



# **«L'Intelligenza Artificiale e iperconnettività' delle reti di Telecomunicazioni architetture e Servizi»**

## ***DVB-I e 5G che abbraccia la televisione- Come l'IA si inserisce tra 5G e digitale terrestre***

**Ing. Umberto Santoro**

*Membro commissione Telecomunicazioni e Trans. Digitale Ordine  
degli ingegneri di Roma*

*Resp. Segreteria di Area Cpl concordia Soc. Coop.  
Ingegnere delle Telecomunicazioni*



## gen AI, LLMs(Large Language Models)

ChatGPT, sviluppato da OpenAI, è un esempio popolare di questo. Le applicazioni di intelligenza artificiale generative che usano il linguaggio naturale come input sono basate su **modelli di linguaggio di grandi dimensioni** (LLM) per eseguire l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP).

Gli **LLM**, acronimo di **Large Language Models** (ossia “**modelli linguistici di grandi dimensioni**”), rappresentano uno degli sviluppi più significativi nel campo dell'Intelligenza Artificiale degli ultimi anni. Questi sistemi avanzati **hanno cambiato radicalmente il nostro modo di interagire con la tecnologia**, aprendo nuove possibilità di comunicazione tra l'uomo e la macchina e rivoluzionando diversi settori industriali.

Gli **LLM** sono una **tipologia dei modelli linguistici di grandi dimensioni** progettati per processare il linguaggio naturale e generare output testuali, eseguire azioni e/o erogare servizi ad un interlocutore umano, basandosi su comandi e/o richieste recepiti attraverso una interazione in linguaggio naturale (scritto o parlato).



In altre parole si tratta di sistemi di Intelligenza Artificiale progettati per **comprendere, generare e manipolare il linguaggio umano in maniera naturale** e contestualmente rilevante. Questi modelli rappresentano l'evoluzione più recente nel campo dell'elaborazione del linguaggio naturale e si fondano su architetture di deep learning particolarmente sofisticate.

### **Le caratteristiche principali degli LLM**

A differenza dei modelli linguistici tradizionali, che si concentravano su compiti specifici come la traduzione o la sintassi, **gli LLM si caratterizzano per la loro scala senza precedenti**, sia in termini di parametri che di dati di addestramento. Modelli come **Chat GPT** di OpenAI, Claude di Anthropic e **Gemini di Google** contengono **centinaia di miliardi di parametri** e sono stati addestrati su **vasti corpus testuali**, comprendenti libri, articoli, siti web e altre risorse disponibili pubblicamente.

La principale differenza tra gli LLM e i loro predecessori risiede nella capacità di “apprendere” schemi linguistici generali, anziché essere programmati con regole specifiche. Attraverso tecniche avanzate di **Deep Learning**, **questi modelli analizzano immense quantità di testo per identificare pattern statistici e relazioni semantiche**, sviluppando così una “comprensione” implicita della struttura del linguaggio.



## Evoluzione storica degli LLM

L'evoluzione degli LLM può essere tracciata attraverso alcune tappe fondamentali:

**2017:** introduzione dell'architettura Transformer da parte di Google;

**2018:** BERT di Google, che ha rivoluzionato l'NLP con il pre-addestramento bidirezionale;

**2020:** GPT-3 di OpenAI, che con 175 miliardi di parametri ha mostrato capacità emergenti inaspettate;

**2022:** diffusione di modelli come PaLM, LLaMA e Chinchilla, ottimizzando il rapporto tra dimensione e prestazioni;

**2023-2024:** emergere di modelli multimodali come GPT-4 e Claude 3, in grado di elaborare sia testi che immagini.

Questa rapida evoluzione tecnologica ha trasformato gli LLM in strumenti non più sperimentali, ma in **tecnologie capaci di influenzare profondamente diversi settori economici e sociali.**



## Il 5G industriale è ancora sulla carta in attesa dello sviluppo delle reti

**Digitalizzazione.** L'avanzata dei network privati per le aziende e il business è limitata: pesano gli enormi esborsi per le frequenze che hanno impattato sugli investimenti delle società di telecomunicazioni e la necessità di una migliore gestione dello spettro

Andrea Biondi

**A**vanti, ma piano. Troppo piano. Non è un caso che il focus di analisti e osservatori si stia spostando sempre di più verso il 6G. Immaginato come la chiave di volta per dar corso a uno sviluppo dell'industria IoT che con il 5G, almeno finora, non ha avuto un adeguato abbraccio. Dell'Oro Group nel suo recente studio "6G Advanced Research Report" ha messo agli atti il portento di aspettative eccessive riposte nel 5G, come dell'incapacità che la tecnologia mobile di quinta generazione ha mostrato di alterare in modo significativo il trend delle entrate piatte tra gli operatori. Risultato? Flessione del mercato Ran (~21% fra 2021 e 2029) con ripresa però determinata proprio dall'inizio del lavoro sul 6G. Che, si legge sul sito della Commissione europea, «ha il potenziale per riunire settori come la connettività, la robotica, il cloud e il commercio sicuro e affidabile».

Quel potenziale, insomma, che riguarda il futuro (non prima del 2030) ma che ad ora risulta inesperto per il 5G, anche se varie valutazioni sembrano invitare a considerazioni non totalmente pessimistiche.

Tant'è che il mercato più che altro guarda con attenzione e attende lo sblocco delle potenzialità legate al 5G stand alone (quello che non fa perno su infrastrutture 4G già esistenti). È da lì che dovrebbe passare la svolta, o almeno è questa l'attesa degli operatori mentre per il 2030 Gsma stima 5,5 miliardi di connessioni 5G, rispetto alle 1,6 di fine 2023, con una quota di mercato prevista del 56%. E a fare da traino sono soprattutto la crescita del traffico dati mobile e le applicazioni industriali.

