



PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION



EGNOS

NAVIGATION MADE IN EUROPE

EUROPEAN RADIO NAVIGATION PLAN 2023



La presente pubblicazione è un documento di lavoro dei servizi della Commissione europea, redatto dalla DG DEFIS in collaborazione con il Centro comune di ricerca (JRC), il servizio scientifico e di acquisizione di conoscenze della Commissione europea.

Le opinioni espresse nel presente documento sono unicamente quelle dei servizi della Commissione e non possono essere in alcuna circostanza considerate come espressione della posizione ufficiale della Commissione europea. Le informazioni contenute nel presente documento sono destinate all'esame degli Stati membri e/o dei soggetti che si occupano di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT, *Position, Navigation and Timing*).

La Commissione europea, o chiunque agisca in suo nome, declina ogni responsabilità per l'uso dei contenuti della presente pubblicazione. Le informazioni sulla metodologia e sulla qualità dei dati utilizzati nella presente pubblicazione e non forniti da Eurostat né da altri servizi della Commissione sono reperibili presso la fonte di riferimento. Le denominazioni impiegate e la presentazione del materiale sulle mappe non riflettono in alcun modo il punto di vista dell'Unione europea sullo status giuridico di paesi, territori, città o regioni, e relative autorità, né sulla delimitazione delle rispettive frontiere o dei rispettivi confini.



La politica in materia di riutilizzo dei documenti della Commissione europea è attuata sulla base della decisione 2011/833/UE della Commissione, del 12 dicembre 2011, relativa al riutilizzo dei documenti della Commissione (GU L 330 del 14.12.2011, pag. 39). Salvo diversa indicazione, il riutilizzo del presente documento è autorizzato in base alla licenza Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Ciò significa che il riutilizzo è autorizzato a condizione che venga riconosciuta una menzione di paternità adeguata e che vengano indicati gli eventuali cambiamenti. Per utilizzare o riprodurre foto o altro materiale che non è di proprietà dell'UE, è necessaria l'autorizzazione diretta dei rispettivi titolari dei diritti.

Tutti i contenuti sono © Unione europea, 2023, salvo indicazione contraria nel documento.

Libro stampato ISBN: 978-92-68-11352-3 doi: 10.2889/6642

Numero catalogo: HV-09-23-074-IT-C

Libro elettronico (PDF) ISBN: 978-92-68-11351-6 doi: 10.2889/20164

Numero catalogo: HV-09-23-074-IT-N

Come citare la presente relazione: Commissione Europea, "Piano europeo di radionavigazione 2023", 2023, ISBN 978-92-68-11352-3, doi: 10.2889/6642.

Indice

Indice	3
1 INTRODUZIONE.....	6
1.1 Contesto del piano europeo di radionavigazione	7
1.2 Finalità del piano europeo di radionavigazione	8
1.3 Ambito di applicazione del piano europeo di radionavigazione	8
1.4 Obiettivi del piano europeo di radionavigazione	9
1.5 Struttura del piano europeo di radionavigazione	9
1.6 Osservazioni in merito al piano europeo di radionavigazione	9
2 PANORAMA DEI SERVIZI PNT.....	10
2.1 Introduzione al concetto di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT)	11
2.2 Ruolo dei sistemi PNT nella società	12
2.3 Vantaggi economici dei sistemi PNT/GNSS.....	13
2.4 Esigenze degli utenti di PNT	14
2.5 Sfide in materia di PNT/GNSS.....	16
2.6 Tendenze e opportunità.....	18
2.7 Sistemi e servizi PNT.....	20
2.7.1 Panoramica dei sistemi PNT	20
2.7.2 Sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS) e potenziamenti.....	23
2.7.3 Sistemi PNT convenzionali	25
2.7.4 Sistemi PNT emergenti/di prossima generazione.....	27
2.8 Interoperabilità e compatibilità	29
2.9 Politiche internazionali in materia di PNT	30
3 PNT dell'UE	31
3.1 Programma spaziale dell'UE 2021-2027	32
3.2 Servizi Galileo	33
3.2.1 Servizio aperto (OS) Galileo	34
3.2.2 Servizio ad alta precisione (HAS)	37
3.2.3 Servizio commerciale di autenticazione (CAS)/Servizio di autenticazione del segnale (SAS).....	38
3.2.4 Servizio pubblico regolamentato (PRS).....	39
3.2.5 Servizio di emergenza (ES)	40
3.2.6 Servizio di sincronizzazione (TS)	41
3.2.7 Contributo al servizio di ricerca e salvataggio (SAR).....	42
3.2.8 Contributo ai servizi di sicurezza della vita	43
3.2.9 Contributo alle informazioni di meteorologia spaziale.....	44

3.2.10	Tabella di marcia per i servizi di Galileo.....	45
3.3	Servizi del EGNOS.....	46
3.3.1	Servizio aperto (OS) EGNOS.....	47
3.3.2	Servizio di sicurezza della vita (SoL) EGNOS	48
3.3.3	Servizio di accesso dati EGNOS (EDAS)	51
3.4	Politiche e azioni raccomandate dell'UE in materia di PNT	52
3.4.1	Resilienza delle infrastrutture critiche europee	53
3.4.2	Green Deal europeo.....	54
3.4.3	Aviazione con equipaggio	55
3.4.4	Aviazione senza equipaggio.....	57
3.4.5	Navigazione marittima e per vie navigabili interne	59
3.4.6	Trasporto su strada.....	63
3.4.7	Trasporto ferroviario	65
3.4.8	Agricoltura	66
3.4.9	Servizi basati sulla localizzazione	68
3.4.10	Ricerca e salvataggio.....	69
3.4.11	Mappatura e rilevamento topografico	70
3.4.12	Misurazione del tempo e sincronizzazione precise (finanza, reti elettriche, comunicazione).....	71
3.4.13	Utenti spaziali	73
3.4.14	Sicurezza e difesa.....	74
3.4.15	Esigenze degli utenti di viaggi multimodali.....	75
3.4.16	Trasporto merci e logistica	75
3.5	Cooperazione dell'UE in materia di navigazione satellitare.....	76
4	Visione per i PNT dell'UE	78
5	APPENDICE A. Sistemi PNT	81
5.1	Sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS)	81
5.1.1	Sistemi di navigazione satellitare – Copertura globale.....	84
5.1.2	Sistemi di navigazione satellitare – Copertura regionale	100
5.1.3	Sistemi di potenziamento	105
5.2	Sistemi PNT convenzionali	110
5.2.1	Radiofari non direzionali (NDB)	110
5.2.2	Radiofaro omnidirezionale in altissima frequenza (VOR).....	112
5.2.3	Apparecchio di misurazione della distanza (DME)	113
5.2.4	Sistema di atterraggio strumentale (ILS)	114
5.2.5	TACAN	116

5.2.6	Loran	117
5.2.7	Sistemi di distribuzione di ora e frequenza a onde lunghe.....	120
5.2.8	Orologi atomici	121
5.3	Tecnologie emergenti	123
5.3.1	White Rabbit (WR)	124
5.3.2	Distribuzione dell'ora tramite reti informatiche.....	125
5.3.3	Pseudoliti	126
5.3.4	5G e reti cellulari basate su PNT	127
5.3.5	Ranging mode (R-Mode).....	130
5.3.6	Navigazione a vista	132
5.3.7	Navigazione basata su dispositivi mobili	134
5.3.8	Navigazione stimata IMU.....	136
5.3.9	Navigazione magnetica.....	137
5.3.10	Orbita terrestre bassa (LEO)	138
5.3.11	Tecnologie quantistiche.....	140
5.3.12	PNT pulsar.....	145
5.4	Sintesi dei punti di forza, dei punti di debolezza, delle opportunità e delle minacce	147
6	APPENDICE B. Servizi PNT resilienti.....	149
7	APPENDICE C. Normative e norme	150
8	APPENDICE D. Principali portatori di interessi dei sistemi PNT dell'UE.....	155
9	APPENDICE E. Quadri di riferimento dell'UE	159
10	APPENDICE F. ACRONIMI.....	161

1 INTRODUZIONE

I servizi dipendenti **dal posizionamento, dalla navigazione e dalla sincronizzazione (PNT¹)** sono da tempo un **motore per la crescita economica**. Svolgono inoltre un ruolo fondamentale nella società e in molteplici settori e sostengono le infrastrutture critiche. Se da un lato la dipendenza dai servizi PNT è in aumento nelle applicazioni civili e commerciali, dall'altro tali servizi svolgono un ruolo sempre più importante nelle operazioni in materia di difesa, sicurezza e salvaguardia della vita umana.

Attualmente i servizi PNT si basano principalmente su sistemi di radionavigazione e in particolare sui servizi forniti dai **sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS)**. L'uso di GNSS si è diffuso in numerosi settori, basandosi sull'evoluzione delle costellazioni esistenti e sulla comparsa di costellazioni nuove. Attualmente circa il **10 % del prodotto interno lordo (PIL) dell'Unione europea (UE)** si basa sull'uso di **servizi GNSS** e le tendenze indicano che tale dato continuerà a crescere. Nel complesso, l'industria dispone in numerosi settori di un potenziale notevole per sfruttare meglio i servizi GNSS e per trarre vantaggio dalle prestazioni superiori offerte dai GNSS.

