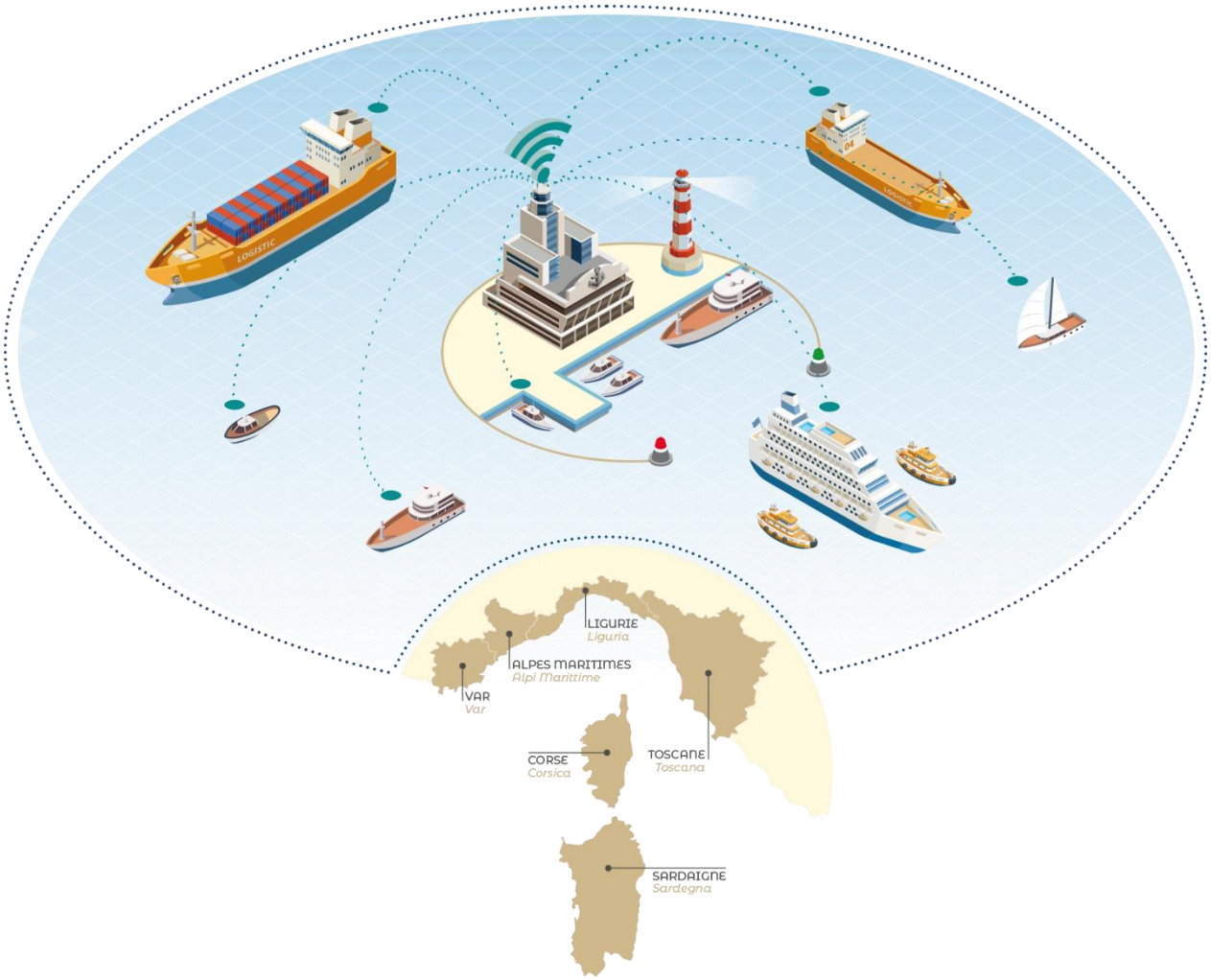
Interreg
MARITTIMO-IT FR-MARITIME
UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA
ISIDE

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Output T1.1 – Modelli di comunicazione mare-terra ottimizzati. Integrazione spese coerenti.