I feedback positivi sugli investimenti registrati dal 78% degli early adopter di reti 5G private in diversi mercati testimoniano intanto come il problema non sia la tecnologia, ma vari altri fattori che hanno contribuito a un ritmo di sviluppo troppo blando delle reti 5G a uso industriale, fotografato anche dall'ultima edizione dell'Osservatorio 5G & Beyond del Politecnico di Milano. Il quale restituisce un quadro con più ombre che luci dopo aver mappato 198 progetti di reti private o dedicate in Europa. Di questi progetti 35 sono stati annunciati nel 2024 e la crescita è stata del 21% rispetto al 2023. I principali ambiti applicativi in Europa sono il settore manifatturiero (34% dei casi), logistico

(28%) e università e centri di innovazione (14%). Un esempio? Ericsson e Cosmote, operatori di telecomunicazioni greci, hanno implementato la prima rete campus cellulare privata, realizzata in Grecia, all'interno dello stabilimento produttivo in cui l'azienda Calpak produce in modo completamente automatizzato scaldaacqua a energia solare. Nel settore logistico, le aree portuali si confermano l'ambiente più vitale, con oltre metà dei casi a livello europeo.

Il primato nel Continente spetta alla Germania che, da sola, pesa per circa il 23% sul totale dei progetti pubblici in Europa registrando il tasso di crescita (+36%) più significativo. E in Italia? Le principali aree di applicazione riguardano l'ambito manifatturiero (26% dei casi), università e centri di innovazione (23%) e l'ambito logistico (13%). Quantitativamente, però, nel nostro Paese sono al momento 31 le aziende censite dal Politecnico con almeno una rete 5G privata o dedicata attiva e sette sono i progetti avviati nel corso del 2024. La spesa legata a questi progetti raggiungerà alla fine di quest'anno i 14,5 milioni di euro, con un incremento del 70% annuo.

Sono numeri modesti, che risentono di vari fattori e che trovano la

stretta più evidente nel fatto che le reti 5G private sono ancora in fase di sviluppo e gli investimenti per la connettività sono il 7% del loro budget complessivo.

Come è accaduto quindi? In Europa come in Italia le barriere di natura regolatoria e business hanno impattato. Sarebbe errato non considerare gli esborsi necessari, caduti sulle spalle degli operatori, all'interno delle aste per le frequenze. L'Italia, oltre ad essere stata il primo Paese a bandire una gara al vertice per incassi 6,5 miliardi, ne ha oltre 4,3 miliardi di investimenti dagli operatori sulla banda media. A ottobre 2023, gli operatori europei avevano già speso 26 miliardi nelle

bande per il private 5G. In Italia, invece, la spesa ammonta per il 30% del totale degli investimenti di capitale nel settore mobile.

Il fatto che operatori di rete mobile abbiano avuto difficoltà a ricavare tariffe aggiuntive dai consumatori legate al 5G, malgrado i costi significativi dell'infrastruttura di rete, rappresenta l'ingrediente finale di un cocktail i cui effetti si sentono, anche e soprattutto nell'avanzata lenta di use case e del 5G stand alone che può permettere di sfruttare più facilmente il network slicing (porzioni di spettro dedicate a determinati servizi, che possono essere maggiormente remunerati) o di aprire la rete agli sviluppatori per creare applicazioni "quality on demand". Attualmente, dei 280 fornitori di servizi che hanno lanciato il 5G, solo una quarantina hanno adottato reti stand alone. Tutto questo però può funzionare solo con un'adeguata gestione dello spettro. In Paesi come la Germania le imprese possono richiedere diritti esclusivi su blocchi di frequenze specifici. Avere porzioni di spettro garantiti naturalmente permette di sviluppare servizi e applicazioni in modo più agile.

**Il mercato guarda con attenzione allo sviluppo delle potenzialità legate alle reti 5G stand alone ad ora poco diffuse**

I numeri

5,5

miliardi di connessioni

Secondo uno studio Gsma

entro il 2030 le connessioni

5G stand alone saranno 5,5

miliardi, rispetto alle 1,6 di fine

2023, con una quota di

mercato prevista del 56 per

cento. A fare da traino sono

soprattutto la crescita del

traffico dati mobile e le

applicazioni industriali.

Gsma stima che nel 2030

ci saranno 5,5 miliardi di

connessioni 5G stand alone,

rispetto alle 1,6 di fine 2023,

con una quota di mercato

prevista del 56 per cento.

A fare da traino sono

soprattutto la crescita del

traffico dati mobile e le

applicazioni industriali.

Gsma stima che nel 2030

ci saranno 5,5 miliardi di

connessioni 5G stand alone,

rispetto alle 1,6 di fine 2023,

con una quota di mercato

prevista del 56 per cento.

A fare da traino sono

soprattutto la crescita del

traffico dati mobile e le

applicazioni industriali.

Gsma stima che nel 2030

ci saranno 5,5 miliardi di

connessioni 5G stand alone,

rispetto alle 1,6 di fine 2023,

con una quota di mercato

prevista del 56 per cento.

A fare da traino sono

soprattutto la crescita del

traffico dati mobile e le

applicazioni industriali.

Gsma stima che nel 2030

ci saranno 5,5 miliardi di

connessioni 5G stand alone,

rispetto alle 1,6 di fine 2023,

con una quota di mercato

prevista del 56 per cento.

A fare da traino sono

soprattutto la crescita del

traffico dati mobile e le

applicazioni industriali.

Gsma stima che nel 2030

ci saranno 5,5 miliardi di

connessioni 5G stand alone,

rispetto alle 1,6 di fine 2023,

con una quota di mercato

prevista del 56 per cento.

14,5

miliardi di euro

La spesa per i progetti 5G

stand alone raggiungerà alla

fine di quest'anno i 14,5

miliardi di euro, con un

incremento del 70% annuo.

La spesa per i progetti

5G stand alone raggiungerà

alla fine di quest'anno i

14,5 miliardi di euro, con

un incremento del 70%

annuo. La spesa per i

progetti 5G stand alone

raggiungerà alla fine di

quest'anno i 14,5 miliardi

di euro, con un incremento

del 70% annuo. La spesa

per i progetti 5G stand

alone raggiungerà alla

fine di quest'anno i 14,5

miliardi di euro, con un

incremento del 70% annuo.