Da numerosi anni i **sistemi terrestri PNT** svolgono un ruolo fondamentale in associazione ai GNSS o indipendentemente da essi. Tuttavia l'adozione e l'evoluzione di soluzioni GNSS offrono la possibilità di smantellare o **razionalizzare alcuni sistemi PNT basati su tecnologie terrestri**. Ciò consentirebbe risparmi sui costi per l'installazione, l'esercizio e la manutenzione delle infrastrutture terrestri. Libererebbe inoltre lo spettro radio elettromagnetico associato.

I segnali GNSS sono tuttavia vulnerabili alle interferenze naturali e artificiali, nonché ad attacchi intenzionali quali attività di disturbo (jamming) e basate sulla falsificazione dell'identità (spoofing). Di conseguenza, per le applicazioni critiche o la protezione di infrastrutture critiche, è ampiamente riconosciuto che i GNSS, anche in un contesto multicostellazione e multifrequenza, non dovrebbero costituire l'unica fonte di informazioni PNT. Per tali applicazioni dovrebbe essere sviluppata e mantenuta una soluzione **PNT alternativa** (di riserva ma anche complementare), non necessariamente basata su tecnologie a radiofrequenza.

Nell'Unione europea, la Commissione europea gestisce i **sistemi globali di navigazione satellitare europei (EGNSS)** Galileo ed EGNOS. **Galileo** è il GNSS autonomo dell'UE soggetto a controllo civile, che offre servizi PNT allo stato dell'arte ad utenti in tutto il mondo. Il **sistema europeo di copertura per la navigazione geostazionaria (EGNOS)** è il sistema di potenziamento dell'UE che migliora (in termini di precisione e integrità) i segnali di navigazione esistenti generati dal sistema di posizionamento globale (GPS) e da Galileo in futuro. EGNOS consente l'uso di segnali GNSS nelle applicazioni per la sicurezza della vita, in particolare nel settore dell'aviazione.

L'uso dei servizi GNSS è molteplice. Per citarne alcuni, attualmente i servizi GNSS sono utilizzati per migliorare i flussi di traffico e l'efficienza dei veicoli, contribuire a tracciare pacchi e spedizioni fornendo soluzioni logistiche a valore aggiunto, agevolare le operazioni di protezione civile in ambienti difficili, accelerare le operazioni di salvataggio e fornire strumenti essenziali alla guardia costiera e alle autorità di controllo di frontiera. I GNSS costituiscono altresì uno strumento formidabile per la marcatura temporale richiesta nelle transazioni finanziarie, la ricerca scientifica in settori quali la meteorologia, la scienza atmosferica, la geofisica e la geodesia e per le principali attività economiche critiche.

Sebbene il ricorso ai GNSS stia registrando un aumento, i servizi offerti dai **GNSS non sono ancora pienamente sfruttati** in tutti i settori di mercato. Inoltre l'uso di veicoli a guida autonoma, senza equipaggio e comandati a distanza sta registrando una crescita esponenziale. Considerando il ruolo che i servizi GNSS possono svolgere in tutti questi settori di mercato, è evidente la necessità che l'UE sfrutti appieno i vantaggi che Galileo ed EGNOS possono offrire e ne agevoli l'adozione graduale in ogni singolo settore.

¹ Gli acronimi sono definiti nell'[APPENDICE F. ACRONIMI](#), compresi quelli presenti in figure e tabelle.

1.1 Contesto del piano europeo di radionavigazione

Il contesto al momento della stesura della presente versione del piano europeo di radionavigazione (anche "ERNP" o "il piano") per l'anno 2023 svolge un ruolo significativo in relazione alle ambizioni, all'ambito di applicazione e agli obiettivi di questa versione del piano. I principali elementi contestuali di questa edizione del piano sono i seguenti:

1. la [strategia spaziale per l'Europa](#), pubblicata nel 2016, chiedeva alla Commissione europea di pubblicare "un piano europeo di radionavigazione allo scopo di facilitare l'introduzione di applicazioni del sistema globale di navigazione satellitare nelle politiche settoriali". Su tale base, nel 2018 è stata pubblicata una [prima versione del piano](#).

L'obiettivo principale del presente documento, che costituisce la seconda versione del piano, continua ad essere quello di facilitare l'introduzione di applicazioni di Galileo ed EGNOS in diversi settori di mercato;

2. nel 2021 la **Corte dei conti europea** ha pubblicato una [relazione speciale](#) sui programmi spaziali dell'UE Galileo e Copernicus e sulla necessità di promuovere ulteriormente l'aggiornamento dei loro dati e servizi.

La raccomandazione 4, lettera c, relativa a un utilizzo migliore del quadro normativo per sostenere la diffusione dei servizi spaziali dell'UE invita la Commissione europea a "definire una tempistica per ciascun segmento di mercato per tali servizi, in cui la regolamentazione o la standardizzazione possono facilitare l'uso di Galileo e monitorarne da vicino il rispetto delle scadenze". Di conseguenza l'obiettivo della presente versione del piano è dare seguito a tale raccomandazione;

3. i [servizi PNT, basati principalmente su GNSS, rivestono un'importanza crescente](#) per l'economia e la società. Tale maggiore importanza non riguarda soltanto i servizi di [posizionamento e navigazione](#), ma anche quelli di [sincronizzazione](#) (fondamentali per la finanza, le reti elettriche, le comunicazioni, ecc.). Tale tendenza continuerà a crescere nei prossimi anni.

I servizi e i dati spaziali sono un **fattore abilitante importante per la trasformazione digitale** dell'economia e della società e consentono innovazioni digitali quali i veicoli a guida autonoma, le soluzioni intelligenti e le reti di telecomunicazione senza fili 5G/6G;

4. **si registra un aumento del numero di perturbazioni dei servizi GNSS** a causa della potenza relativamente bassa dei segnali GNSS. Semplici dispositivi a basso costo possono causare interferenze deliberate alle frequenze utilizzate dai GNSS con l'intento di perturbare la ricezione di segnali GNSS (ad esempio azione di "jamming") e i jammer aventi una potenza molto più elevata possono avere ripercussioni su un'area decisamente più ampia. I servizi GNSS possono anche essere soggetti a "spoofing" il quale comporta lo scambio di informazioni false che determinano errori nella soluzione PNT. Infine i servizi GNSS possono risentire di un grave deterioramento delle prestazioni a causa di eventi di meteorologia spaziale o di guasti dei sistemi.

Al tempo stesso, si registra una **maggiore consapevolezza dell'interferenza dei GNSS e vengono proposte misure per migliorare la resilienza dei segnali GNSS** (ad esempio, la [cooperazione tra l'Unione europea e gli Stati Uniti in materia di navigazione satellitare che si concentra sulla resilienza dei servizi](#)).

La presente versione del piano europeo di radionavigazione discuterà tanto il modo in cui i servizi GNSS stanno diventando più resilienti (ad esempio, i nuovi servizi Galileo, compresa l'autenticazione) quanto il modo in cui altre tecnologie potrebbero fornire servizi PNT anche in caso di perturbazioni dei GNSS;

5. **i servizi PNT sono fondamentali per le applicazioni emergenti e alcune tecnologie emergenti forniranno anche servizi PNT.**

Esempi di applicazioni emergenti sono costituiti dall'uso di **GNSS nel posizionamento di multcostellazioni a orbita terrestre bassa (LEO)** (necessario per controllare la costellazione) o di oggetti

spaziali (necessari per un sistema di gestione del traffico spaziale) o l'uso di **GNSS per precisioni di sincronizzazione** a livello **inferiore al microsecondo** a livello mondiale per le tecnologie 5G e 6G. Esempi di tecnologie emergenti sono invece le **costellazioni LEO volte a fornire servizi PNT** e le capacità future delle **reti 5G e 6G finalizzate alla fornitura di servizi PNT precisi**.

La presente versione del piano europeo di radionavigazione discuterà della tecnologia emergente connessa ai servizi PNT;

6. **autonomia strategica PNT**: l'autonomia strategica è [un obiettivo strategico dell'Unione europea nel contesto della Commissione von der Leyen](#). L'UE sta adottando misure volte a rafforzare l'autonomia strategica europea in vari settori, quali [l'autonomia strategica dell'UE nei settori economico e finanziario](#) o la [bussola strategica per la sicurezza e la difesa](#) ("bussola strategica"). La bussola strategica esorta a adottare, entro la fine del 2023, una **strategia spaziale dell'UE per la sicurezza e la difesa**;
7. da ultimo, ma non meno importante, il [regolamento \(UE\) 2021/696 che istituisce il programma spaziale dell'Unione](#), che definisce i servizi dei sistemi europei di navigazione satellitare e le **priorità della Commissione europea per il periodo 2019-2024**, nel contesto delle quali i servizi PNT e i GNSS, in particolare, contribuiscono in modo rilevante (si pensi ad esempio al Green Deal europeo e all'Europa pronta per l'era digitale).