La coopération au cœur de la méditerrannée
La cooperazione al cuore del Mediterraneo

INDICE

1 Introduzione 2

2 Soluzioni alternative ai satelliti 3

2.1 Reti 4G/5G terrestri 3

2.2 Piattaforme HAPS 5

2.3 Integrazione di Satelliti e HAPS con le Reti 5G 6

3 Riferimenti documentali 10

1 INTRODUZIONE

La soluzione più comunemente utilizzata per fornire servizi di comunicazione dati ai natanti (siano essi civili o militari e indipendentemente dalle loro dimensioni) è costituita dalle reti satellitari, la cui copertura globale garantisce la connettività sia in aree costiere che in alto mare.

I servizi satellitari sono offerti, alternativamente, attraverso costellazioni di satelliti in orbita geostazionaria (GEO – GEOstationary satellites), che forniscono copertura in ampie aree geografiche, ma possono presentare problemi di elevata latenza nella trasmissione dati, oppure attraverso satelliti in orbita bassa o media (LEO – Low Earth Orbit satellites; MEO - Medium Earth Orbit satellites), che garantiscono latenze più basse e velocità di trasmissione dati più elevate.

Relativamente alle soluzioni per l'interconnessione in ambiente marino, in aggiunta a quelle basate su satelliti, si vanno proponendo alcune alternative che presentano diversi gradi di maturità tecnologica e disponibilità. Alcune soluzioni prevedono l'estensione delle reti radiomobili terrestri di quinta generazione (reti 5G), con stazioni radio base installate sulla terraferma o in mare, per garantire la connettività di natanti in aree costiere o, comunque, in aree di mare limitate e caratterizzate da traffico intenso. Altre soluzioni prevedono l'utilizzo di piattaforme aeree con lunga autonomia e operanti nella stratosfera. Tali piattaforme, denominate HAPS (un acronimo per High-Altitude Platform Stations, o anche per High-Altitude Pseudo-Satellites), sono costituite da palloni aerostatici e droni che, rispetto ai satelliti, presentano minori costi di messa in servizio, requisiti meno stringenti in termini di potenza del segnale trasmesso e migliori prestazioni in temini di latenza, ma, per contro, una minore estensione della copertura geografica. Infine, ulteriori soluzioni si basano sulla convergenza delle reti 5G, delle reti satellitari e di quelle basate su HAPS, in coerenza con gli standard ETSI/3GPP, che prevedono l'integrazione di reti d'accesso non-terrestri (NTN – Non Terrestrial Networks) nell'infrastruttura 5G.

Nel seguito di questo documento viene presentata la sintesi delle soluzioni tecnologiche alternative alle attuali soluzioni satellitari.

2 SOLUZIONI ALTERNATIVE AI SATELLITI

2.1 RETI 4G/5G TERRESTRI

Le soluzioni per la connessione dati a larga banda *shore-to-ship* basate su reti mobili di quarta e quinta generazione (4G/5G) sono commercialmente disponibili ed hanno come obiettivo principale il mercato diportistico.
Tali soluzioni[1] prevedono l'istallazione a bordo nave di antenne ad elevate prestazioni (tipicamente in configurazione MIMO, Multiple Input – Multiple Output[2]) per permettere la connessione dei sistemi di bordo alle reti 4G/5G terrestri, garantendo capacità di traffico elevate (dichiarate nell'ordine di diversi Gbps), a distanze fino a 20-30 miglia nautiche dalla costa (in dipendenza dalle prestazioni dello specifico prodotto).
I sistemi 4G/5G più sofisticati prevedono diverse funzionalità che, rispetto ai tradizionali sistemi mobili terrestri, ne incrementano le prestazioni, l'affidabilità e la flessibilità di utilizzo. Tra tali funzionalità si annoverano, ad esempio, la possibilità di equipaggiare i sistemi con più SIM[3] di diversi operatori (in modo da garantire una ridondanza della rete e di favorire la mobilità internazionale, anche senza utilizzare soluzioni di *roaming*[4]) e meccanismi ottimizzati per la selezione delle celle radiomobili in base alla stima delle prestazioni della connessione radio.

Un indubbio potenziale vantaggio di queste soluzioni consiste nella possibilità di utilizzare dispositivi di bordo basati su tecnologie derivate da soluzioni ampiamente diffuse in ambito terrestre, il che contribuisce alla riduzione dei costi d'installazione dei dispositivi a bordo nave. Questa riduzione costi è, però, largamente inficiata dalla necessità di dotare i dispositivi a bordo di antenne ad alte prestazioni per garantirne l'operatività in zone non immediatamente adiacenti alla costa.
Inoltre, è necessario considerare che le reti 4G/5G commerciali sono attualmente progettate per garantire la copertura delle aree terrestri e la loro utilizzabilità in zone marine, anche in prossimità della costa, può considerarsi casuale. È quindi estremamente probabile che le teoriche prestazioni dei sistemi 4G/5G di bordo sopra riportate, seppure significative, possano essere effettivamente sfruttate esclusivamente in aree ristrette, nell'immediata vicinanza di porti e centri abitati.