La spesa per i progetti

5G stand alone raggiungerà

alla fine di quest'anno i

14,5 miliardi di euro, con

un incremento del 70%

annuo. La spesa per i

progetti 5G stand alone

198

progetti

L'Osservatorio 5G & Beyond

del Politecnico di Milano ha

mappato 198 progetti di

reti private o dedicate in

Europa. Di questi progetti

35 sono stati annunciati

nel 2024 e la crescita è

stata del 21% rispetto al



L'approfondimento riguarda il **Beam Steering** (Pilotaggio del Fascio), una funzione chiave del Beamforming e del Massive MIMO nel 5G.

### Beam Steering nel 5G (Pilotaggio del Fascio)

Il Beam Steering è la capacità dinamica, in tempo reale, di orientare il fascio del segnale radio direttamente verso lo specifico dispositivo utente (UE, User Equipment), come uno smartphone o un sensore IoT.

A differenza delle vecchie antenne 4G che irradiavano un segnale ampio in tutte le direzioni (come una lampadina), le antenne 5G (che usano la tecnologia Massive MIMO con centinaia di elementi radianti) agiscono come un faro orientabile.

### Come funziona (Il ruolo dell'Intelligenza Artificiale)

Il pilotaggio è reso possibile da algoritmi IA/ML che intervengono sulla fase e sull'ampiezza del segnale di ciascun elemento della schiera di antenne:

**Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output):** La stazione base 5G (gNodeB) è dotata di un grande array (matrice) di antenne.

Elaborazione del segnale: L'IA /ML calcola l'esatto ritardo di fase da applicare a ciascun elemento dell'antenna.



### **Interferenza Distruttiva:**

Contemporaneamente, in tutte le altre direzioni si crea un'interferenza distruttiva che annulla o minimizza il segnale radio (i cosiddetti «zeri» del fascio)

Questa è la parte di Beam Steering: il fascio direzionale viene continuamente e dinamicamente aggiustato per seguire l'utente che si muove o per adattarsi ai cambiamenti ambientali( es. un camion che ostruisce il percorso)

### **Vantaggi :**

Aumento della Portata(soprattutto in mmWave): Compensando l'alta attenuazione delle frequenze più elevate(onde millimetriche), concentra l'energia e ne aumenta l'efficienza sulla lunga distanza.

Riduzione delle interferenze: Riducendo il segnale «sparso» in direzioni non utili, si abbassano le interferenze con altri utenti, migliorando l'efficienza spettrale.

**Migliore Qualità del Segnale (SINR):** il segnale focalizzato arriva al dispositivo con una potenza maggiore e un rapporto segnale-rumore più favorevole.

### **Maggiore Efficienza Energetica:**

L'energia di trasmissione non viene sprecata in direzioni inutili, riducendo il consumo della stazione base.



In sintesi, il Beam Steering trasforma la trasmissione del segnale da una «luce diffusa»(omnidirezionale) a un «raggio laser»(direzionale) , guidato dall'Intelligenza Artificiale

### **Antenne attive (Antenne Massive MIMO – MaMIMO)-Fonte CEI-211-10**

A differenza delle antenne passive il cui fascio ha una sagomatura fissa nel tempo, recenti implementazioni di soluzioni di sistemi radianti utilizzano la **tecnologia Massive-MIMO (MaMIMO)**

e sono in grado di generare fasci che variano nel tempo. In tali sistemi (noti come Antenne Attive,

**Smart Antennas, MaMIMO Antennas**) il diagramma di radiazione non è fisso ma assume forma, direzione di puntamento, nulli di radiazione, guadagno e aperture che variano velocemente nel tempo (a seconda delle tecnologie, anche con variazione dell'ordine del ms). La capacità di variare i parametri suddetti è indicata con il termine beamforming.

Le antenne attive sono realizzate con schiere di radiatori elementari di elevata numerosità (sono tipiche applicazioni con 192 radiatori elementari);



l'antenna è – in genere – accoppiata in maniera diretta all'elettronica di controllo del fascio, entrambe racchiuse all'interno dello stesso contenitore, senza possibilità di accesso dall'esterno alla parte a radio frequenza. Per alcune applicazioni, la parte di controllo è separata dalla parte radiante e le due sezioni sono raccordate attraverso linee di trasmissione. La capacità di beamforming si basa sulla gestione tempo variante del fattore di schiera dell'insieme dei radiatori elementari.

Una prima classificazione delle antenne attive si basa sulla modalità con cui vengono generati e gestiti i diagrammi di radiazione [1]:

1) Antenne **Grid of Beams (GoB)**: l'antenna è in grado di generare una molteplicità di fasci scelti in un insieme finito e predeterminato; l'insieme di fasci è in genere molto popolato. I fasci, individuati attraverso una Tabella di verità (codebook), sono scelti istante per istante in base alle condizioni di servizio, scenario e interferenza.

2) Antenne con **Sintesi in tempo reale (EBB – Eigen Based Beamforming)**: il fascio viene sintetizzato in tempo reale anche grazie ai feedback inviati dai terminali utente ([25]): in tal modo, a fronte di un maggiore onere computazionale richiesto al sistema d'antenna, si ottiene una più efficace sagomatura del fascio volta a ottimizzare le prestazioni complessive del sistema trasmissivo. Il numero di diagrammi sintetizzabili, è , in linea teorica, infinito.



Per quanto detto, e a differenza di quanto avviene nei sistemi equipaggiati con antenne passive, nei sistemi equipaggiati con antenne a fascio tempo-variante poiché il diagramma di radiazione varia nel tempo, la distribuzione di campo elettromagnetico varia di conseguenza.