1.2 Finalità del piano europeo di radionavigazione

Alla luce delle informazioni contestuali di cui sopra, la presente edizione del piano europeo di radionavigazione mira a:

1. **fornire informazioni pertinenti sui sistemi e sui servizi PNT**, nonché sull'utilizzo, sulle prestazioni tipiche, sui punti di forza e sui punti deboli, sugli sviluppi, sulle tendenze, sulle sfide, sulle opportunità, ecc. relativi agli stessi.

L'intenzione della presente versione del piano europeo di radionavigazione è fornire informazioni sintetiche e riepilogative in merito ai sistemi e ai servizi PNT e fare ulteriore riferimento a fonti pubbliche qualora il lettore desideri ottenere informazioni più dettagliate;

2. **facilitare la diffusione dei servizi GNSS europei (Galileo ed EGNOS)**:
 - fornendo [informazioni dettagliate sui servizi attuali e futuri EGNSS \(GNSS europei\)](#) e sul loro valore aggiunto rispetto ad altri servizi PNT/GNSS;
 - raccomandando, per ciascun settore, azioni da attuare a livello di UE per l'adozione dell'EGNSS nei vari settori di mercato (ad esempio, legislazione, norme);
3. accrescendo la consapevolezza e raccomandando azioni da intraprendere per **umentare la resilienza dei servizi PNT nell'UE**.

1.3 Ambito di applicazione del piano europeo di radionavigazione

Gli aspetti che seguono rientrano nell'ambito di applicazione dell'edizione attuale del piano:

1. i sistemi e i servizi **PNT terrestri e spaziali** più rilevanti, compresi quelli non basati su radiofrequenze;
2. **l'uso attuale e futuro previsto** dei sistemi e dei servizi PNT;
3. i **sistemi e servizi PNT emergenti** (LEO, 5G, fusione di dati di sensori, ecc.) nella misura in cui devono svolgere un ruolo di primo piano in materia di PNT.

Non rientra nell'ambito di applicazione della versione attuale del piano europeo di radionavigazione descrivere i sistemi e le tecnologie che non sono utilizzati principalmente per il posizionamento, la navigazione o la sincronizzazione, quali, tra l'altro, i sistemi di sorveglianza (ad esempio radar, telecamere).

1.4 Obiettivi del piano europeo di radionavigazione

Considerando il contesto, le finalità e l'ambito di applicazione presentati nelle sezioni precedenti, l'attuale versione del piano persegue gli obiettivi seguenti:

1. **introdurre i servizi PNT** ed evidenziarne l'importante **ruolo nella società**, i **benefici economici** che tali attività creano e il **potenziale impatto delle perturbazioni dei servizi PNT**, se e quando si concretizzano, in particolare in relazione alle infrastrutture critiche;
2. fornire una panoramica delle **esigenze degli utenti di PNT** nei vari settori di mercato;
3. spiegare le **sfide dei PNT/GNSS** e le **tendenze ed opportunità** per i servizi PNT/GNSS;
4. fornire una panoramica dei **principali sistemi** e servizi **PNT**, compresi i sistemi convenzionali, GNSS ed emergenti, unitamente all'uso attuale e futuro e alle prestazioni tipiche, agli sviluppi, ai punti di forza e di debolezza degli stessi. Fornire informazioni in merito a **interoperabilità e compatibilità** dei sistemi e dei servizi PNT;
5. fornire una panoramica delle **politiche internazionali** pertinenti in materia di PNT;
6. fornire **informazioni dettagliate sui servizi GNSS europei** (Galileo ed EGNOS) che ne evidenzino il valore aggiunto rispetto ad altri servizi GNSS e includano i futuri servizi previsti;
7. illustrare le **politiche dell'Unione europea** in materia di PNT, comprese le attività in corso per facilitare l'introduzione dei sistemi GNSS europei nelle politiche dell'UE;
8. raccomandare, per ciascun settore di mercato e se del caso:
 - **azioni volte a facilitare l'introduzione dell'EGNSS**, compresi regolamenti e norme;
 - **azioni volte ad aumentare la resilienza dei servizi PNT**;
9. fornire una **visione a medio termine** delle auspicabili modalità di evoluzione dei servizi PNT nell'Unione europea.

1.5 Struttura del piano europeo di radionavigazione

La versione attuale del piano è strutturata come segue:

- la parte 1 riguarda l'introduzione e comprende il contesto, la finalità, l'ambito di applicazione, gli obiettivi e la struttura del documento;
- la parte 2 esamina il panorama dei servizi PNT relativi agli obiettivi da 1 a 5 e comprende un'introduzione ai servizi PNT, al loro ruolo nella società, ai benefici economici che apportano, alle esigenze degli utenti PNT per segmento di mercato, alle sfide, alle tendenze e alle opportunità di tali servizi, nonché una panoramica dei principali sistemi e servizi PNT, della loro interoperabilità e compatibilità e delle principali politiche internazionali in materia di PNT;
- la parte 3 è dedicata ai servizi PNT dell'UE relativi agli obiettivi da 6 a 8 e comprende il programma spaziale dell'UE, i principali servizi forniti dai sistemi GNSS europei, Galileo ed EGNOS, e le attuali politiche dell'UE in materia di PNT per segmento di mercato, unitamente alle azioni aggiuntive che faciliterebbero la diffusione dei servizi Galileo ed EGNOS e/o aumenterebbero la resilienza dei servizi PNT. Comprende anche le attività di cooperazione dell'UE in materia di GNSS;
- la parte 4 illustra la visione a medio termine dei servizi PNT dell'UE relativa all'obiettivo 9;
- Le varie appendici forniscono informazioni dettagliate sui vari aspetti descritti nel documento.

1.6 Osservazioni in merito al piano europeo di radionavigazione

Osservazioni in merito al piano sono benaccette e saranno prese in considerazione per il prossimo aggiornamento del documento: <mailto:DEFIS-GNSS-ERNP@ec.europa.eu>.

2 PANORAMA DEI SERVIZI PNT

La presente parte esamina il panorama dei servizi PNT e tratta gli obiettivi da 1 a 5 introdotti nella sezione [1.4](#). Consente al lettore di ottenere informazioni sintetiche pertinenti sui sistemi e sui servizi PNT, sulle esigenze degli utenti, sulle sfide, sulle tendenze e sulle opportunità relative a tali sistemi e servizi, nonché sulle politiche internazionali in materia di PNT. Getta le basi per la parte seguente nella quale saranno trattati i servizi e i sistemi PNT dell'UE.

La presente parte:

- introduce il concetto di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT) (sezione 2.1);
- descrive il ruolo svolto dai sistemi PNT/GNSS nella società (sezione [2.2](#));
- valuta i benefici economici offerti dai sistemi PNT/GNSS (sezione [2.3](#));
- riepiloga le esigenze degli utenti per segmento di mercato (sezione [2.4](#));
- descrive le sfide per i sistemi PNT/GNSS (sezione [2.5](#));
- descrive le tendenze e le opportunità in materia di PNT/GNSS (sezione [2.6](#));
- riepiloga i principali sistemi e servizi PNT (sezione [2.7](#));
- descrive l'importanza dell'interoperabilità e della compatibilità (sezione [2.8](#));
- riepiloga le principali politiche internazionali in materia di PNT (sezione [2.9](#)).

La presente parte intende fornire una panoramica dei temi summenzionati, fornendo nel contempo riferimenti di pubblico accesso per l'ottenimento di ulteriori informazioni dettagliate.

2.1 Introduzione al concetto di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT)

L'acronimo **PNT**, tratto dall'inglese *Position, Navigation and Timing* (in italiano: posizionamento, navigazione e sincronizzazione) descrive una combinazione di tre capacità distinte ma che si integrano tra loro:

- il posizionamento è la capacità di determinare la posizione e l'orientamento in due o tre dimensioni. Tale posizione si riferisce a un sistema di coordinate locali o, più comunemente, globali come il quadro di riferimento terrestre Galileo (GTRF, *Galileo Terrestrial Reference Frame*), il quadro di riferimento terrestre europeo (ETRF, *European Terrestrial Reference Frame*) o il quadro di riferimento terrestre internazionale (ITRF, *International Terrestrial Reference Frame*);
- la navigazione è la capacità di determinare un percorso tra la posizione corrente e la posizione desiderata (relativa o assoluta), nonché di navigare lungo tale percorso applicando correzioni della rotta, dell'orientamento e della velocità;
- la sincronizzazione è la capacità di acquisire e mantenere l'ora a livello locale o globale (ad esempio tempo universale coordinato o UTC). Figura in tale contesto anche il servizio di trasferimento del segnale orario.

La caratteristica principale dei servizi e sistemi PNT moderni è la capacità di **determinare e mantenere in modo preciso tanto il posizionamento quanto la sincronizzazione nel quadro di riferimento globale** (GTRF, ETRF, ITRF, ecc. per il posizionamento e UTC per la sincronizzazione), in qualsiasi parte del mondo, osservando che i diversi sistemi PNT avranno coperture geografiche diverse, che spaziano da quella globale a quella regionale e locale.