L'estensione delle reti 4G/5G su aree marine significativamente ampie richiede specifici aggiornamenti delle infrastrutture terrestri.
Un esempio di queste possibili evoluzioni è rappresentato dall'infrastruttura sperimentate realizzata dall'operatore China Mobile e dal produttore Huawei [1]. L'infrastruttura sperimentale ha permesso di

[1] A puro titolo esemplificativo, si riportano le caratteristiche di alcuni prodotti commercialmente disponibili, rinvenibili nel portale di *e-commerce* "Virtual Expo Group": https://www.nauticexpo.it/fabbricante-barca/antenna-5g-48510.html
[2] Il termine MIMO si riferisce all'utilizzo di antenne multiple, sia sul trasmettitore che sul ricevitore, che consentono di aumentare la velocità di trasferimento dei dati e di migliorarne la portata e l'affidabilità.
[3] La SIM (*Subscriber Identity Module*) è la *smart card* inserita in un dispositivo mobile che memorizza l'identificatore univoco dell'utente; l'informazione contenuta nella SIM è utilizzata dagli operatori di telefonia mobile per autorizzare la connessione dell'utente alla rete radiomobile e associare il piano di servizi contrattualizzato
[4] Due operatori possono stabilire un accordo di *roaming*, permettendo ai rispettivi utenti di accedere ad entrambe le reti

estendere la rete 4G/5G terrestre fino a 50 Km dalla linea di costa, tramite l'utilizzo di una specifica antenna di grandi dimensioni e l'uso di segnali radio in bande diverse.

Altre soluzioni prevedono l'estensione delle reti 4G/5G con l'installazione di stazioni radio base in mare.
Un esempio commercialmente rilevante di queste soluzioni è rappresentato dalla rete realizzata nel Mare del Nord dalla società Tampnet (Figura 1, [2]), che utilizza piattaforme petrolifere e pale eoliche per istallare stazioni radio-base 4G/5G, connesse all'infrastruttura terrestre via fibra ottica. La rete, che nel complesso copre un'area di circa 260.000 Km^2, è utilizzata per fornire connettività ai natanti ed al personale delle società coinvolte nell'operatività delle piattaforme e dei campi eolici.

Figura 1 – La rete Tampnet nel Mare del Nord

Un'altra soluzione, questa volta di tipo sperimentale, è stata realizzata dall'operatore mobile lettone LMT e dal fornitore di servizi portuali LVR [3]. Questa soluzione prevede di dotare i natanti di stazioni radio base 5G, che permettono la comunicazione nave-nave e nave-terra utilizzando le funzionalità *multi-hop* [4] [5] standardizzate dal 3GPP[5] per le reti di quinta generazione. I benefici portati da questa soluzione consistono sia nell'estensione della copertura delle reti terrestri (con le navi stesse che si forniscono mutuamente un servizio di *relay* per la comunicazione nave-terra) che nell'ottimizzazione dell'istradamento del traffico nelle comunicazioni nave-nave.

Dalla sintetica panoramica sopra esposta, appare evidente come le soluzioni per la interconnessione dati di natanti basate sulla rete terrestre 4G/5G sia realizzabile a fronte di un significativo aggiornamento delle infrastrutture di rete e, comunque, sia limitata ad aree di mare comprese in una fascia entro i 50 Km di

[5] Il Third Generation Partnership Program (3GPP - https://www.3gpp.org/) è l'ente leader nella standardizzazione di soluzioni per le telecomunicazioni mobili

distanza dalla costa. La copertura di aree più ampie richiede l'istallazione di stazioni radio base in mare, basate su istallazioni fisse (piattaforme) o mobili (natanti), a loro volta connesse all'infrastruttura terrestre tramite reti cablate o attraverso ponti radio dedicati. Questa opzione appare conveniente in aree di mare caratterizzate da traffico particolarmente intenso, ad esempio su rotte utilizzate per il cabotaggio.

