



Gestione end-to-end di reti ibride terrestri e satellitari

Il ruolo dei sistemi
di gestione nell'integrazione
delle reti 5G-NTN



01

Introduzione

Pagina 1

02

Reti ibride terrestri e satellitari

Pagina 3

03

Architettura 5G-NTN

Pagina 6

04

Principali sfide

Pagina 9

05

Casi d'uso

Pagina 11

06

Il ruolo dei sistemi di gestione nell'ecosistema 5G-NTN

Pagina 14

07

Conclusioni

Pagina 18



L'evoluzione delle telecomunicazioni verso modelli di connettività ubiqua sta spingendo l'integrazione di reti terrestri e non terrestri in un ecosistema unico e convergente. In questo scenario, le reti 5G-NTN (*Non-Terrestrial Networks*) emergono come pilastro strategico per garantire copertura globale, resilienza operativa e continuità del servizio, superando i limiti propri delle infrastrutture tradizionali.

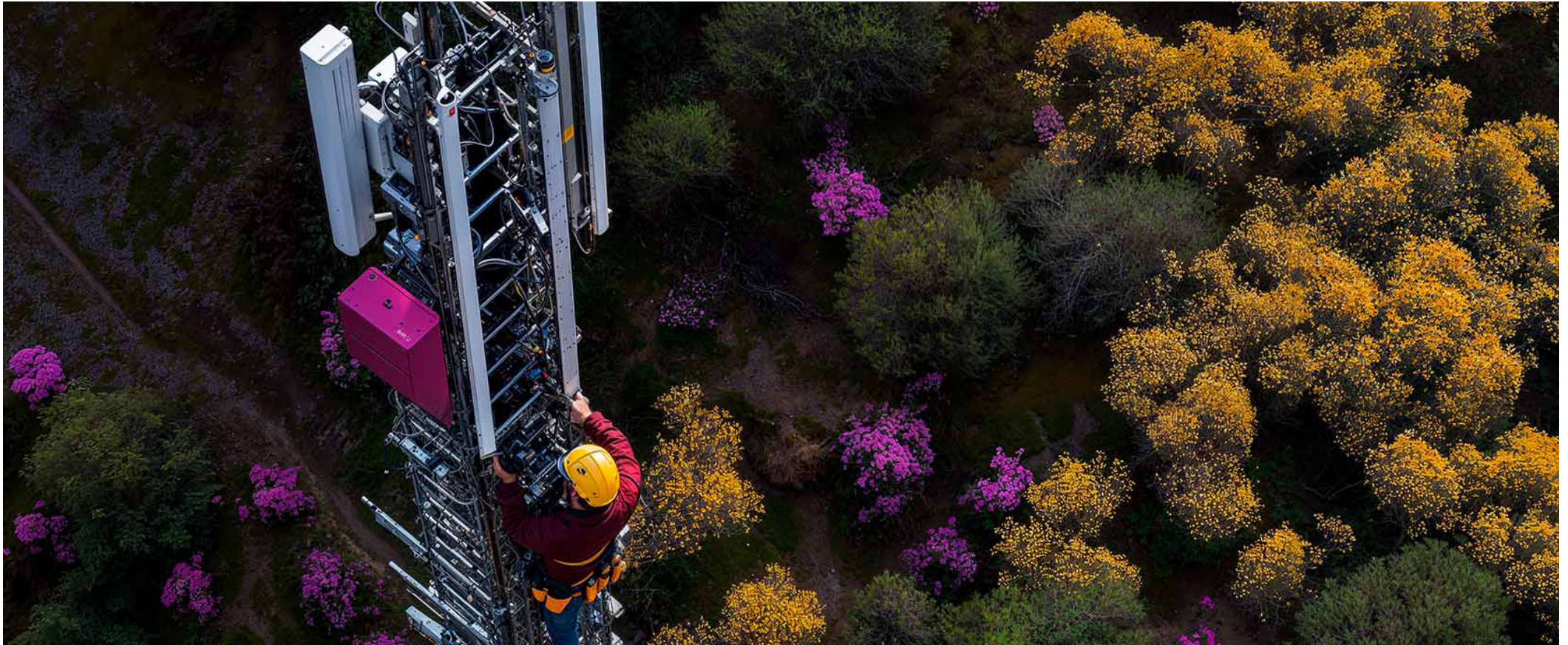
L'introduzione di capacità satellitari, in particolare tramite costellazioni in orbita bassa (LEO, dall'acronimo inglese), consente di estendere la portata del 5G ad ambienti in cui il deployment terrestre risulta impraticabile o oneroso, come aree rurali, marittime, eventi di massa occasionali o situazioni di emergenza. Questa convergenza non risponde soltanto a un'esigenza tecnologica, ma anche a una crescente domanda di mercato di soluzioni di connettività globale, sicure e sostenibili, in un contesto di forte crescita e investimento nel settore.