Nel corso del presente documento saranno utilizzati i seguenti concetti chiave:

- **indicatori di prestazione degli utenti** solitamente utilizzati per valutare le prestazioni dei servizi PNT:
 - disponibilità: la percentuale di tempo durante il quale la soluzione di posizionamento, navigazione o sincronizzazione può essere sfruttata all'utente. I valori variano notevolmente a seconda dell'applicazione e dei servizi specifici utilizzati, ma solitamente variano dal 95 % al 99,9 %;
 - precisione: la differenza tra la soluzione utente effettiva e quella calcolata (per il posizionamento o la sincronizzazione);
 - integrità: il grado della fiducia che si può riporre nella correttezza della stima della posizione o dell'ora fornita dal ricevitore;
 - continuità: la capacità di fornire le prestazioni richieste durante un'operazione senza interruzioni una volta avviata detta operazione.
- **Altri indicatori di prestazione pertinenti** per i ricevitori PNT sono:
 - tempo per la prima determinazione della posizione (TTFF): una misura delle prestazioni di un ricevitore che riguarda il tempo che intercorre tra l'attivazione e la determinazione di una posizione entro i vincoli di precisione richiesti;
 - resistenza allo spoofing e al jamming: un parametro qualitativo piuttosto che quantitativo che dipende dal tipo di attacco o di interferenza che il ricevitore è in grado di attenuare;
 - autenticazione: la capacità del sistema di garantire agli utenti di utilizzare segnali e/o dati provenienti da una fonte affidabile, proteggendo in tal modo le applicazioni sensibili contro minacce di spoofing.

2.2 Ruolo dei sistemi PNT nella società

Dovendo affrontare sfide globali quali la rivoluzione digitale, i cambiamenti climatici e le pandemie globali, l'economia e la società dipendono ora più che mai da soluzioni innovative in grado di gestire i megadati (*big data*), mitigare le catastrofi e le malattie naturali e provocate dall'uomo, nonché rafforzare una catena di approvvigionamento globale che è alla base delle nostre attività quotidiane. **I sistemi PNT e GNSS svolgono un ruolo fondamentale nel contribuire a tali soluzioni innovative** attraverso migliaia di applicazioni emergenti o già utilizzate da cittadini, governi, organizzazioni internazionali, organizzazioni non governative (ONG), industria, mondo accademico e ricercatori in tutto il mondo (Agenzia dell'Unione europea per il programma spaziale – [Relazione dell'EUSPA sul mercato dei servizi GNSS e dell'osservazione della Terra 2022](#), solo in EN). La base complessiva installata di dispositivi GNSS crescerà, passando da 6,5 miliardi di unità nel 2021 a 10,6 miliardi di unità nel 2031. La maggior parte della base installata è dominata dal segmento delle soluzioni di consumo.

Oltre a queste forze trainate dal mercato, la sostenibilità ambientale svolge un ruolo importante. Il **Green Deal europeo** mira a realizzare una società resiliente ai cambiamenti climatici in un'epoca in cui alcune economie europee dipendono ancora fortemente dal carbone e dai combustibili fossili. Tale iniziativa è considerata uno degli sforzi legislativi più significativi nella storia dell'Unione europea, che interessa tutti gli aspetti della società e dell'economia e tutti i settori politici. Probabilmente l'obiettivo più noto del Green Deal europeo consiste nell'azzerare le emissioni nette di biossido di carbonio entro il 2050 e già del 55 % entro il 2030 (rispetto ai livelli del 1990). Inoltre, sebbene l'Europa abbia già ridotto di un quarto le sue emissioni rispetto agli anni Novanta, ciò non è ancora sufficiente per conseguire gli obiettivi dichiarati per il 2030 e il 2050. **I dati e i servizi spaziali dell'UE contribuiscono al Green Deal europeo** attraverso il posizionamento, la navigazione e la sincronizzazione utilizzati ad esempio nell'agricoltura intelligente, nonché per ridurre le emissioni del trasporto stradale, marittimo e aereo grazie a un'ottimizzazione di percorsi e rotte. Inoltre l'UE fornisce finanziamenti e sostegno agli imprenditori che utilizzano i dati di Copernicus e Galileo, il che si traduce principalmente nel finanziamento di applicazioni "verdi", stimolando nel contempo i mercati pertinenti.

Un altro importante fattore trainante della nostra società è la **trasformazione digitale**, che l'Europa ha previsto di conseguire entro il 2030. **Le informazioni territoriali si profilano come un integratore**, che apre la strada a un'infrastruttura digitale comune, aperta e innovativa, piuttosto che costituire un semplice fattore abilitante della localizzazione di punti per le applicazioni. L'analisi dei *big data* basata sull'intelligenza artificiale (IA) promette di rivoluzionare l'uso dei dati satellitari per compiti che comprendono la quantificazione dell'urbanizzazione globale, il nutrimento della popolazione mondiale e il miglioramento della gestione dei rischi naturali o delle pandemie.

Un maggior numero di satelliti e di frequenze apporterà numerosi vantaggi. La doppia frequenza è già richiesta per gli algoritmi basati sulla fase della portante (cinematica in tempo reale (RTK), il posizionamento a punto preciso (PPP) e PPP-RTK) e la frequenza tripla possono migliorare ulteriormente le prestazioni degli algoritmi di risoluzione dell'ambiguità di fase in termini di separazione massima da una stazione di riferimento (per RTK e RTK di rete), affidabilità della soluzione e tempo necessario per ottenere e convalidare tale soluzione.

Tuttavia **gli attacchi informatici, compresa l'interferenza di radiofrequenza (RFI) dei segnali GNSS**, sono uno degli aspetti più rilevanti da prendere in considerazione. Il numero di incidenti segnalati legati al jamming di GNSS sta crescendo e la maggior parte di tali incidenti è causata dai cosiddetti "dispositivi di protezione della vita privati" (illegali nella maggior parte dei paesi). Anche gli incidenti di spoofing di GNSS sono in aumento, sebbene con minore frequenza. I servizi GNSS dovrebbero essere in grado di rispondere a tali minacce includendo **capacità di autenticazione** e di monitoraggio come elemento costitutivo necessario della sicurezza complessiva dell'applicazione, fatte salve altre tecniche.

Infine è fondamentale considerare i servizi PNT attraverso il sistema di **"fusione di dati di sensori"** dei sistemi, il paradigma per la guida autonoma e altre applicazioni esigenti, aumentando l'integrità, la

disponibilità e la precisione del servizio. In effetti, secondo le previsioni, l'evoluzione futura dovrebbe avvenire a livello di efficacia delle tecniche di fusione di dati di sensori. L'obiettivo non è quello di disporre di una tecnologia come mezzo "primario" di PNT, ma piuttosto di avere una combinazione di tutte le pertinenti tecnologie PNT esistenti.

2.3 Vantaggi economici dei sistemi PNT/GNSS

I sistemi PNT e GNSS sono diventati un'utilità onnipresente per milioni di persone in tutta Europa. Numerosi aspetti della nostra vita quotidiana sono facilitati dai segnali GNSS invisibili provenienti dallo spazio: dalla verifica dello stato del nostro pendolarismo mattutino fino alla visione dei nostri spettacoli televisivi preferiti prima di andare a dormire.

Dall'analisi dell'EUSPA sui benefici socioeconomici forniti dai GNSS² emergono **benefici economici complessivi generati dai GNSS pari a 2 000 miliardi di EUR** nel territorio europeo (definito come UE-27 più Regno Unito (UK), Norvegia e Svizzera) nel periodo di analisi (1999-2027). Inoltre si stima che nel medesimo periodo oltre 100 000 posti di lavoro altamente qualificati e altamente retribuiti siano attribuibili ai GNSS in tutta Europa nei settori a valle e a monte.

Le relazioni che si concentrano sul [Regno Unito](#) e sugli [Stati Uniti](#) (USA) stimano tanto i benefici economici generati dai GNSS nell'economia pertinente quanto le perdite economiche attese a seguito di un'interruzione temporanea dei servizi offerti dai GNSS. Per le stime delle perdite, lo scenario controfattuale pertinente in ciascuna applicazione è la tecnologia disponibile per un dispiegamento immediato in caso di indisponibilità (invece di qualsiasi tecnologia teoricamente realizzabile, come nel caso dei benefici), il che significa che le stime delle perdite e dei benefici variano notevolmente. I risultati degli studi relativi a Regno Unito, Stati Uniti ed UE sono sintetizzati nella tabella seguente.

Tabella 1 – Sintesi dei benefici e delle perdite economici comunicati

Area di interesse dello studio	Benefici economici (annui)	Perdita economica	Perdita economica (per giorno)
UK	6,7 miliardi di GBP	5,2 miliardi di GBP (5 giorni)	1,0 miliardi di GBP
USA	300 miliardi di USD	30,3 miliardi di USD (30 giorni)	1,0 miliardi di USD
Europa	69,0 miliardi di EUR	Non disponibile	Non disponibile

Le discrepanze tra i valori comunicati suggeriscono che sarebbe necessaria un'**analisi attenta** degli Stati europei **prima di estendere o generalizzare i risultati al contesto europeo**. Tra le importanti differenze che dovrebbero essere prese in considerazione figurano le differenze geografiche quali la densità di popolazione, le differenze culturali riflesse negli atteggiamenti della popolazione e nei quadri giuridici, le differenze metodologiche degli studi, quali la portata dell'analisi (ad esempio i settori economici considerati o le costellazioni satellitari incluse nell'analisi) e la scelta degli scenari controfattuali, le differenze infrastrutturali con implicazioni per la resilienza o la tecnologia disponibile e le differenze nel periodo di tempo che incidono sugli impatti totali stimati e sui valori "giornalieri" medi.