2.2 PIATTAFORME HAPS

Le piattaforme denominate HAPS (High-Altitude Platform Stations, o anche High-Altitude Pseudo-Satellites) [6] sono costituite da palloni aerostatici, dirigibili (entrambi classificati come LTA – Lighter Than Air platforms) e droni (HTA – Heavier Than Air platforms), che operano ad un'altitudine in genere compresa tra i 18 e i 22 Km. Tali piattaforme si intendono dotate di una elevata autonomia operativa per eseguire compiti pianificati per un periodo di tempo esteso (tipicamente, 2-3 mesi) e sotto la supervisione di operatori basati a terra. Figura 2 mostra le tipiche quote operative di HAPS, satelliti e aeromobili.

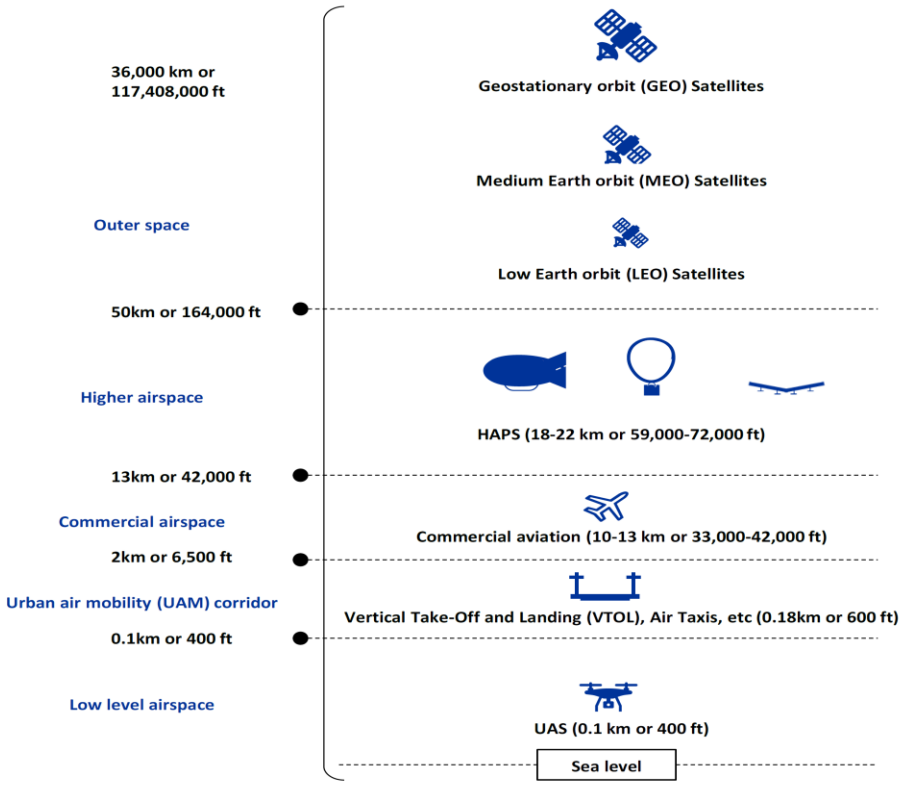


Figura 2 – Quote operative di HAPS, satelliti e aeromobili [6]

Le HAPS sono state oggetto di sviluppi significativi, trovando applicazione, sino ad ora, soprattutto in ambito militare, e forniscono un'alternativa ai satelliti per una serie di applicazioni che riguardano, principalmente, la sorveglianza del territorio, la fornitura di servizi di telecomunicazione e il supporto alla navigazione aerea (Air Traffic Management – ATM / Air Navigation Services - ANS).
Rispetto alle soluzioni basate su satelliti, le HAPS garantiscono diversi benefici, tra i quali [6]

- maggiore economicità e rapidità di immissione in servizio;
- la possibilità di essere riutilizzate per diverse missioni e di poter essere, ad ogni missione, ripristinate, riequipaggiate ed aggiornate:
- una minore latenza e una minore richiesta di potenza del segnale per le trasmissioni dati da/verso terra (dovute alla quota operativa più bassa).

Per contro, l'utilizzo delle HAPS implica anche alcuni svantaggi, quali [6]

- una minore durata operativa della piattaforma, tipicamente limitata a pochi mesi,
- significativi costi operativi, dovuti alla necessita di supervisionare le piattaforme e, periodicamente, di recuperarle e reimmetterle in servizio,
- la necessità per gli operatori di adattarsi a una regolamentazione, relativa al dispiegamento e all'operatività delle piattaforme, che è ancora in via di definizione.