La radiazione

generata dall'antenna, quindi, segue le dinamiche della richiesta di servizio e gestione dell'interferenza in tempo reale, che sono connotate da aleatorietà; la distribuzione effettiva del campo elettromagnetico nello scenario segue le stesse dinamiche. La valutazione dell'esposizione

ai CEM, pertanto, richiede un approccio di tipo statistico che tenga conto della distribuzione spazio-temporale della potenza irradiata e non più solo della variabilità temporale come nel caso delle antenne passive.

Le antenne attive possono implementare la separazione tra piano di utente e piano di segnalazione che, ai fini di questa guida, implica che la parte di gestione e controllo della comunicazione può essere distribuita su diagrammi di radiazione diversi rispetto a quelli in cui viene distribuito il

traffico. In questo caso si assiste alla presenza contemporanea di due tipologie di copertura dell'area:

- **la copertura della segnalazione** (o copertura di broadcast): i segnali relativi alla gestione della comunicazione, in tutte le sue fasi, sono trasmessi su un insieme di diagrammi di radiazione specifici per tale scopo. Tali diagrammi di radiazione possono essere diversi da quelli in cui

viene trasmesso il traffico e definiscono la copertura di segnalazione; all'interno dell'area di copertura di segnalazione un terminale si connette alla rete e può fare traffico.



Le metodologie con cui può realizzarsi la copertura di segnalazione sono:  
o copertura fissa: esiste un solo diagramma di radiazione per la segnalazione, con caratteristiche fisse nel tempo e di conseguenza anche l'area di copertura è statica;

o copertura a scansione: in questa modalità l'intera area di copertura è scandita sequenzialmente e periodicamente da un numero fisso e predeterminato di fasci ognuno dei quali fornisce la copertura a una porzione del territorio. L'area di copertura è costante nel tempo ma in una data porzione di territorio, compresa all'interno dell'area di copertura, la segnalazione è presente solo quando il fascio servente è attivo.

**la copertura del traffico**: è la copertura per l'erogazione del traffico, dimensionalmente corrisponde alla copertura di segnalazione in quanto un terminale potrà essere servito in quell'area solo se presente la copertura di segnalazione. Le prestazioni ottenibili e i livelli di campo elettromagnetico all'interno dell'area di copertura di servizio dipendono dai diagrammi di radiazione del traffico e dalla potenza associata al traffico.



È possibile e ammesso che la segnalazione e il traffico facciano uso dei medesimi diagrammi di radiazione.

Nell'ambito delle antenne attive, data l'aleatorietà che può assumere la forma del diagramma di radiazione nel tempo, viene introdotto il concetto di diagramma di radiazione inviluppo.

Data l'ampia disponibilità di diagrammi di radiazione utilizzabili/sintetizzabili da una antenna attiva, è possibile utilizzarne un sottoinsieme specifico, per la segnalazione e per il traffico, per ottenere tracce di copertura differenti a seconda degli scenari di servizio. Il sottoinsieme di diagrammi di radiazione che appartengono all'antenna utilizzati per delineare una tipologia specifica di copertura, di segnalazione o di traffico, è denominata "configurazione di antenna". Un'antenna attiva può avere una molteplicità di configurazioni diverse per poter servire al meglio le diverse tipologie di scenario che si presentano



## Ricostruzione del solido di radiazione attraverso i tagli principali

Per scopi pratici molto frequentemente accade che il diagramma di radiazione venga rappresentato attraverso due tagli del solido di radiazione passanti per il massimo. Una approssimazione della funzione guadagno per il lobo principale dell'antenna è data dalla seguente relazione:

$$G(\vartheta, \varphi) \cong G_{max} DV(\vartheta) DH(\varphi)$$

Equazione 6-2

dove DV e DH sono il diagramma di irradiazione dell'antenna, normalizzato a 1, rispettivamente nel piano verticale e orizzontale e GMAX è il valore di guadagno nella direzione di massima irradiazione.

Si precisa che i diagrammi di irradiazione misurati sui piani orizzontale DH( $\phi$ ) e verticale DV( $\vartheta$ ) si intersecano nello stesso punto ( $\vartheta_{max}$ ,  $\phi_{max}$ ) in cui si trova il guadagno massimo. Si precisa che, solitamente, i livelli dei diagrammi di irradiazione vengono riportati in dB, mentre il guadagno massimo, riferito al radiatore isotropico è riportato in dBi. In questo caso:

$$G(\vartheta, \varphi)(dBi) \cong G_{max}(dBi) + DV(dB)(\vartheta) + DH(dB)(\varphi)$$

$$G_{max} = 10G_{max}(dBi)/10$$

Equazione 6-3



L'Equazione 6-3 presenta limiti di applicabilità e margini di errore, in particolare per le direzioni esterne al lobo principale. Va sottolineato, tuttavia, che i diagrammi di irradiazione disponibili per ogni tipo di antenna forniscono indicazioni significative sull'andamento dei lobi principali e sulle ampiezze massime dei lobi secondari, ma che difficilmente tali diagrammi rappresentano nelle reali installazioni un riferimento univoco sul livello di densità di potenza irradiata per ogni punto di osservazione. Nel semispazio opposto a quello dove si trova il lobo principale di irradiazione, dove sono presenti elementi di supporto dell'antenna stessa e di altre antenne, il diagramma di irradiazione potrebbe risultare localmente deformato, comunque in una regione laddove il guadagno è tipicamente molto più basso rispetto a quello del lobo principale. Di conseguenza, nei limiti descritti, l'Equazione 6-2 e l'Equazione 6-3 rappresentano generalmente un'approssimazione accettabile per la funzione guadagno. Con riferimento all'Equazione 6-2 e all'Equazione 6-3, occorre precisare che, in un sistema di riferimento sferico, si definiscono generalmente gli intervalli delle coordinate come segue:

$$r \in [0; \infty]$$

$$\theta \in [-\pi/2; \pi/2]$$

$$\varphi \in [-\pi; \pi]$$

Equazione 6-4

Si osservi che la coordinata meridiana  $\theta$  si annulla nel piano equatoriale x,y.