È importante rilevare che la [relazione RAND](#) sostiene che il **costo dell'indisponibilità di GNSS potrebbe essere sovrastimato**, probabilmente per ordine di grandezza, dato che per numerosi settori la creazione di copie di sicurezza (backup) è già operativa.

² Al fine di valutare i benefici economici generati dai GNSS in Europa, nello studio in questione la qualità dei servizi resi possibili dai GNSS è stata confrontata con un caso controfattuale nel contesto del quale era stata invece sviluppata la successiva migliore soluzione tecnologicamente fattibile. In numerosi casi tali soluzioni ipotetiche non sono state in effetti sviluppate nella scala richiesta, in gran parte in ragione del basso costo, delle prestazioni elevate e dell'ampia disponibilità di GNSS.

In sintesi, e nonostante le differenze e i pareri di cui sopra, possiamo affermare che **ogni anno** i GNSS contribuiscono con **centinaia di miliardi di euro** alla **ricchezza mondiale**, mentre un'interruzione dei GNSS di pochi giorni potrebbe comportare una **perdita economica** pari a diversi **miliardi di euro al giorno** a livello mondiale.








2.4 Esigenze degli utenti di PNT

Le esigenze degli utenti in termini di servizi PNT sono ampiamente descritte nelle [relazioni dell'EUSPA sulle esigenze e sulle necessità degli utenti](#). Tali relazioni comprendono una panoramica del mercato, le tendenze, un'analisi delle necessità degli utilizzatori nonché le specifiche per vari segmenti di mercato.

Inoltre, la [Relazione dell'EUSPA sul mercato dei servizi GNSS e dell'osservazione della Terra 2022](#) fornisce una descrizione dettagliata dell'uso dei servizi PNT/GNSS in vari settori di mercato, oltre ad una panoramica delle principali applicazioni.

Altri documenti non UE forniscono informazioni analoghe, ad esempio nel caso della [relazione statunitense Economic Benefits of the Global Positioning System \(GPS\)](#) e del [documento statunitense Federal Radionavigation Plan](#).

La [Figura 1](#) offre una panoramica del ruolo e delle tendenze dei GNSS in vari segmenti di mercato.

	Agriculture – New technologies are pushing the Agriculture sector to new frontiers. GNSS is considered a key driver and enabler for these evolutions, ranging from traditional farming applications to Internet-of-Things, blockchain, Agri-fin tech and value chain management. GNSS-enabled livestock wearables are emerging as an exciting trend which is improving animal welfare.
	Aviation and Drones – Global air traffic took a huge hit due to COVID-19 – airlines responded with consolidation of fleets, and older aircraft prioritised for retirement. Meanwhile, standards evolution in navigation and surveillance presses ahead, enhanced by growing demand from increasingly sophisticated drone operations.
	Biodiversity, Ecosystems and Natural Capital – In the domain of biodiversity, ecosystems and natural capital, GNSS-beacons are used to geo-locate animals for the purposes of monitoring migrations, habitats, and behaviours. These are becoming more accurate and additional biodiversity applications are emerging (e.g. botanical mapping).
	Climate Services – GNSS has limited but important application in the climate services domain. The technology supports a range of geodetic applications that measure properties of the earth (magnetic field, atmosphere) with direct impact on the Earth's climate. GNSS is expected to have an increasing role in the growing market of climate modelling.
	Consumer Solutions, Tourism and Health – GNSS finds increasing use in facilitating our daily lives. From context-aware apps monitoring peak visit times to contactless deliveries and personal fitness apps (powered by wearable devices), navigation and positioning information plays a vital role.
	Emergency Management and Humanitarian Aid – Estimated to save 2,000 lives a year, the new MEOSAR system of the GNSS-based COSPAS-SARSAT programme relies on the proper use of GNSS-enabled Search and Rescue beacons. On the field, GNSS is a valuable tool to coordinate emergency response and humanitarian aid.
	Energy and Raw Materials – Monitoring and management of electricity utility grids heavily rely on GNSS timing and synchronisation, allowing the balance supply and demand and ensuring safe operations. In the domain of raw materials, the increased uptake of augmented GNSS supports site selection, planning and monitoring, as well as mining surveillance activities and mining machinery guidance.

	Fisheries and Aquaculture – GNSS plays a vital role for the efficient and effective monitoring of fisheries activities through applications such as VMS and AIS. As the focus on the sustainability of these activities grows, agriculture lands diminish and food demand rises, GNSS applications are themselves seeing higher demand.
	Forestry – GNSS is becoming an extremely valuable tool in monitoring and maintaining the sustainability of our forests. Besides precision forestry management, a key emerging trend is the use of GNSS-enabled UAVs and tracking devices help ensure the health of our trees and the efficiency of our timber supply chains.
	Infrastructure – GNSS contributes to the proper functioning of Infrastructures operations. It allows a safe and on-time completion of construction work through the provision of high accuracy services and supports the synchronisation of telecommunication networks. With the transition towards 5G, the GNSS Timing & Synchronisation function is expected to play an increasingly critical role in telecommunication network operations.
	Insurance and Finance – The financial world relies on GNSS timing and synchronisation for the accurate timestamping of financial transactions. Insurers, on the other hand, are turning towards GNSS-enabled UAVs for a more accurate and faster claim assessment.
	Maritime and Inland Waterways – GNSS has shown its versatility providing data insights to monitor global shipping and port activities during the pandemic. Looking to the future, with automation and 5G expected to bring technological advancements in ports, GNSS will continue expanding its role beyond merely providing navigation information.
	Rail – GNSS is becoming one of the cornerstones for non-safety related applications (e.g. asset management), whilst future adoption of GNSS for safety-related applications, including Enhanced Command & Control Systems, is expected to increase railway network capacity, decrease operational costs and foster new train operations. Thanks to GNSS taking part in digitalisation, Rail is becoming safer, more efficient and more attractive.
	Road and Automotive – Despite the global slowdown of car production and sales, regulation for safer and autonomous vehicles is on track, with GNSS doubtless playing a key role. With In Vehicle Systems remaining the dominant source of Positioning, Navigation and Timing, it is moreover clear that public transport is increasingly adopting GNSS to improve its services.
	Space – From using real-time GNSS data for absolute and relative spacecraft navigation, to deriving Earth Observation measurements from it, GNSS has also proven its worth for in-space applications. Driven by the NewSpace paradigm, the diversification and proliferation of space users leads to an increasing need for spaceborne GNSS-based solutions.
	Urban Development and Cultural Heritage – In this field, GNSS-based solutions are used, in conjunction with EO, to accurately survey and map urban areas and to build advanced 3D models of the built environment. With more than 56% of the population already living in urban areas and this number expected to increase, digital solutions powered by GNSS will be needed more than ever support sustainable growth.

Figura 1 – Ruolo e tendenze chiave dei GNSS nei vari mercati (Crediti: [Relazione dell'EUSPA sul mercato dei servizi GNSS e dell'osservazione della Terra 2022](#))

2.5 Sfide in materia di PNT/GNSS

I **segnali GNSS**, ricevuti con un livello di potenza molto basso, sono **vulnerabili** all'interferenza di radiofrequenza (RFI) e a fenomeni naturali (ad esempio scintillazione ionosferica) che possono causare perturbazioni dei servizi GNSS. Tali fenomeni possono essere **deliberati** (attacchi di **jamming e spoofing**), ma anche **involontari** (radiazioni spurie di altri dispositivi radio, propagazione multipercorso GNSS).

Sebbene le vulnerabilità del GNSS siano ora comunemente riconosciute, la **fiducia** dei sistemi o delle applicazioni basati su PNT va oltre i GNSS e deve comprendere l'**applicazione end-to-end**, che è sicura o protetta soltanto nella misura del suo componente più debole. Un GNSS non costituisce necessariamente l'elemento più facile da attaccare da parte di soggetti malintenzionati: potrebbe essere più facile o meno costoso bloccare l'emissione di segnali da un ricevitore al fine di segnalare posizioni false piuttosto che sottoporre a spoofing i segnali GNSS in entrata. Tale blocco dell'emissione di segnali da un ricevitore costituisce ad esempio la giustificazione del fatto che il sistema di identificazione automatica (AIS) marittimo segnala posizioni a migliaia di km di distanza dalla posizione effettiva di una nave, un esito questo attualmente fuori dalla portata di qualsiasi spoofer.

