesh Networks): Consentono di ridurre il consumo energetico, aumentare la resilienza e diminuire i ritardi, pre-elaborando i dati dei sensori o coordinando i veicoli. Sono complementari alla comunicazione cellulare e utili in aree senza copertura 5G.
- Comunicazione Multipath e Multiconnettività (Multipath Communication and Multiconnectivity): Si basano sull'idea di Paul Baran di utilizzare percorsi diversi per aumentare throughput e resilienza. Questo include l'uso di TCP multipath e approcci di multiconnettività legati agli aspetti radio.
- Content Delivery Networks ( **#CDN** ): Server distribuiti globalmente che memorizzano copie di contenuti popolari vicino agli utenti. Migliorano la qualità della consegna, riducono il traffico e offrono una consegna più rapida agli utenti finali.
- Reti Centrate sull'Informazione (Information-centric networks - **#ICN** ): Un nuovo paradigma che mira a migliorare l'efficienza della distribuzione dei contenuti e la sicurezza della rete, focalizzandosi sui nomi dei contenuti piuttosto che sulle loro posizioni. Incorporano caching in-network e sicurezza basata sui contenuti<sup>1</sup>.
- Network Slicing: Consiste nel suddividere una rete fisica in più reti logiche (virtuali), ciascuna con parametri QoS diversi, per supportare un'ampia varietà di servizi. È

fondamentale per **gestire l'eterogeneità delle richieste di servizio e garantire isolamento e performance** tra le slice. SDN e NFV sono i suoi principali abilitatori.

- Mobile Edge Cloud ( **#MEC** ): Un'infrastruttura con capacità di calcolo e storage posizionata più vicino agli utenti finali. Minimizza il ritardo di propagazione e il ritardo di calcolo, consentendo il trasferimento di applicazioni e servizi tra i nodi senza interruzioni significative. I primi utilizzi includono gaming mobile, controllo industriale e auto connesse<sup>1</sup>.

## Il Terzo Livello: Le Tecnologie di Softwarizzazione

L'integrazione di calcolo e storage in ogni rete di comunicazione è definita softwarizzazione, con un impatto significativo sulle relazioni tra operatori di rete, produttori di dispositivi mobili e fornitori di servizi. Le tecnologie chiave includono:

- Software-Defined Radio (SDR): Permette di arricchire l'hardware con software, consentendo una riconfigurazione flessibile dei componenti e la gestione dinamica delle bande di frequenza.
- Software-Defined Networks (SDN): Disaccoppia il piano di controllo (l'intelligenza) dei dispositivi di rete dal piano dati (l'inoltro dei pacchetti), permettendo un controllo centralizzato e una programmazione dinamica della rete. Questo facilita la sperimentazione e l'adattamento rapido a nuove esigenze.
- Network Function Virtualization (NFV): Nata per ridurre i costi operativi (OPEX) e di capitale (CAPEX) per gli operatori di rete, virtualizza le funzioni di rete (VNF) su hardware commodity. Permette una distribuzione flessibile e un ciclo di vita gestibile delle funzioni di rete.
- Service Function Chaining (SFC): Abilitata dall'NFV, consente il dispiegamento flessibile ed efficiente di funzioni di rete concatenandole in un ordine specifico (es. firewall seguito da DPI)<sup>1</sup>.

## Potenziati Novità e Innovazioni nelle Reti Softwarizzate

Le reti softwarizzate aprono la strada a innovazioni guidate da:

- Machine Learning (ML): Per ottimizzare le operazioni di rete che non possono essere gestite manualmente data l'aumentata flessibilità e dinamicità (es. network slicing, servizi complessi del Tactile Internet)<sup>1</sup>.
- Blockchain, Network Coding e Compressed Sensing sono altre aree di innovazione.

La softwarizzazione offre agli operatori di rete l'opportunità di riacquistare forza, trasformando le reti da "tubi muti" a infrastrutture dotate di capacità di calcolo distribuite, accesso per sviluppatori terzi e funzionalità avanzate per la comunicazione cooperativa.

# Sfide e Opportunità nell'Era del 5G

Il 5G porterà a cambiamenti significativi nel settore delle comunicazioni. Gli operatori di rete hanno l'opportunità di migliorare la loro posizione grazie ai numerosi siti di apparati di comunicazione, in particolare per le applicazioni a bassa latenza. Altri attori, come i fornitori di servizi, potrebbero diventare operatori di rete in piccole regioni grazie a soluzioni di campus o small cell<sup>1</sup>. La gestione efficace di questi cambiamenti sarà cruciale per determinare i vincitori dell'onda 5G.

---