Conseguentemente, mantenendo gli intervalli definiti dall'Equazione 6-4, nella ricostruzione del diagramma di irradiazione di Equazione 6-2 viene considerata solo la parte del diagramma di irradiazione verticale di ampiezza angolare di  $180^\circ$  contenente il lobo principale.

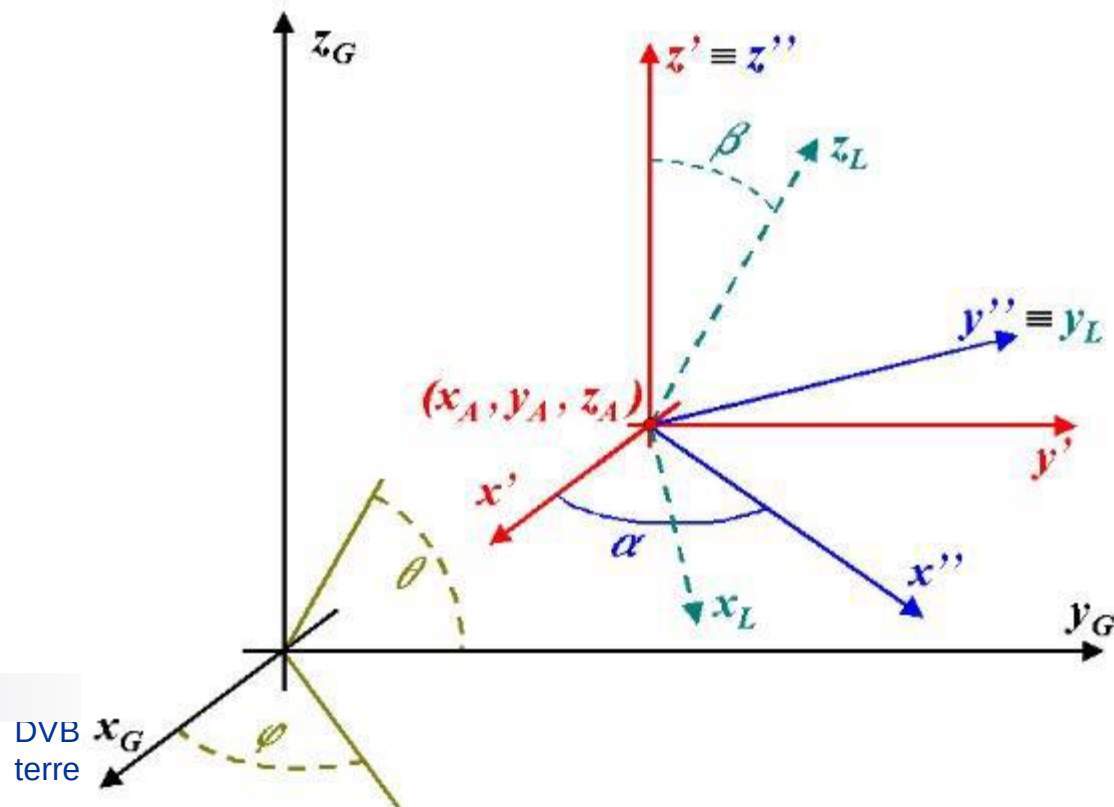
In alternativa all'Equazione 6-2 e all'Equazione 6-3, ai fini della determinazione della funzione guadagno, è possibile utilizzare il solido di radiazione misurato sull'intera sfera o comunque su almeno due piani coordinati contenenti il massimo dell'irradiazione. In entrambi i casi, i valori della funzione guadagno nelle direzioni non incluse nell'insieme dei dati misurati possono essere ottenuti tramite un processo di interpolazione, che deve essere descritto e deve garantire il più possibile la fedeltà rispetto ai dati originali.

Naturalmente i valori di campo calcolati vanno riferiti al sistema di riferimento globale che si sta considerando. In particolare, occorre implementare le formule di passaggio tra il sistema di riferimento locale dell'antenna e quello del sistema globale, tenendo conto della posizione dell'antenna, della direzione di puntamento e dell'angolo di TILT MECCANICO, avendo già considerato il TILT ELETTRICO dell'antenna nel diagramma di irradiazione (Figura 6-2).

Si consideri un sistema di riferimento globale nelle coordinate cartesiane  $x_G$ ,  $y_G$ ,  $z_G$  in cui la direzione  $x_G$  indichi l'Est geografico, la direzione  $y_G$  il Nord geografico e la direzione  $z_G$  lo zenith.

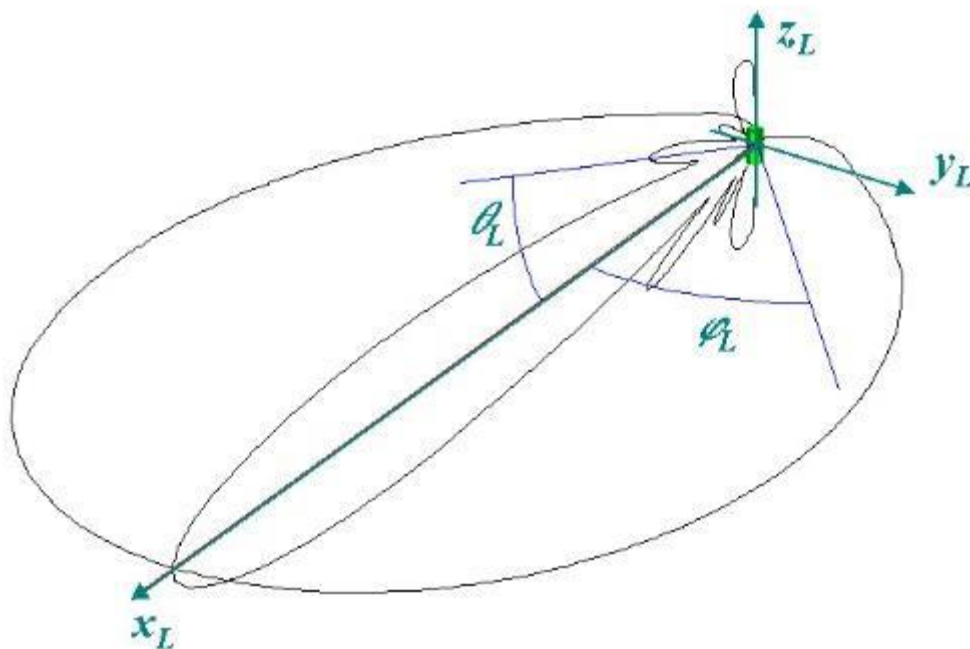
Si consideri inoltre un'antenna avente:  
centro elettrico posizionato nel punto di coordinate  $x_A, y_A, z_A$  nel sistema di riferimento globale  $x_G, y_G, z_G$ ;  
angolo tra la proiezione dell'asse del lobo principale di irradiazione sul piano  $x_G, y_G$  e l'asse  $x_G$   
(misurato in senso antiorario) pari ad  $\alpha$ ;  
angolo di TILT MECCANICO dell'antenna  $\beta$ , misurato tra l'asse meccanico principale dell'antenna e l'asse  $z_G$ .