Tuttavia, la vera complessità di queste reti non risiede unicamente nella loro architettura, ma nella loro operatività e gestione. La coesistenza di domini con caratteristiche tecniche, operative e regolatorie eterogenee pone sfide significative in termini di orchestrazione, interoperabilità e sicurezza end-to-end dei servizi.

Questo *insight* affronta il concetto delle reti ibride 5G terrestri e non terrestri, analizzandone l'architettura, le principali sfide e i casi d'uso, e ponendo particolare enfasi sul ruolo critico dei sistemi di gestione (OSS, *Operation Support Systems*) come elemento abilitante di un'operatività efficiente, automatizzata e orientata al servizio. L'obiettivo è offrire una visione chiara di come affrontare la casistica di questi ambienti attraverso la gestione integrata dei servizi, il coordinamento efficiente tra domini e l'evoluzione verso soluzioni più automatizzate all'interno dell'ecosistema Telco.



Reti ibride terrestri e satellitari



Le reti ibride combinano l'infrastruttura terrestre tradizionale con reti non terrestri, principalmente basate su satelliti, per fornire una copertura globale, resiliente e continua. Queste reti estendono la connettività oltre la portata delle stazioni base convenzionali grazie alla loro integrazione nell'architettura 5G ⁽¹⁾.

Nella pratica, si impiegano principalmente costellazioni in orbita bassa (LEO, *Low Earth Orbit*), poiché la loro minore altitudine rispetto alla Terra riduce significativamente la latenza rispetto alle orbite più alte, mentre l'uso di fasci stretti consente una maggiore riutilizzazione spaziale dello spettro e una migliore concentrazione dell'energia. Tuttavia, lo standard 3GPP per le NTN ⁽²⁾ prevede anche l'uso di satelliti in orbite MEO (*Medium-Earth Orbit*) e GEO (*Geostationary Earth Orbit*), così come altre piattaforme non terrestri come gli HAPS (*High Altitude Platform Stations*).

Queste reti hanno l'obiettivo di garantire un servizio ininterrotto in ambienti di difficile accesso —come aree rurali, marittime, aeree o scenari di emergenza— agendo come complemento intelligente al 5G terrestre, condividendo sia il piano di controllo sia i meccanismi di gestione della mobilità di utenti e dispositivi. In questo contesto, le NTN si consolidano come abilitatore chiave per la connettività universale, ponendo le basi dell'evoluzione verso i futuri sistemi 6G, in cui si prevede che i domini terrestre e spaziale operino in modo convergente come un'unica piattaforma integrata.



1- Report annuale Tendenze Telco 2026. Osservatorio Tecnologico Telco di Minsait, marzo 2026.

2- 3GPP TR 38.821 Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN).

Le prospettive di business nell'ambito delle reti 5G-NTN mostrano una crescita accelerata e un chiaro consolidamento del mercato, con un tasso di crescita annuo composto (CAGR, *Compound Annual Growth Rate*) stimato al 34% tra il 2026 e il 2034, e si prevede che raggiunga un volume superiore ai 141.720 milioni di dollari ⁽³⁾. Questo slancio è rafforzato da investimenti significativi in progetti di sovranità e sicurezza su infrastrutture LEO, che superano già gli 80.000 milioni di dollari a livello globale ⁽⁴⁾. Parallelamente, si prevede che il numero di utenti di servizi satellitari raggiunga i 15 milioni nel 2026 ⁽⁵⁾, ea testimonianza di un'adozione progressiva.

Anche l'ecosistema sta evolvendo rapidamente dal punto di vista collaborativo, con oltre 275 accordi annunciati tra operatori e fornitori di satelliti — che coprono 101 Paesi — in molteplici casi d'uso, dalla connettività rurale all'IoT e al backhaul. Nel segmento specifico del *satellite-to-cellphone*, esistono già circa 29 partnerships in fase di valutazione, test o già dotate di licenza, mentre i servizi commerciali sono già stati lanciati in 17 Paesi ⁽⁶⁾.

Tutti questi indicatori segnalano un mercato in rapida espansione e confermano che la convergenza tra reti terrestri e satellitari non rappresenta soltanto un'evoluzione tecnologica, ma anche un'opportunità strategica chiave di crescita, estensione della copertura e diversificazione per gli operatori.

3- 5G NTN Market Size, Industry Share | Forecast, 2026-2034, Fortune Business Insights, gennaio 2026.

4- Predictions for the space industry in 2026, Analysys Mason, dicembre 2025.

5- TMT Predictions 2026, Deloitte Insights, novembre 2025.