Inoltre, la realizzazione di HAPS implica diverse sfide tecnologiche, relativamente a [6]:

- i sistemi di alimentazione della piattaforma; la soluzione più utilizzata prevede la combinazione di pannelli solari e batterie e la ricerca si sta impegnando nello sviluppo di tecnologie che garantiscano un'elevata autonomia e un peso ridotto di tali componenti; sono in corso studi per ulteriori soluzioni basate su piccoli generatori nucleari, celle a combustibile e alimentazione remota per mezzo di microonde;
- l'adattabilità a condizioni ambientali estreme; per raggiungere la quota operativa, le HAPS attraversano la troposfera, che può essere interessata da venti violenti, il che impone requisiti stringenti alla robustezza strutturale delle piattaforme e rende comunque critica la loro immissione in servizio; inoltre, durante la loro vita operativa, le piattaforme sono soggette a elevati stress termici, dipendenti dall'alternanza tra la presenza e l'assenza di irraggiamento solare, che rendono sfidante la gestione termica dell'elettronica montata a bordo.

Il mercato globale delle HAPS ha ancora dimensioni ridotte, essendo stimato in 180 milioni di dollari nel 2028 [7]; per confronto, si consideri che il mercato globale per le applicazioni satellitari ha raggiunto il valore di 286 miliardi di dollari nel 2022 ed è previsto in crescita fino a 615 miliardi di dollari nel 2032 [8]. Le attività industriali riguardanti infrastrutture HAPS finora implementate hanno riguardato realizzazioni sperimentali e dimostrative [7].

Con riferimento al tema dell'interconnessione di natanti, la ridotta copertura fornita dalle HAPS (dovuta alla quota operativa relativamente ridotta) e la necessità di recuperare periodicamente le piattaforme portano ad escludere l'utilizzo della soluzione in completa sostituzione dei satelliti. Le HAPS potrebbero, in prospettiva, rappresentare una soluzione per la copertura di aree limitate, caratterizzate da traffico particolarmente intenso e non troppo distanti dalla costa, ponendosi in alternativa alle soluzioni descritte nella Sezione 2.1.

2.3 Integrazione di Satelliti e HAPS con le Reti 5G

Mentre si vanno diffondendo i servizi di telecomunicazione basati sullo standard 5G, lo stesso standard si sta evolvendo verso l'integrazione nell'architettura d'accesso delle cosiddette Non Terrestrial Networks (NTN).

Le attività in tal senso sono iniziate nel 2017, con l'apertura da parte del 3GPP di uno specifico Work Item, nell'ambito dello sviluppo della Release 15 dello standard, focalizzato sullo studio degli impatti architetturali e protocollari sulla Radio Access Network (RAN) 5G [11]. Le NTN considerate nel Work Item includevano sia "spaceborne vehicles", ovvero satelliti (LEO, MEO, GEO e HEO – Highly Elliptical Orbiting) , che "airborne vehicles", ovvero HAPS, operanti ad altitudini tra gli 8 e i 50 km e quasi-stazionarie.

Le attività di 3GPP, che si sono, successivamente, focalizzate sul supporto di satelliti NEO e GEO, hanno portato alla definizione, nella Release 16, di soluzioni per l'integrazione di NTN nella 5G RAN [12].