**Figura 6-2- Sistema di riferimento globale ( $x_G, y_G, z_G$ ) e locale dell'antenna ( $x_L, y_L, z_L$ )**



Il calcolo del sistema di riferimento locale dell'antenna nelle coordinate sferiche  $r_L$ ,  $\theta_L$ ,  $\phi_L$  (Figura 6-3) in funzione del sistema di riferimento globale viene effettuato come da Equazione 6-5:

**Figura 6-3 - Diagrammi di irradiazione verticale e orizzontale**





## Costruzione del diagramma inviluppo

### Costruzione del diagramma di radiazione inviluppo dai solidi di irradiazione

Come precedentemente descritto in 6.2 e 6.3 un'antenna può avere a corredo un sottoinsieme di diagrammi di radiazione in una data banda di frequenza; per esempio, un'antenna passiva multilobo ha a disposizione un numero definito di diagrammi di radiazione allo scopo di parzializzare l'area di copertura e un'antenna attiva ha a disposizione una molteplicità di fasci a seconda che sia di tipo GoB o EBB.

Per talune applicazioni può essere utile gestire il sottoinsieme dei diagrammi di radiazione come fosse un tutt'uno; ne segue l'introduzione del concetto di diagramma di radiazione inviluppo attraverso la definizione data in 6.4.2.

Detta  $N$  la numerosità del sottoinsieme dei diagrammi di radiazione, e detto  $DRi(\vartheta, \varphi)$  il generico diagramma di radiazione espresso in termini di guadagno o direttività, non normalizzato rispetto al proprio guadagno o direttività massima, il diagramma di radiazione inviluppo è espresso da:

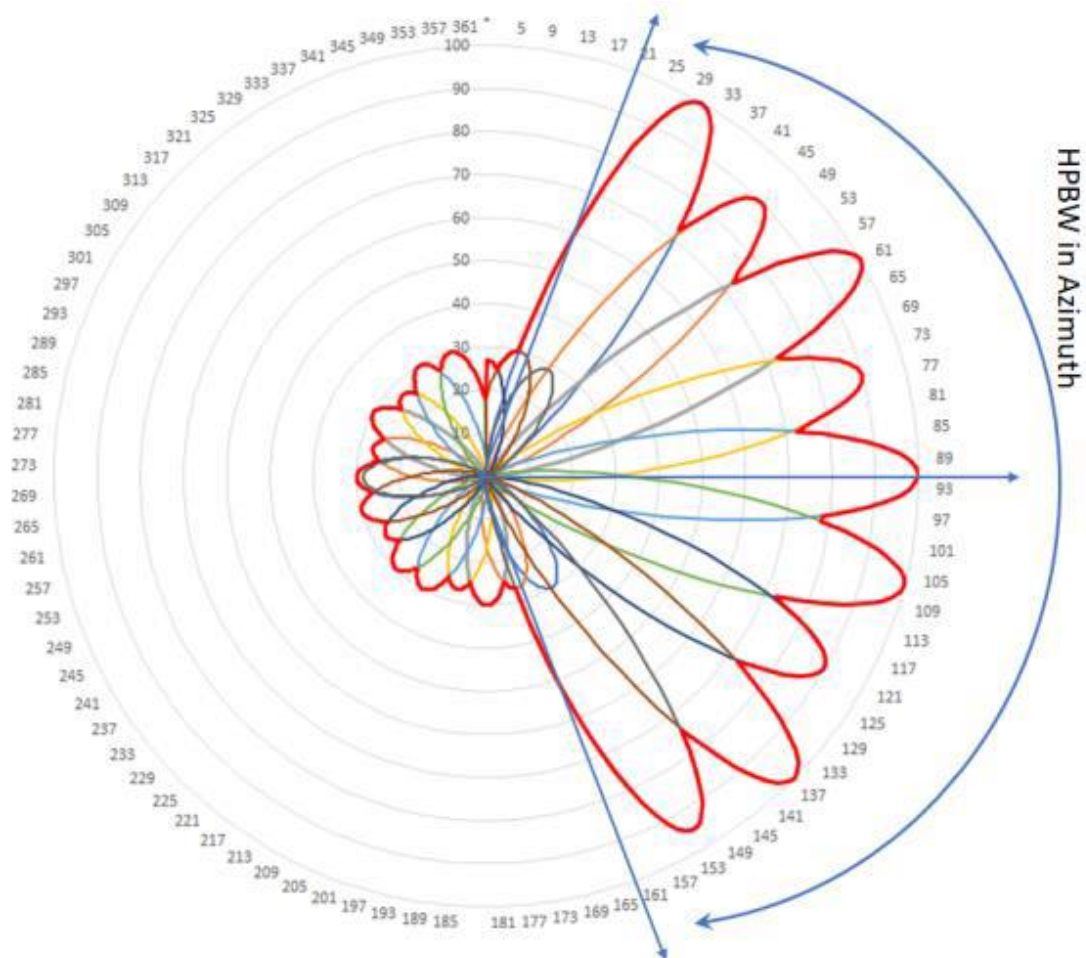
$$DR_{\text{inviluppo}}(\vartheta, \varphi) = \text{Max}[DRi(\vartheta, \varphi)] \quad \forall i; 1 \leq i \leq N; \quad \forall \vartheta; \quad \forall \varphi$$