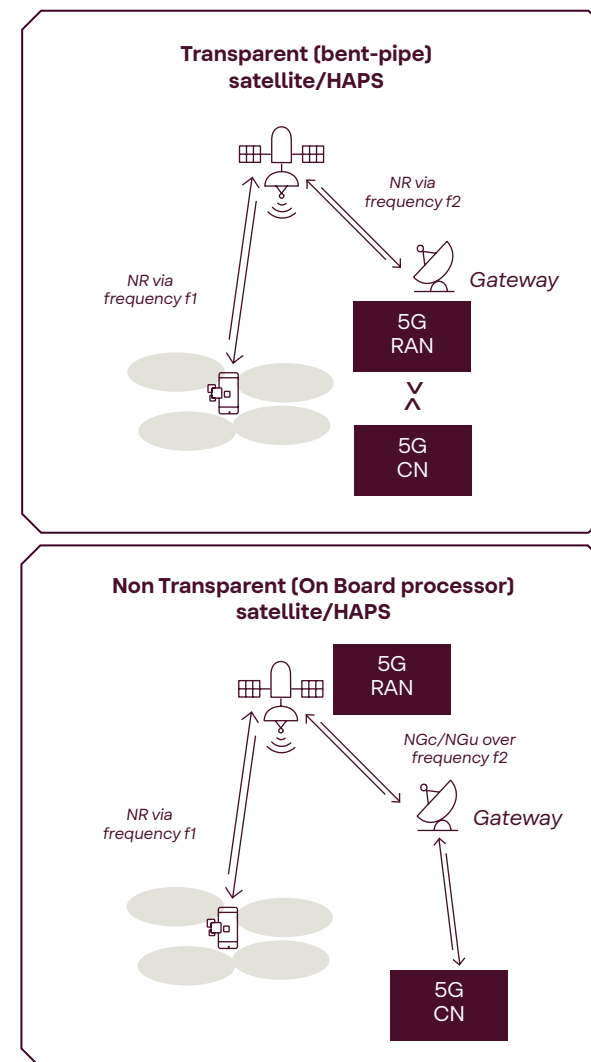
6- NTN Connectivity, GSA, maggio 2026.





Nelle implementazioni 5G-NTN, i satelliti si integrano come estensione della rete mobile, agendo come nodi di accesso che ampliano la copertura del sistema 5G oltre l'infrastruttura terrestre. A seconda dell'architettura, possono operare in modalità trasparente, ritrasmettendo il segnale verso un gateway a terra dove avviene l'elaborazione, oppure in modalità rigenerativa, incorporando a bordo capacità di elaborazione e funzioni di rete —come un nodo gNB 5G— che consentono di trattare il traffico direttamente sul satellite.

In entrambi gli approcci, il nucleo della rete 5G (core) mantiene il controllo centralizzato del servizio, garantendo un'esperienza omogenea per l'utente finale, il cui dispositivo si connette al satellite in modo trasparente, come se si trattasse di una stazione radio-base convenzionale. Grazie a questa integrazione, le reti NTN condividono il piano di controllo, i meccanismi di autenticazione e la gestione della mobilità con il 5G terrestre, facilitando handovers continui tra domini e abilitando servizi avanzati —come voce, messaggistica, dati IP o *network slicing*— su scala globale.