Nel luglio del 2022 l'Unione internazionale delle telecomunicazioni ha pubblicato la [circolare CR/488](#) per la prevenzione di interferenze dannose per i ricevitori dei servizi di radionavigazione satellitare. La [risoluzione A41-8C dell'assemblea dell'Organizzazione dell'aviazione civile internazionale \(ICAO\)](#) (non disponibile in IT) incoraggia gli Stati ad adottare misure volte a garantire la resilienza dei sistemi e dei servizi di comunicazione/navigazione/sorveglianza e gestione del traffico aereo (CNS/ATM), invita l'ICAO a ottenere servizi di posizionamento e sincronizzazione più resilienti e incoraggia gli organismi di normazione e l'industria a sviluppare capacità adeguate di rilevamento, attenuazione e segnalazione di interferenze per i componenti dei sistemi CNS basati su attrezzature a bordo di aeromobili, su satelliti e a terra.

La [direttiva 2014/53/UE sulle apparecchiature radio](#) stabilisce i requisiti essenziali che i dispositivi basati su PNT devono soddisfare per essere immessi sul mercato dell'UE. Tale direttiva è l'atto giuridico dell'UE che obbliga i fabbricanti di apparecchiature radio, compresi i trasmettitori e i ricevitori GNSS, a utilizzare in modo efficiente lo spettro radio. In altre parole, i prodotti conformi a tale direttiva evitano la produzione di interferenze dannose, che costituiscono gli elementi che possono incidere sui servizi di radionavigazione. L'uso di norme armonizzate a sostegno della direttiva sulle apparecchiature radio, elaborate dalle [organizzazioni europee di normazione](#), conferisce presunzione di conformità in relazione ai requisiti di legge.

Oltre alle misure stabilite nelle norme armonizzate che riflettono lo stato dell'arte della tecnologia, esistono oggi diverse misure che possono essere utilizzate per [fornire protezione contro attività di jamming e spoofing ai danni di GNSS](#):

- **garantire un ambiente di radiofrequenze pulito** e l'uso delle bande di frequenza assegnate dall'Unione internazionale delle telecomunicazioni rappresenta il primo livello in assoluto di protezione per gli utenti di GNSS;
- **autenticare i segnali GNSS**: l'autenticazione GNSS è ottenuta incorporando caratteristiche specifiche che non possono essere previste o falsificate da soggetti malintenzionati nei segnali di trasmissione. Un ricevitore abilitato all'autenticazione è in grado di interpretare tali caratteristiche per distinguere i segnali autentici dalle imitazioni. Ciò può avvenire a due livelli complementari: a livello di dati, per autenticare i messaggi di navigazione di trasmissione, e a livello di distanza, per autenticare la distanza misurata rispetto ai satelliti;
- **utilizzare più fonti di informazioni di posizionamento** per effettuare controlli incrociati tra la soluzione e misurazioni indipendenti. Ciò può avvenire utilizzando costellazioni multiple ed eventualmente frequenze multiple e/o integrando la soluzione GNSS con altre tecnologie (ad esempio, gli smartphone contengono solitamente numerosi sensori che possono essere utilizzati per fornire informazioni ridondanti sul posizionamento o sul movimento);

- **utilizzare una configurazione migliore delle antenne:** le antenne adattive (CRPA, *Controlled Reception Pattern Antenna*) possono costituire uno strumento molto efficiente contro attività di jamming oppure configurazioni più semplici (due antenne) possono fornire informazioni sulla direzione di arrivo, che sono molto utili per rilevare i segnali di spoofing in entrata;
- **attuare tecniche dedicate in materia di ricevitori:** ad esempio quelle basate sul monitoraggio del rapporto tra potenza del segnale o della portante e densità del rumore (C/N_0), sulla discriminazione dell'ora di arrivo (TOA), sui controlli della distribuzione delle uscite dei correlatori e sui controlli di coerenza tra misurazioni diverse, quali i dati delle effemeridi, la variazione dell'offset dell'orologio e gli effetti Doppler relativi al codice o alla portante;
- **attuare tecniche di monitoraggio della qualità dei segnali (SQM, *Signal Quality Monitoring*):** originariamente progettate per il rilevamento multipercorso e il monitoraggio della deformazione di forma d'onda, tali tecniche possono essere utilizzate per individuare la deformazione della funzione di correlazione dei tipici attacchi di spoofing. La sfida in termini di rilevamento e respingimento di attacchi di spoofing consiste nel distinguere tra segnali effettivi e segnali indesiderati. Il rilevamento multipercorso ha il medesimo obiettivo e si propongono pertanto tecniche analoghe.

Nuovi approcci innovativi al processo di correlazione, quali il "super-correlatore", rivendicano la capacità di distinguere tra i segnali all'interno della portata visiva e quelli fuori della portata visiva durante il processo di correlazione, fornendo un'attenuazione multipercorso, soluzioni antispoofing e la determinazione dell'angolo del segnale di arrivo. Per quanto potenti, tali metodi sono attualmente applicati soltanto nel contesto di ricevitori sofisticati di qualità elevata, ma **non ampiamente disponibili in altri chipset GNSS**.

Associate alla bassa potenza dei segnali GNSS, le soluzioni GNSS sono per lo più non disponibili in determinati contesti, quali i luoghi chiusi, i sotterranei o i canyon urbani. In tali contesti, al fine di realizzare sistemi PNT senza soluzione di continuità, si ricorre a una combinazione di tecnologie (ad esempio **l'ibridazione del GNSS o la fusione di dati di sensori**).

La penetrazione in ambienti chiusi, unitamente all'elevata disponibilità, al basso consumo energetico e al tempo per la prima determinazione della posizione (TTFF), costituiscono i requisiti fondamentali per il mercato a volume elevato (ad esempio soluzioni per i consumatori, Internet delle cose (IoT), soluzioni automobilistiche, droni, robotica).

Ulteriori informazioni sono disponibili nella [relazione dell'EUSPA sul mercato 2022](#) e nella [relazione dell'EUSPA sulle tecnologie](#) (entrambi non disponibili in IT).

2.6 Tendenze e opportunità

In relazione ai servizi PNT e GNSS si rilevano le seguenti tendenze:

1. Multicostellazione, la multifrequenza è la nuova norma

I quattro sistemi globali (GPS – Stati Uniti, Galileo – UE, GLONASS – Russia e BeiDou – Cina), i sistemi regionali (QZSS – Giappone e IRNSS – India) e i vari sistemi di potenziamento basati su satelliti (SBAS) (USA, UE, ecc.) rappresentano **oltre 100 satelliti** che, grazie al coordinamento internazionale, dispongono di segnali aperti, di piani di frequenza compatibili, di sistemi di accesso multiplo comune (con GLONASS che aggiunge l'accesso multiplo a divisione di codice (CDMA) al tradizionale sistema FDMA) e di modulazione (ad esempio Galileo E1 e GPS L1C). Ciò facilita la progettazione di chipset e ricevitori GNSS multicostellazione, a vantaggio degli utenti finali.

Inoltre tutte le costellazioni globali e regionali trasmettono **segnali aperti in bande di frequenza multiple comuni** e gli SBAS le emuleranno con piani volti ad ammodernare i servizi a più frequenze e più costellazioni nei prossimi anni.

Oltre ai segnali aperti interoperabili di base, ogni costellazione globale/regionale fornisce servizi specifici attraverso segnali e frequenze dedicati. È il caso dei servizi governativi quali il servizio pubblico regolamentato (PRS) di Galileo o il servizio di posizionamento di precisione (PPS) GPS, nonché dei servizi a valore aggiunto (ad esempio il servizio ad alta precisione (HAS) di Galileo, l'L6 di QZSS o il servizio di messaggistica breve di BeiDou).

I ricevitori a doppia frequenza offrono vantaggi significativi rispetto ai ricevitori a singola frequenza in termini di precisione ottenibile, ma anche in termini di migliore resistenza alle interferenze (in ragione della diversità di frequenza). Storicamente, da numerosi anni l'uso della doppia frequenza è limitato agli utenti professionali o governativi e ai costosi ricevitori L1 + L2. L'avvento di quattro costellazioni GNSS complete che forniscono segnali aperti di alta qualità nella banda di frequenza E5 è stato un fattore di svolta e ha innescato un'ampia disponibilità di chipset a doppia frequenza E1 + E5 per il mercato di massa.

2. I ricevitori, i metodi di trattamento e le antenne sono in continua evoluzione al fine di migliorare le prestazioni

L'evoluzione della progettazione dei ricevitori è resa possibile dagli **sviluppi tecnologici** nell'**industria dei semiconduttori**, tra cui l'**aumento della potenza di elaborazione** per sostenere un maggior numero di canali GNSS, nonché dallo sviluppo di **sensori a basso costo** che consentono un'integrazione più stretta con tecnologie diverse e portano il posizionamento in ubicazioni prive di GNSS. Allo stesso tempo, le pressioni del mercato esercitano una spinta verso una precisione maggiore, prestazioni migliori in tutti gli ambienti, una riduzione del tempo per la prima determinazione della posizione (TTFF) e la resistenza contro jamming o spoofing.