Equazione 6-6

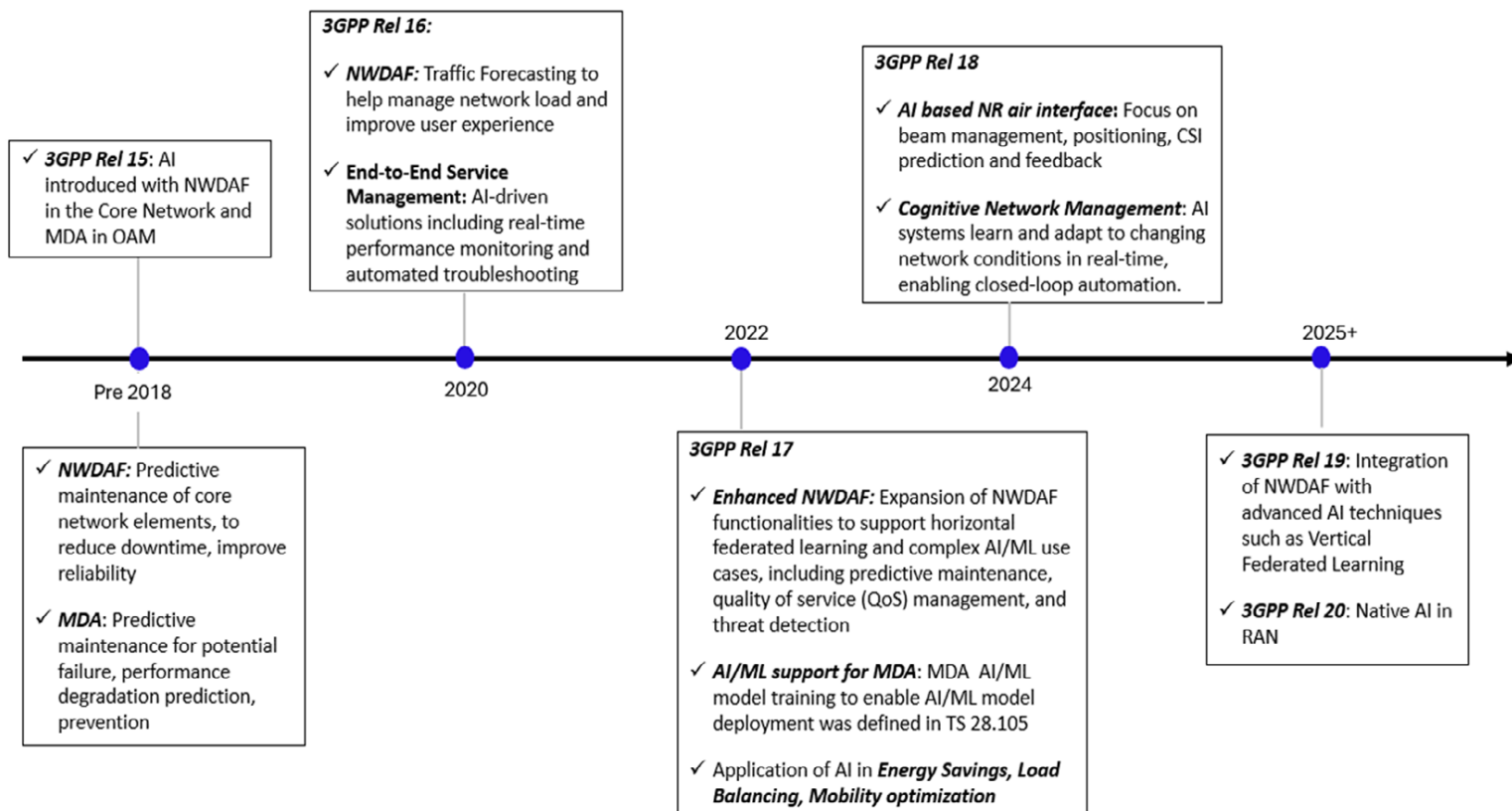
In cui  $\vartheta, \varphi$  sono le coordinate sferiche di elevazione e azimut, rispettivamente.



**Figura 6-4 - Esempio dell'involuppo azimutale  
e dei relativi parametri**



3GPP





## L'Impatto dell'Intelligenza Artificiale nelle Reti Cellulari

L'Intelligenza Artificiale (AI) offre soluzioni transformative per ottimizzare l'efficienza e le prestazioni delle reti cellulari moderne.

L'evoluzione delle reti cellulari richiede approcci di gestione più dinamici e adattivi.

L'AI migliora l'efficienza, la sicurezza e l'esperienza utente nelle reti cellulari.

È fondamentale garantire la fiducia nei sistemi AI affrontando la privacy dei dati e la trasparenza.

## Evoluzione dell'AI nelle Reti di Telecomunicazione

L'adozione dell'AI nelle telecomunicazioni è cresciuta grazie a progressi tecnologici e all'aumento della domanda di dati.

L'AI è stata integrata nelle reti a partire dagli anni 2000, con un focus iniziale sulla previsione del traffico e la sicurezza.

Con l'arrivo del 4G, sono emerse le Reti Auto-Organizzanti (SON) per automatizzare la configurazione e l'ottimizzazione.

La standardizzazione dell'AI è iniziata con il rilascio 15 di 3GPP, introducendo il Network Data Analytics Function (NWDAF).



## AI nel Livello Fisico delle Reti

L'AI può ottimizzare le funzionalità del livello fisico, migliorando l'interfaccia aerea e l'efficienza spettrale.

L'AI è utilizzata per migliorare il feedback delle informazioni sullo stato del canale (CSI) e la gestione dei fasci.