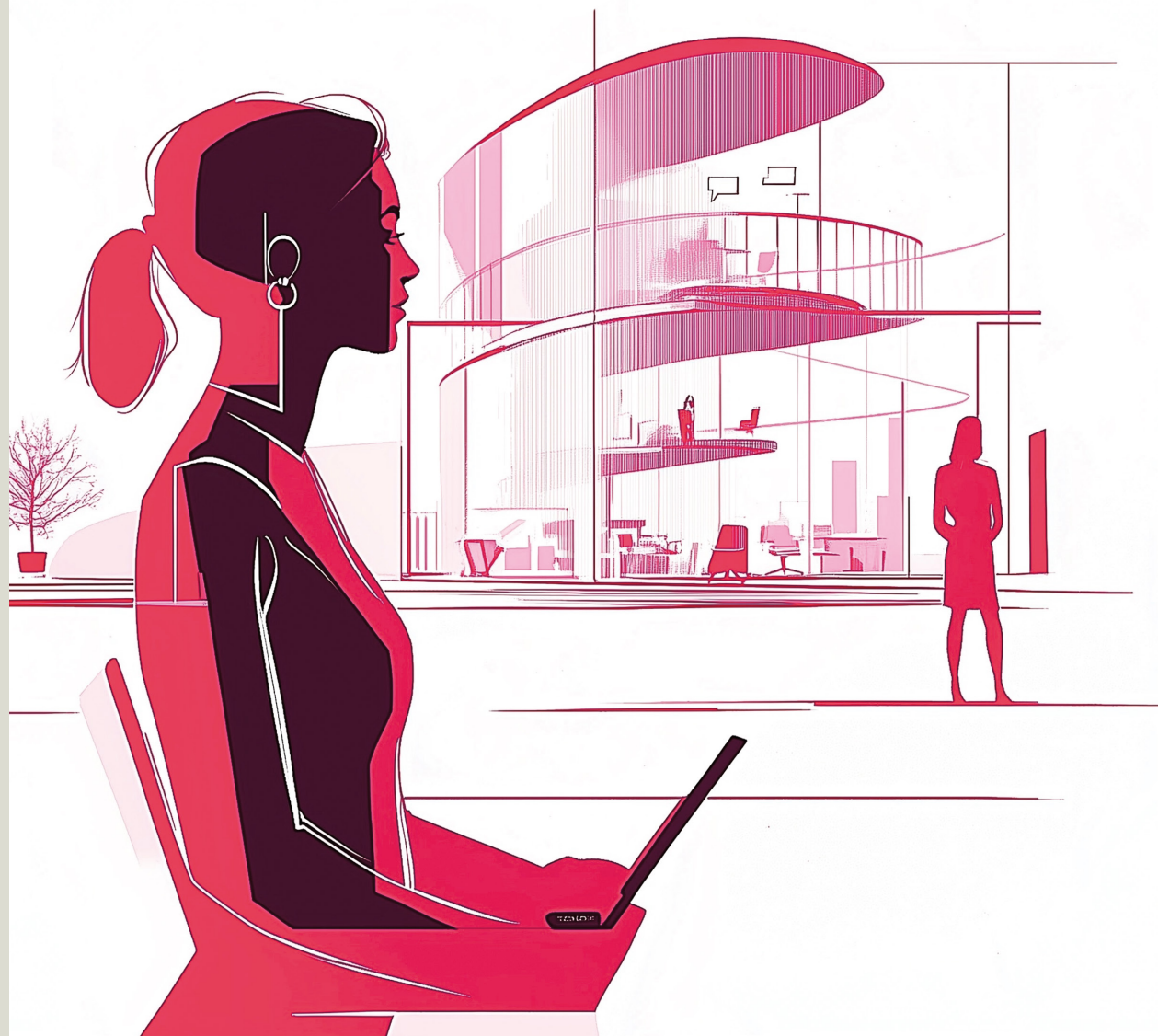
Architettura 5G-NTN: funzionamento in modalità trasparente rispetto a rigenerativa [fonte: 3GPP TR 38.811] ⁽⁷⁾

7- 3GPP TR 38.811, "Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks".

La standardizzazione delle reti 5G-NTN è evoluta in modo significativo attraverso le diverse Releases del 3GPP ⁽⁸⁾, tracciando una roadmap chiara verso l'integrazione progressiva tra reti terrestri e non terrestri. La Release 17 costituisce il punto di partenza, introducendo per la prima volta il supporto alle NTN all'interno dell'ecosistema 5G e definendo i fondamentali per l'operatività con satelliti LEO, MEO e GEO.

Su questa base, la Release 18 —considerata parte del 5G Advanced— amplia queste capacità con miglioramenti nell'efficienza spettrale, ottimizzazione dei collegamenti, supporto più robusto all'IoT su NTN e progressi nell'integrazione operativa, consentendo una maggiore automazione e una migliore qualità del servizio in ambienti ibridi. Infine, la Release 19 approfondisce la piena convergenza terra-spazio, incorporando funzionalità avanzate come i miglioramenti nelle comunicazioni *direct-to-device* (D2D) e un maggiore allineamento ai requisiti del futuro 6G.

8- 3GPP – The Mobile Broadband Standard. <https://www.3gpp.org>





Le reti 5G-NTN presentano una serie di sfide significative che ne condizionano il deployment su larga scala e la maturità operativa. Tra queste spiccano la latenza variabile caratteristica dei collegamenti satellitari e la complessità associata alla gestione dell'*handover* tra segmenti terrestri e non terrestri, soprattutto nelle costellazioni LEO.

A ciò si aggiungono gli elevati costi di deployment e manutenzione delle infrastrutture spaziali e delle stazioni di collegamento terrestri (*gateways*), così come le difficoltà nella gestione dello spettro e nel coordinamento orbitale, entrambi soggetti a quadri regolatori internazionali.

Inoltre, l'interoperabilità tecnologica tra i diversi produttori, operatori e tipologie di satelliti resta limitata, il che ostacola l'integrazione multifornitore. Da una prospettiva di rischio, assumono rilevanza aspetti come la cybersecurity e la sovranità dei dati in infrastrutture distribuite al di fuori dell'ambito terrestre. In questo senso, esistono iniziative a livello europeo come IRIS²⁽⁹⁾.