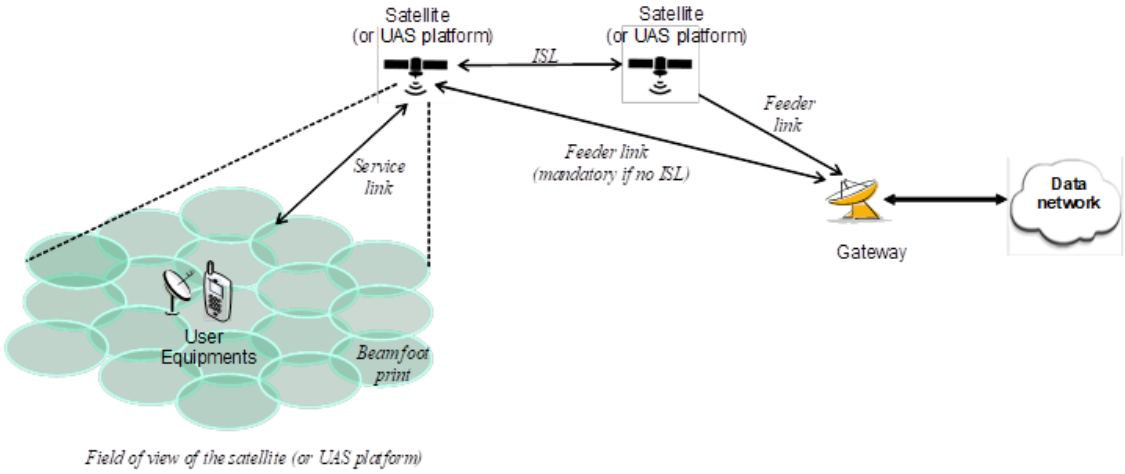


Figura 3 – Scenario di rete, come definito nel documento 3GPP TR 38.821 [12]

Figura 3, tratta dal documento 3GPP TR 38.821 [12[, descrive lo scenario di rete previsto dallo standard, che si compone dei seguenti elementi principali:

- uno o più "gateway satellitari" che connettono la NTN ad una rete dati pubblica; un satellite GEO o LEO, può essere connesso a uno o più gateway; nel caso di satellite GEO si suppone che uno o più gateway siano disponibili nell'area geografica (regionale o anche continentale) coperta dal satellite stesso; nel caso di satellite LEO, si suppone che più gateway siano disponibili nelle diverse aree coperte dal satellite durante la sua orbita e che siano in atto procedure di hand-over tra il satellite ed i gateway;
- satelliti, che possono operare in modalità "trasparente" o "rigenerativa", come descritto nel seguito di questo paragrafo;
- una connessione radio, dette "Feeder Link", tra gateway e satellite;
- una connessione radio, detta "Service Link", tra un dispositivo terminale di un utente di rete (UE - User Equipment) e un satellite;
- opzionalmente, un link inter-satellitare (Inter-satellite links - ISL), che si prevede possa operare in radio-frequenza (RF) o nella banda ottica, che connette due stelliti di una stessa costellazione.

Come indicato nella descrizione dello scenario di rete complessivo, l'implementazione della 5G RAN integrante sistemi satellitari può essere realizzata in due diverse modalità: "trasparente" e "rigenerativa".
Nel caso di implementazione in modalità "trasparente", i satelliti realizzano una semplice conversione di frequenza ed amplificazione dei segnali radio dei Gateway e degli UE, ovvero, operano come ripetitori radio

dei “feeder” e dei “service” link. In questa implementazione, come indicato nello schema architetturale riportato in Figura 4, i satelliti non realizzano nessuna funzione tipica della rete 5G.

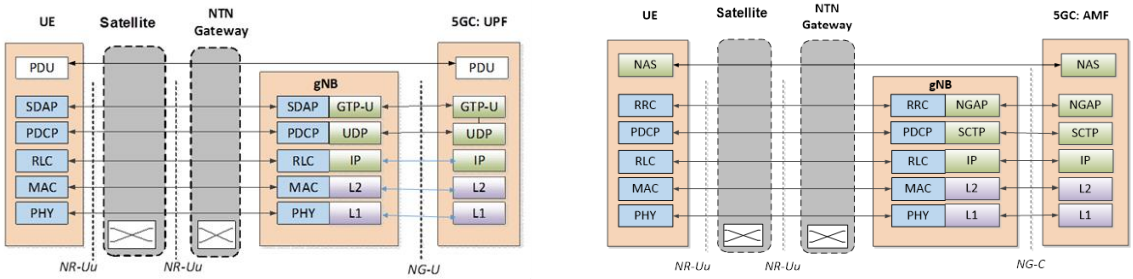


Figura 4 – Architettura della RAN in caso di implementazione “trasparente” - Rappresentazione delle pile protocollari relative al piano dati (a sinistra) ed al piano di controllo (a destra) (3GPP TR 38.821 [12])

Nel caso di implementazione in modalità “rigenerativa”, invece, come descritto in Figura 5, i satelliti realizzano le funzioni delle stazioni radio base della rete 5G (i g-NodeB), supportando i protocolli di incapsulamento (tunneling) del traffico utente e di segnalazione.