Solitamente gli errori GNSS sono ridotti mediante due metodi di modellizzazione: il metodo della rappresentazione a spazio di osservazione (OSR) fornisce un'unica correzione composta della definizione della distanza osservata in una stazione di riferimento nelle vicinanze (reale o virtuale), mentre nel metodo della rappresentazione a spazio degli stati (SSR) le varie fonti di errore sono stimate separatamente da una rete di stazioni di riferimento a funzionamento continuo (CORS) prima di essere inviate al ricevitore. Alcuni parametri (ad esempio i ritardi ambientali per il PPP) sono stimati all'interno del ricevitore piuttosto che dalle reti CORS. Il metodo PPP-RTK combina elementi di entrambi i metodi e fornisce una precisione scalabile a tutti i segmenti di utenti, dal mercato di massa fino alla precisione elevata. L'**emergere di applicazioni di mercato di massa a precisione elevata** dimostra un notevole potenziale di utilizzo diffuso di PPP-RTK.

I dispositivi IoT geolocalizzati richiedono la disponibilità di riferimenti fissi di posizione per un consumo energetico molto basso. Per questo motivo, negli ultimi anni si è assistito a una spinta volta a **ridurre** in maniera significativa **il consumo di energia dei GNSS**, che ha portato a rapidi progressi nella tecnologia dei ricevitori (con un consumo inferiore a 10 mW in modalità di tracciamento continuo a

1 Hz) e all'uso di diverse tecniche innovative. Rientrano in tale contesto soluzioni mature quali il GNSS assistito (A-GNSS, *assisted GNSS*) o le previsioni delle effemeridi a lungo termine, nonché nuovi approcci ibridi che sfruttano la connettività intrinseca all'IoT.

Le antenne costituiscono un aspetto essenziale di qualsiasi progettazione di ricevitori. I migliori chipset e l'elaborazione più sofisticata dei segnali non possono compensare le scarse prestazioni di un'antenna. Sebbene l'importanza di questo aspetto sia stata riconosciuta da tempo nei segmenti a precisione elevata, altri segmenti, compreso il mercato di massa, si stanno occupando pienamente di questo tema soltanto ora. In effetti, la diffusa disponibilità di ricevitori a doppia frequenza sta aprendo nuove possibilità, ma le antenne costituiscono un fattore limitante per le prestazioni complessive.

3. La tecnologia 5G/6G consente una connettività universale e può contribuire al posizionamento

La **tecnologia mobile** si è storicamente evoluta da una piattaforma interpersonale (3G) a una connettività tra le persone e le informazioni (4G). Il **5G** costituisce il primo sistema mobile progettato per collegare tutto. Il 5G dovrebbe liberare un ecosistema dell'Internet delle cose massivo (Miot) e applicazioni critiche di comunicazione, in cui le reti possono soddisfare le esigenze di comunicazione di miliardi di dispositivi connessi, con il giusto compromesso tra velocità, latenza e costi. Il **6G**, attualmente in fase di sviluppo, dovrebbe sostenere applicazioni al di là degli scenari attuali di utilizzo mobile, quali la realtà virtuale e aumentata (VR/AR), le comunicazioni istantanee ubiquitarie, l'intelligenza pervasiva e l'evoluzione dell'Internet delle cose (IoT).

Contrariamente alle precedenti generazioni di reti radio, nel contesto delle quali il posizionamento era soltanto una funzione aggiuntiva, **per le reti radio mobili 5G il posizionamento è considerato parte integrante del sistema** e svolgerà un ruolo chiave, consentendo un'ampia serie di servizi e applicazioni basati sulla posizione. Una caratteristica chiave della tecnologia di posizionamento 5G è rappresentata dai segnali a banda larga nell'intervallo di frequenza 2 (FR2), che consiste nelle frequenze operative assegnate al 5G nell'ordine delle onde millimetriche (mmWave) (al di sopra di 24 GHz). Questi segnali ampi (con una larghezza di banda fino a 500 MHz) sono adatti per una migliore risoluzione temporale, ma anche per una precisa formazione del fascio (*beamforming*) digitale, che a sua volta consente una stima estremamente precisa dell'ora di arrivo (ToA) e della direzione di arrivo (DoA) in particolare in condizioni di portata visiva diretta. Anche l'infrastruttura 5G indipendente può fungere da fonte alternativa di PNT, a condizione che non dipenda da GNSS.

Si prevede che l'**integrazione dell'EGNSS con il 5G** costituirà il fulcro dei futuri motori di localizzazione per numerose applicazioni nei settori dei servizi basati sulla localizzazione (LBS) e dell'IoT, con un miglioramento significativo delle prestazioni in termini di localizzazione nelle città. Con connessioni senza fili esenti da guasti ("failsafe"), velocità più rapide dei dati e un'ampia capacità di dati, la tecnologia 5G può fornire la dorsale di connettività necessaria per consentire il **posizionamento cooperativo** nonché il funzionamento sicuro di automobili a guida autonoma, droni, robot mobili e, più in generale, il mondo delle "Cose autonome".

In futuro, il **6G** mira a conseguire una **precisione di posizionamento a livello di centimetro** grazie all'uso di superfici riflettenti intelligenti e di massicce reti di antenne nonché alla formazione avanzata del fascio e promette di servire applicazioni quali la consegna utilizzando droni, il tracciamento di beni, il monitoraggio dell'assistenza sanitaria, l'agricoltura di precisione e i veicoli a guida autonoma.

Ulteriori informazioni dettagliate sono disponibili nella [relazione dell'EUSPA sulla tecnologia per gli utenti di GNSS](#) (solo in EN).

2.7 Sistemi e servizi PNT

Storicamente, i **sistemi PNT convenzionali**, basati su infrastrutture terrestri/di terra, hanno svolto un ruolo fondamentale nel potenziare e nel rafforzare i servizi PNT, in combinazione con il GNSS o indipendentemente da esso. Esistono diversi sistemi convenzionali, tutti basati su principi fisici diversi per servire una finalità specifica, tra cui la principale consiste nel mettere a disposizione una soluzione precisa e affidabile di posizionamento e sincronizzazione che consenta di navigare da un punto nello spazio all'altro in modo sicuro, determinare la posizione e fornire informazioni derivate quali la velocità e la rotta, per arrivare alla destinazione desiderata.

Attualmente i moderni **sistemi e servizi PNT sono sostenuti da GNSS** grazie alla loro capacità di mantenere il posizionamento e la sincronizzazione a livello mondiale senza prestazioni non comparabili. La disponibilità di servizi GNSS sta cambiando a un ritmo molto rapido e continuerà a farlo a breve e a medio termine. Negli ultimi anni quattro GNSS (GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou) sono stati dichiarati operativi per fornire servizi PNT globali con capacità multifrequenza. Inoltre, i sistemi di potenziamento terrestri e spaziali migliorano le prestazioni dei segnali GNSS per utenti specifici e generalmente lo fanno a livello regionale o locale.

Questa serie di servizi GNSS interoperabili consentirà la **razionalizzazione** e persino lo **smantellamento di sistemi PNT terrestri convenzionali**, una circostanza questa che consentirà di ridurre i costi di manutenzione e di esercizio e di razionalizzare lo spettro elettromagnetico. Per talune applicazioni critiche, quali i settori dell'aviazione, dell'energia elettrica o quello bancario oppure i servizi civili di emergenza, sarà comunque necessaria un'infrastruttura di navigazione di riserva per fornire una capacità di orientamento di base in caso di malfunzionamento o indisponibilità di GNSS.

Tuttavia, nonostante il successo imbattibile, i servizi GNSS presentano anche alcuni punti deboli legati principalmente ai segnali di bassa potenza che possono essere facilmente soggetti a interferenze. Ciò richiede l'esistenza di sistemi e servizi **PNT alternativi** in grado di fornire capacità PNT indipendentemente dal GNSS (normalmente con prestazioni degradate). Inoltre i servizi PNT alternativi possono altresì integrare i servizi GNSS laddove i segnali GNSS non siano disponibili (ad esempio, in ambienti chiusi o sotterranei) grazie a una maggiore potenza dei segnali. La combinazione di servizi PNT alternativi e servizi GNSS consente **servizi PNT resilienti**, ossia servizi PNT che continuano a funzionare anche in caso di perdita di servizi GNSS o in contesti in cui non sono disponibili soluzioni GNSS.

I servizi PNT alternativi possono essere forniti da sistemi PNT convenzionali e/o dai cosiddetti **sistemi PNT emergenti/di nuova generazione**, che forniscono servizi PNT i quali solitamente presentano prestazioni inferiori a quelle del GNSS o con una copertura limitata o costi più elevati.