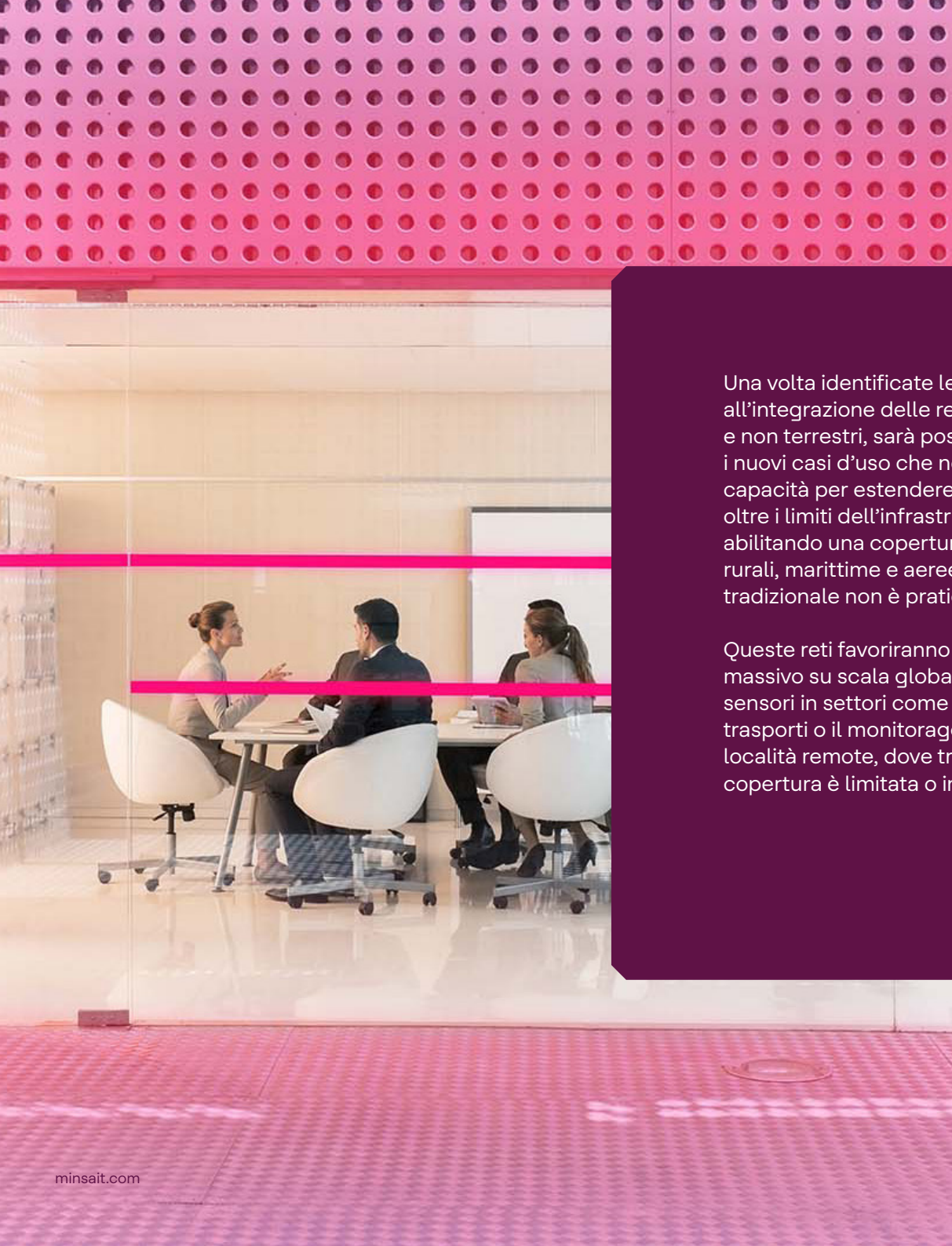
⁹- <https://eu-space.europa.eu/secure-connectivity/iris2>

Inoltre, la casistica operativa ed energetica —derivante dalla necessità di coordinare migliaia di satelliti e nodi— richiede nuovi modelli di automazione e gestione avanzata. A ciò si aggiunge una standardizzazione ancora incompleta e la dipendenza da accordi multilaterali, in un contesto in cui l'ecosistema si trova ancora in una fase di adozione graduale, con barriere all'ingresso rilevanti per i nuovi attori.

In questo scenario, una delle sfide più critiche sarà l'integrazione dei sistemi di gestione e degli OSS per le reti ibride terrestri e satellitari. Attualmente questi sistemi operano in larga misura in modo disaccoppiato, per cui sarà necessario evolvere verso piattaforme unificate in grado di orchestrare servizi *end-to-end* in ambienti multidominio.