Tecniche di compressione del CSI possono ridurre l'overhead e migliorare l'accuratezza della ricostruzione.

L'AI consente una gestione più efficiente dei fasci, affrontando le sfide di complessità e overhead.

## Applicazioni dell'AI nel RAN

L'integrazione dell'AI nel Radio Access Network (RAN) consente una gestione più intelligente e adattiva.

L'AI/ML migliora l'ottimizzazione delle prestazioni e la scalabilità delle reti.

Tecniche come l'apprendimento per rinforzo (RL) possono migliorare la selezione dei fasci e la gestione delle risorse.

L'AI consente l'analisi dei dati in tempo reale, migliorando l'esperienza utente e l'efficienza operativa.



## Considerazioni Etiche sull'AI

L'implementazione dell'AI nelle telecomunicazioni deve affrontare questioni etiche e di fiducia.

È essenziale garantire la privacy dei dati e mitigare i bias nei modelli AI.

La trasparenza e l'affidabilità sono cruciali per mantenere la fiducia degli operatori e degli utenti.

Le pratiche responsabili nell'uso dell'AI sono fondamentali per il futuro delle reti cellulari.

## AI/ML Model Training and Inference in Networks

L'addestramento e l'inferenza dei modelli AI/ML possono avvenire sia sul lato gNB(gnodeB con 5G) che sul lato UE(apparecchiatura utente), con l'obiettivo di ottimizzare la previsione dei fasci.

I modelli AI/ML sul lato gNB utilizzano misurazioni L1 RSRP per prevedere i fasci migliori.

I modelli sul lato UE misurano la potenza dei fasci e riportano i fasci più forti al network.

La generalizzazione dei modelli AI/ML è cruciale; i modelli UE non generalizzano bene tra diversi codici gNB.

È necessario monitorare le prestazioni dei modelli AI/ML durante l'inferenza, con KPI calcolati dal network.



## AI-Enabled Positioning for Various Applications

Il posizionamento abilitato dall'AI è fondamentale per applicazioni come la sicurezza e la guida autonoma, migliorando l'accuratezza in condizioni NLOS.

Le tecniche di posizionamento classiche, come TDoA(Time difference of Arrival) e AoA(Angle of Arrival) sono meno efficaci in condizioni NLOS(no line of sight).

I modelli AI/ML possono migliorare l'accuratezza del posizionamento analizzando i percorsi di propagazione dei segnali.

3GPP ha dimostrato un'accuratezza sub-metrica in scenari estremi NLOS, rispetto a oltre 10 metri delle tecniche classiche.

Sono stati identificati casi d'uso per il posizionamento diretto e assistito tramite AI/ML.

## AI in Data Link Layer and Network Layer

L'integrazione dell'AI nei livelli L2 e L3 ottimizza la gestione delle risorse e il controllo del traffico nelle reti cellulari.

L'AI nel livello L2 consente allocazioni dinamiche delle risorse e gestione adattativa della qualità del servizio (QoS).

Nel livello L3, l'AI gestisce la mobilità intelligente e l'equilibrio del carico tra celle.

L'AI contribuisce anche al risparmio energetico ottimizzando l'attivazione delle risorse in base alla domanda.



### **3GPP's Role in Standardizing AI/ML**

3GPP sta lavorando per standardizzare l'integrazione dell'AI/ML nelle reti L2 e L3, affrontando sfide di ottimizzazione e gestione della mobilità.

Le prime iniziative sono iniziate con il rilascio 17, concentrandosi su funzioni SON come il risparmio energetico e l'ottimizzazione della mobilità.

Sono stati identificati casi d'uso pratici per l'AI/ML, come il bilanciamento del carico e l'ottimizzazione della mobilità.

### **AI's Impact on RAN Architectures**

L'AI può essere implementata in architetture RAN tradizionali, Cloud RAN e Open RAN, ognuna con opportunità e sfide uniche.

Le architetture tradizionali offrono integrazione ma limitano la flessibilità.

Cloud RAN consente una scalabilità migliorata e inferenze in tempo reale grazie alla virtualizzazione.

Open RAN promuove l'interoperabilità e l'integrazione dell'AI attraverso interfacce aperte.

### **AI's Role in Core Networks and BSS/OSS**

L'AI migliora le operazioni nei core network e nei sistemi BSS/OSS, ottimizzando la gestione e l'esperienza del cliente.

Il NWDAF fornisce analisi predittive per ottimizzare le risorse e migliorare la gestione della rete.

L'AI può automatizzare la gestione delle operazioni e migliorare l'efficienza operativa.



## **Federated Learning in NWDAF**

Il NWDAF supporta l'apprendimento federato, consentendo l'addestramento collaborativo dei modelli senza condividere dati sensibili.

L'apprendimento federato orizzontale (HFL) consente l'addestramento locale con aggregazione centralizzata.

L'apprendimento federato verticale (VFL) permette l'uso di spazi di caratteristiche diversi per migliorare i modelli.

## **Lifecycle Management of AI Models**

La gestione del ciclo di vita dei modelli AI è fondamentale per garantire prestazioni ottimali e adattabilità nelle reti moderne.

Include processi di raccolta dati, selezione del modello, addestramento e monitoraggio delle prestazioni.

L'automazione e l'integrazione delle pratiche MLOps e DevOps(processi di Machine Learning) sono essenziali per l'efficacia operativa.

## **Trustworthy and Responsible AI in Telecom**

L'AI deve operare in modo responsabile e affidabile, garantendo trasparenza, sicurezza e mitigazione dei bias.

È fondamentale implementare misure di privacy e sicurezza per proteggere i dati degli utenti.

L'oversight umano è cruciale per le decisioni critiche, garantendo che ci siano meccanismi di intervento.



# **«Gli uomini acquistano scienza ed arte attraverso l'esperienza» Aristotele (384 a.C-322 a.C)**

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

**Ing. Umberto Santoro**

Mail: [santoro.umberto@live.it](mailto:santoro.umberto@live.it)