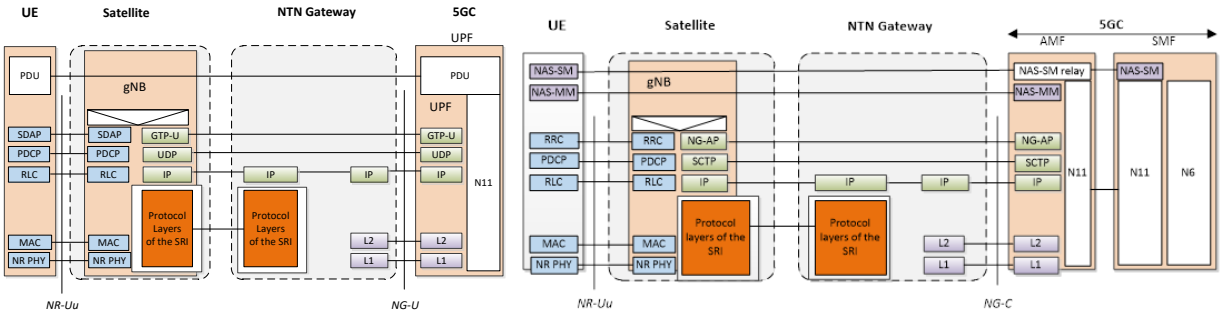


Figura 5 – Architettura della RAN in caso di implementazione “rigenerativa” - Rappresentazione delle pile protocollari relative al piano dati (a sinistra) ed al piano di controllo (a destra) (3GPP TR 38.821 [12])

L’architettura definita dallo standard TR 38.821 permette ad un dispositivo terminale (UE) di mantenere attive le proprie connessioni quando è in transito attraverso aree coperte alternativamente dalle reti mobili terrestri o da reti satellitari con queste integrate, eventualmente anche sfruttando le funzionalità di *roaming* tipiche delle reti mobili. Inoltre, lo stesso standard descrive anche diversi scenari per la multi-connettività dei terminali 5G (così come questa è definita nella raccomandazione 3GPP TS 37.340 [13]) e che consiste nella possibilità per i terminali di connettersi contemporaneamente a due nodi della RAN (un *Master Node* e un *Secondary Node*, che possono essere sia terrestri che satellitari, tra loro connessi da interfacce che ne permettono l’interoperabilità) e sfruttarne i servizi per incrementare le prestazioni. Figura 6 descrive due scenari di applicazione della multi-connettività, mutuati dalla specifica 3GPP TR 38.821.

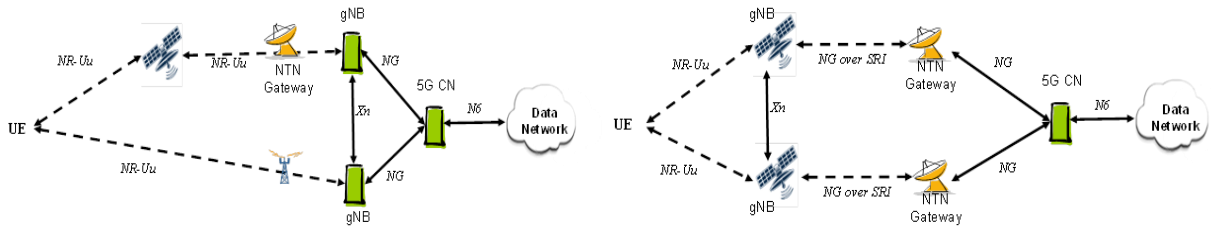


Figura 6 – Due esempi di multi connettività, che coinvolgono un nodo terrestre ed uno satellitare, funzionante in modalità "trasparente" (a sinistra) e due nodi satellitari operanti in modalità "rigenerativa" (a destra) (3GPP TR 38.821 [12])

Le attività di 3GPP hanno finora portato alla definizione di alcune delle modifiche necessarie per adattare i protocolli standard delle reti mobili alle particolari esigenze dei sistemi satellitari, che sono caratterizzati da elevati ritardi di propagazione e dagli effetti della mobilità del satellite (in particolare, nei casi di satelliti LEO e MEO) sui *service link* (*frequency shift* dovuto allo effetto *doppler*) e sulla copertura (la posizione e l'area delle celle che definiscono la copertura dei satelliti sono variabili nel tempo). Ulteriori sviluppi sono previsti nell'ambito della Release 18 delle specifiche 3GPP, il cui rilascio è pianificato nel primo quarto del 2024.

Le soluzioni industriali finora disponibili riguardano la realizzazione di servizi basici offerti ai clienti *retail* delle reti 5G (ad esempio, Apple utilizza i servizi del *provider* satellitare Globalstar per le comunicazioni inerenti il servizio *"Find My"* implementato per gli Iphone 14 e relativo al tracciamento della posizione del dispositivo [10]) e lo sviluppo di *chipset* per *smartphone* allineati alla Release 17 delle specifiche 3GPP (come il Mediatek MT6825 [10]).