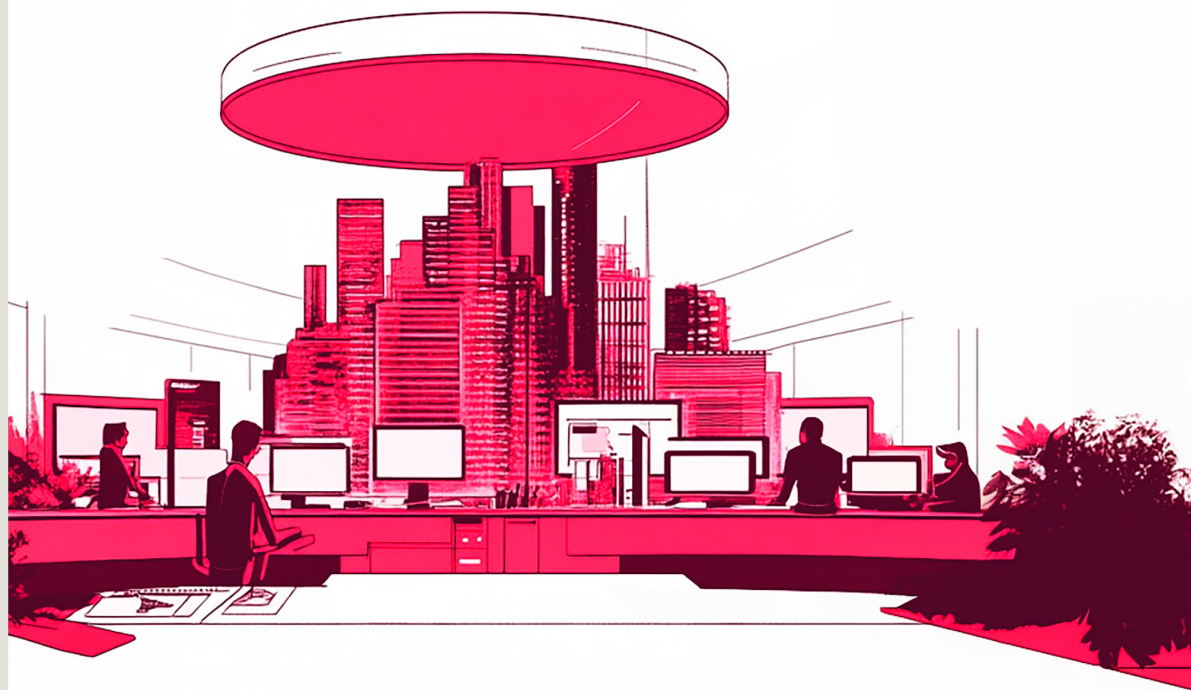
Una volta identificate le sfide associate all'integrazione delle reti ibride 5G terrestri e non terrestri, sarà possibile affrontare i nuovi casi d'uso che ne sfruttano le capacità per estendere la connettività oltre i limiti dell'infrastruttura terrestre, abilitando una copertura universale in aree rurali, marittime e aeree dove il deployment tradizionale non è praticabile.

Queste reti favoriranno lo sviluppo dell'IoT massivo su scala globale, distribuendo sensori in settori come l'agricoltura, i trasporti o il monitoraggio ambientale in località remote, dove tradizionalmente la copertura è limitata o inesistente.

Ciò consentirà di ottimizzare i processi produttivi, migliorare il processo decisionale basato su dati in tempo reale e abilitare nuovi modelli di business fondati sulla digitalizzazione di asset distribuiti. In situazioni di mobilità avanzata, garantiscono una connettività stabile su aerei, treni e imbarcazioni, migliorando sia l'esperienza dell'utente che la sua efficienza e incorporando capacità digitali avanzate, come la gestione intelligente delle flotte o l'erogazione a bordo di servizi a valore aggiunto.

Inoltre, il loro deployment contribuisce in modo decisivo a rafforzare la sovranità tecnologica delle comunicazioni, riducendo la dipendenza da infrastrutture esclusivamente terrestri o da fornitori esterni e consentendo alle organizzazioni di mantenere il controllo sulle reti più strategiche. In tal senso, favoriscono una maggiore autonomia nella gestione, nell'operatività e nell'evoluzione dei servizi connessi, facilitando la definizione di politiche proprie di sicurezza, disponibilità e QoS (*Quality of Service*).

Allo stesso tempo, l'integrazione 5G-NTN apporta una maggiore resilienza operativa, diversificando i livelli di connettività e abilitando architetture ridondanti in grado di garantire la continuità del servizio anche in caso di guasti massivi, cyberattacchi o interruzioni. In questo contesto, tali reti svolgono anche un ruolo chiave come supporto di *backhaul* e nel rafforzamento dell'infrastruttura, mantenendo la continuità in caso di incidenti sulla rete terrestre. Inoltre, in ambiti come i servizi di emergenza e difesa, assicurano comunicazioni robuste anche in situazioni avverse, consentendo al contempo di estendere le capacità di monitoraggio continuo a località prive di copertura. Tutto ciò promuove un modello più solido, autonomo e pronto per scenari ad alta criticità.



Infine, l'evoluzione verso la comunicazione *direct-to-device* (D2D) rende possibile stabilire la connessione diretta di smartphone e dispositivi IoT senza necessità di infrastruttura intermedia, il che rappresenta un cambio di paradigma nei modelli tradizionali di connettività. Questa capacità apre nuove opportunità per casi d'uso distribuiti, ampliando la portata delle reti a qualsiasi punto del pianeta.

Il ruolo dei sistemi di gestione nell'ecosistema 5G-NTN



L'integrazione di capacità satellitari all'interno dell'ecosistema 5G comporta un cambiamento profondo sia nella tecnologia sia nel suo modello di gestione. Dalla prospettiva degli OSS (*Operation Support Systems*), la vera sfida del 5G-NTN non è solo estendere la connettività dallo spazio, ma garantire che tale comunicazione sia operabile, gestibile e automatizzabile secondo gli stessi criteri utilizzati nelle reti terrestri. In tal senso, l'operatività diventa un fattore critico di questa evoluzione tecnologica.

Come illustrato, il 5G-NTN estende le reti mobili esistenti incorporando i satelliti come ulteriore elemento della propria architettura. Ciò implica che, dal punto di vista degli OSS, i servizi debbano essere gestiti end-to-end senza distinguere tra dominio terrestre e non terrestre, il che comporta una complessità significativa, poiché i due presentano caratteristiche operative distinte.

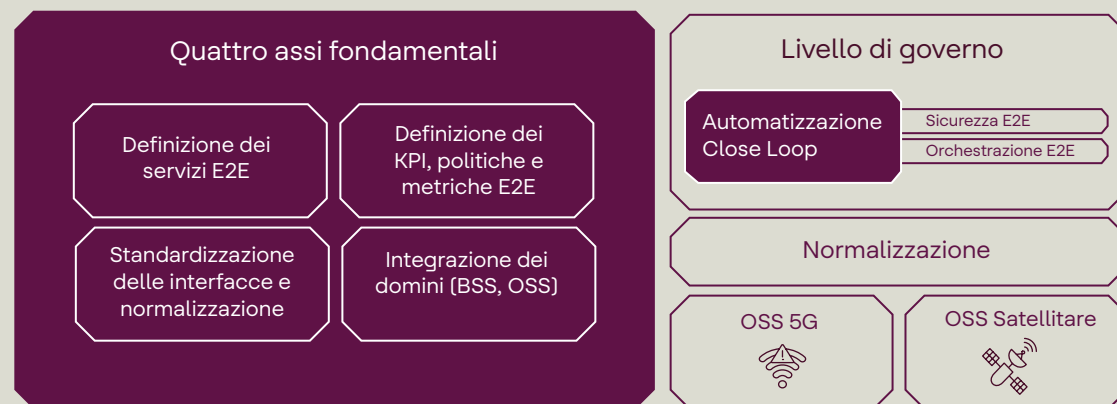
Tradizionalmente, gli OSS del 5G sono orientati ad ambienti mobili terrestri e si concentrano, tra gli altri aspetti, sulla sicurezza del servizio e sull'orchestrazione automatizzata. Gli OSS satellitari, invece, privilegiano la gestione di risorse fisiche critiche e limitate, come spettro, posizione orbitale e stabilità del collegamento.

Questa dualità si riflette nei diversi KPI (*Key Performance Indicators*) gestiti da ciascun ambiente. Mentre nel mondo del 5G si monitorano metriche come latenza, throughput o il rispetto dei livelli di servizio (SLA) definiti, nell'ambito satellitare assumono rilevanza indicatori come la disponibilità orbitale, l'utilizzo delle capacità disponibili o la stabilità del collegamento.

La soluzione consiste nell'introdurre un livello di orchestrazione degli OSS che funga da elemento di coesione tra i domini terrestre e satellitare. Questo piano non sostituisce i sistemi di gestione esistenti, ma astrae la tecnologia, normalizza le informazioni provenienti da sistemi eterogenei e offre una visione unificata end-to-end. La figura seguente rappresenta questo modello: nella parte inferiore sono mostrate le risorse fisiche e logiche (rete mobile 5G, stazioni base, satelliti, collegamenti, gateway, ecc.). Al di sopra si collocano gli OSS specifici di ciascun dominio e, nella parte superiore, il livello comune di orchestrazione, incaricato di coordinare, automatizzare e garantire il servizio in modo trasversale.



La sfida: governare questo sistema ibrido



In questo modello, la definizione dei servizi E2E (*End-to-End*) diventa l'elemento centrale. Ogni servizio ibrido deve specificare in modo chiaro i propri requisiti di latenza, disponibilità, mobilità e copertura, così come la loro mappatura sulle risorse terrestri e satellitari. Secondo questo approccio, gli OSS devono essere in grado di tradurre tali requisiti in politiche operative, configurazioni di rete e meccanismi di sicurezza.