Dallo scenario sopra illustrato risulta un'effettiva attività di sviluppo degli standard per le reti mobili di quinta generazione verso l'integrazione di sistemi satellitari. Gli standard attualmente disponibili forniscono una definizione delle principali soluzioni architetturali e protocollari per ottenere tale integrazione, che porterebbe indubbi benefici sia a fornitori di servizi mobili satellitari e terrestri che agli utenti. Infatti, gli operatori satellitari e mobili potrebbero estendere l'offerta verso i propri clienti, sfruttando l'integrazione tra le reti e utilizzando soluzioni tecniche largamente comuni, ottenendo, quindi, in prospettiva, impatti positivi sui costi per la realizzazione e l'operatività delle infrastrutture. Gli utenti potrebbero godere di servizi di maggiore qualità, grazie alla maggiore copertura geografica fornita dalla soluzione integrata.
In particolare, con riferimento allo specifico tema affrontato da questo documento, l'integrazione tra reti satellitari e 5G permetterebbe di fornire ai natanti un servizio di connettività senza soluzione di continuità, sia in alto mare, che in prossimità della costa, che nei periodi di sosta in porto, basato su una singola soluzione tecnica in grado di utilizzare in modo ottimizzato le risorse di rete. In questo scenario, infatti, i dispositivi di bordo sarebbero in grado di utilizzare, durante la navigazione in alto mare, le connessioni satellitari, mentre, durante la navigazione in aree di cabotaggio e le soste, sarebbero in grado di connettersi alle reti di accesso fornite dalle stazioni radio base terrestri, oppure basate su impianti "a mare" o HAPS.

3 RIFERIMENTI DOCUMENTALI

[1] China Mobile e Huawei, "5G Promises to Transform Marine Industries", GSMA Transformation Hub – Case Study; Disponibile on-line: https://www.gsma.com/5ghub/5gsea

[2] Tampnet, "Tampnet Expands 4G/5G LTE in Southern North Sea", Press Release; Disponibile on-line: https://www.tampnet.com/press/tampnet-expands-4g5glte-southern-north-sea

[3] Telecom Tech News, "Groundbreaking trial aims to bring 5G to the Baltic Sea"; Disponibile on-line: https://www.telecomstechnews.com/news/2023/nov/09/groundbreaking-trial-aims-bring-5g-baltic-sea/

[4] 3GPP, TS 38.401 V17.6.0, "NG-RAN; Architecture description (Release 17)", 2023-09

[5] 3GPP, TS 38.340 V17.5.0, "Backhaul Adaptation Protocol (BAP) specification", 2023-06ù

[6] FRONTEX – EU Innovation Hub for Internal Security, "Market Report - Research Study on High-Altitude Pseudo-Satellites", 2023-05; Disponibile on.line: https://www.frontex.europa.eu/innovation/eu-research/news-and-events/research-study-on-high-altitude-pseudo-satellites-first-take-aways-MsHsdO

[7] Markets and Markets, "Market – Report - High Altitude Pseudo-Satellites Market", disponibile on-line: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/high-altitude-pseudo-satellite-haps-market-162217471.html

[8] PR Newswire, Market Research; disponibile on-line: https://www.prnewswire.com/news-releases/satellite-market-is-expected-to-globally-reach-615-7-billion-by-2032-at-8-1-cagr-allied-market-research-301986809.html#:~:text=According%20to%20the%20report%2C%20the,8.1%25%20from%202023%20to%202032.

[9] 5G Americas, White paper "5G & Non-Terrestrial Networks ", 2023-02; Disponibile on.line: https://www.5gamericas.org/5g-and-non-terrestrial-networks/

[10] 5G Americas, White paper "Update on 5G Non-Terrestrial Networks ", 2023-07; Disponibile on.line: https://www.5gamericas.org/update-on-5g-non-terrestrial-networks/

[11] 3GPP TSG RAN WG1, RP-171450, "Study on NR to support Non-Terrestrial Networks", West Palm Beach, USA, 5th – 9th June 2017

[12] 3GPP TR 38.821, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)", V16.2.0, Marzo 2023

[13] 3GPP TR 37.340, "Multi-connectivity; Stage 2", V18.0.0, Dicembre 2023