La normalizzazione è un altro pilastro chiave. Per rendere praticabile l'integrazione, è indispensabile stabilire strutture dati comuni e interfacce standardizzate, come quelle promosse dall'organismo TM Forum⁽¹⁰⁾ attraverso le sue *Open API*, la sua *Open Digital Architecture* (ODA) e i suoi framework di riferimento per la modernizzazione di OSS/BSS. Queste iniziative forniscono un linguaggio comune per descrivere processi, informazioni, funzioni e componenti, facilitando l'integrazione dei diversi domini tecnologici in modo disaccoppiato, componibile e orientato al servizio. In tal senso, il livello di normalizzazione agisce da traduttore tra il linguaggio orientato alle risorse del mondo satellitare e quello dell'ecosistema 5G.

¹⁰- TM Forum <https://www.tmforum.org/>

L'orchestrazione multidominio rappresenta il livello di complessità successivo. I sistemi di supporto all'operatività devono poter coordinare decisioni tra i diversi domini, gestendo la fornitura dei servizi, l'allocazione della capacità e le priorità operative. Ciò include, ad esempio, decidere quando utilizzare risorse terrestri o satellitari in funzione della disponibilità, del carico o delle condizioni della rete.

Infine, la sicurezza end-to-end è l'elemento che chiude il ciclo operativo. In un ambiente ibrido, gli incidenti non appartengono a un unico dominio, ma possono sorgere dall'interazione tra di essi. Per questo gli OSS devono essere in grado di correlare gli eventi, individuare la causa radice e misurare l'impatto in termini di servizio. Questo approccio è allineato alla visione del TM Forum sulle reti autonome, dove l'evoluzione verso operazioni closed loop e capacità di automazione progressiva consente di passare da una gestione reattiva a un'operatività più predittiva, intelligente e orientata all'esperienza del cliente. Tale impostazione richiede funzionalità avanzate di analytics e automazione che permettano di raggiungere un maggiore grado di autonomia.

Nel complesso, le soluzioni di gestione delle reti ibride non consistono soltanto nell'adattare i sistemi esistenti, ma nel ridefinire il modello operativo verso una visione realmente integrata e orientata al servizio. La chiave del successo non risiede nella tecnologia satellitare né in quella terrestre prese singolarmente, bensì nella capacità di orchestrarle in modo coerente attraverso un livello di gestione basato su standard aperti, API normalizzate e principi architetturali come quelli definiti dal TM Forum in ODA (Open Digital Architecture). Questo approccio consente di semplificare l'operabilità, ridurre la dipendenza da integrazioni proprietarie e porre le basi per un'evoluzione progressiva verso reti più autonome.





Le reti ibride rappresentano un passo decisivo verso la connettività globale e continua, combinando il meglio dei domini terrestri e satellitare. Oltre ai progressi in termini di infrastruttura e standardizzazione, la sfida maggiore riguarda il modo di operare queste reti in maniera efficiente all'interno di un ambiente complesso, dinamico e multidominio.

In questo scenario, i sistemi di gestione (OSS) assumono un ruolo essenziale. La coesistenza di soluzioni di supporto all'operatività eterogenee rende difficile mantenere approcci isolati, rendendo indispensabile evolvere verso una gestione unificata che faciliti l'orchestrazione dei servizi end-to-end e garantisca un'esperienza omogenea per l'utente.

La chiave per riuscirci risiede nell'introduzione di un livello di orchestrazione che semplifichi la tecnologia, basato su standard aperti, strutture dati e API normalizzate, nonché su capacità avanzate di automazione. Tale impostazione consente di coordinare in modo efficiente le risorse terrestri e satellitari, migliorare la sicurezza del servizio e avanzare verso modelli operativi sempre più autonomi.

In definitiva, il valore dell'ecosistema 5G-NTN non dipenderà unicamente dall'infrastruttura dispiegata, bensì dalla capacità di gestirla in modo integrato, intelligente e orientato al servizio. Così, gli OSS si consolidano come l'elemento abilitante chiave per trasformare la complessità delle reti ibride in un reale vantaggio competitivo.



Tech for impact

Vuoi saperne di più?

Se vuoi scoprire come gestire in modo
end-to-end le reti ibride terrestri
e satellitari, contattaci

dnotelcomedia@minsait.com



Mettiamo
in contatto talento,
tecnologia e business
per generare una crescita
e un impatto positivo
e sostenibile.

Avda. de Bruselas, 35
28108 Alcobendas
Madrid, Spain
T +34 91 480 50 00
info@minsait.com

minsait.com

Copyright © 2026 Minsait. Tutti i diritti riservati. Spagna.