2.7.1 Panoramica dei sistemi PNT

Tutti i sistemi PNT hanno la finalità principale di fornire **informazioni precise e affidabili sul posizionamento e sulla sincronizzazione** per consentire al dispositivo utente di ottenere la sua ubicazione o di navigare da un punto all'altro o di sincronizzarsi con un riferimento temporale. A seconda della tecnologia e della natura dei diversi sistemi PNT, la loro idoneità a fornire informazioni sul posizionamento, sulla navigazione o sulla sincronizzazione a un'applicazione specifica può variare. La [Figura 2](#) fornisce una panoramica dei diversi sistemi PNT classificati come tecnologie **GNSS, convenzionali ed emergenti**. L'idoneità è dimostrata dai colori, che forniscono un'indicazione del comportamento di ciascun sistema, a seconda di diversi fattori quali le sue prestazioni o la fattibilità della sua diffusione. Quando un sistema non fornisce una determinata funzionalità, quest'ultima viene indicata con "n.d." (non disponibile). Ciò contribuisce a individuare quali sistemi PNT potrebbero essere più adatti per un particolare ambiente o una particolare applicazione, tenendo presente che altri criteri quali ad esempio la portata geografica, la vulnerabilità ai fenomeni meteorologici spaziali o i costi non sono presi in considerazione nella presente panoramica. Questi sistemi PNT saranno descritti nelle sezioni che seguono e ulteriori informazioni dettagliate sono disponibili nell'[APPENDICE A. Sistemi PNT](#).

		SISTEMI		Posizionamento e navigazione	Sincronizzazione	Ambienti all'aperto	Ambienti chiusi e Sotterranei	Sicurezza della vita umana (aviazione, marittimo)	Infrastrutture critiche (energia, telecomunicazioni, finanza)	Livello di maturità tecnologica	OSSERVAZIONI
				Sistema PNT		AMBIENTE		APPLICAZIONI		TRL	
GNSS	Copertura globale									9	Quattro costellazioni globali disponibili
	Copertura regionale									9	Due costellazioni regionali disponibili in Giappone e India
	Potenziamento basato su satelliti (SBAS)									9	Più sistemi SBAS in servizio o sviluppo a livello mondiale Attualmente non vengono fornite informazioni sull'integrità della sincronizzazione
CONVENZIONALI	Ausili alla navigazione per l'aviazione (VOR, DME, ILS, TACAN)		--						--	9	Alcuni faranno parte della rete operativa minima (MON)
	Loran-C									9	Fatta eccezione per Cina e Russia, non più in servizio
	eLoran ed eLoran differenziale									9	Già smantellati nell'UE e negli USA
	Distribuzione dell'ora a onde lunghe	--						--		9	La precisione del segnale è limitata e sono necessarie antenne specifiche
	Orologi atomici	--						--		9	Buona precisione di sincronizzazione per le infrastrutture critiche
TECNOLOGIE EMERGENTI	White Rabbit							--		9	Richiede una connessione in fibra senza interruzioni
	Distribuzione dell'ora tramite reti informatiche	--						--		9	Precisione della sincronizzazione derivante da reti dedicate
	Pseudoliti									9	Solo terrestri
	5G e reti cellulari									7	Tecnologia di comunicazione in grado di fornire anche PNT
	R-Mode								--	5	Marittimo, utilizzando l'infrastruttura esistente leggermente modificata
	Navigazione basata su immagini		--						--	6	Tecnologie multiple, dipendenti dall'hardware
	Navigazione basata su dispositivi mobili							--	--	9	Tecnologia basata sul sistema operativo, richiede una connessione a internet
	Navigazione stimata e IMU		--						--	9	Sistema passivo, soggetto a deriva se non combinato con altri sensori
	Mappe ambientali		--						--	7	Sistema passivo, richiede informazioni mappate in precedenza
	Orbita terrestre bassa (LEO)									8	Reti a banda larga spaziali emergenti
Tecnologie quantistiche (orologio e IMU)									4	Nuovo approccio all'hardware di navigazione e sincronizzazione	
PNT di pulsar								--	3	Posizionamento e navigazione per lo spazio profondo, proposto come nuova scala temporale per la Terra	

-- n.d. Idoneità BASSA Idoneità ELEVATA
 Idoneità MEDIA Potenziale (in fase di valutazione/sviluppo)

Nota: il colore del livello di maturità tecnologica (TRL) indica una serie crescente che va dal livello di maturità PIÙ BASSO in rosso a quello PIÙ ELEVATO in verde.

Figura 2 – Panoramica dei sistemi PNT classificati come GNSS, convenzionali ed emergenti

La [Figura 3](#) fornisce una panoramica dei sistemi PNT classificati come sistemi spaziali e terrestri:

- tra i sistemi **PNT spaziali** figurano le costellazioni di satelliti in orbita terrestre media (MEO) che forniscono servizi GNSS (sezione [5.1](#)), i satelliti geostazionari (GEO) che forniscono potenziamenti di GNSS (sezione [5.1.3.1](#)) e le mega-costellazioni emergenti di satelliti a orbita terrestre bassa (LEO) (sezione [5.3.10](#));
- tra i sistemi **PNT terrestri** figurano i sistemi PNT convenzionali, quali gli ausili alla navigazione per gli orologi aeronautici e marittimi o atomici (sezione [5.2](#)), i sistemi di potenziamento di GNSS quali i sistemi differenziali o PPP (sezione [5.1.3.2](#)) e le tecnologie emergenti quali il 5G e le tecnologie quantistiche delle mappe ambientali (sezione [5.3](#)).

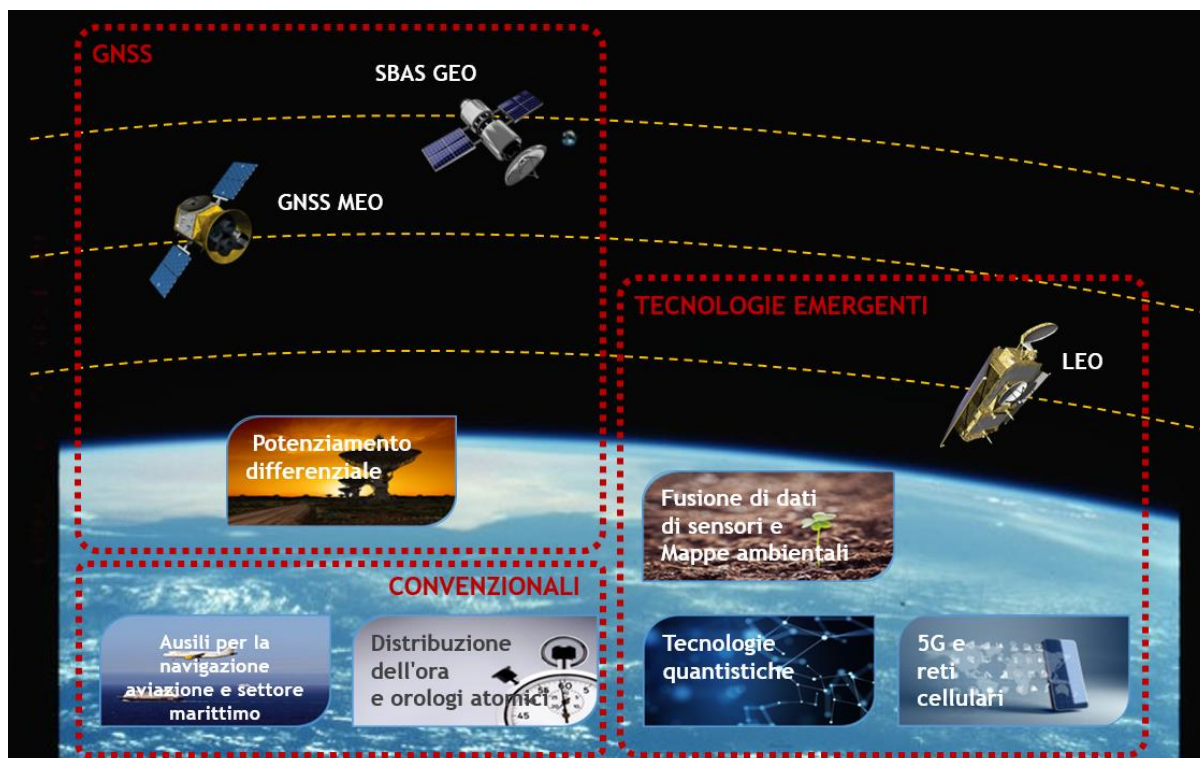


Figura 3 – Sistemi PNT classificati come spaziali e terrestri

2.7.2 Sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS) e potenziamenti

Il **sistema globale di navigazione satellitare (GNSS)** è un'infrastruttura PNT che consente agli utenti che dispongono di un ricevitore compatibile di elaborare i segnali provenienti dai satelliti e di determinare la posizione, la velocità e l'ora (PVT). A seconda della loro copertura, si opera una distinzione tra:

- sistemi di navigazione satellitare – copertura globale: Galileo (UE), GPS (USA), BeiDou (Cina), GLONASS (Russia);
- sistemi di navigazione satellitare – copertura regionale: QZSS (Giappone), IRNSS (India).

Le prestazioni dei GNSS possono essere migliorate mediante **sistemi di potenziamento**, che possono essere classificati come:

- **spaziali**: si tratta dei sistemi nei quali le correzioni GNSS sono trasmesse agli utenti tramite satelliti e che forniscono informazioni di potenziamento su *un'area estesa* (ossia su scala continentale).

Un tipo di questi sistemi è costituito dai sistemi di potenziamento basati su satelliti (**SBAS**) che forniscono servizi per l'aviazione; attualmente esistono i seguenti sistemi: EGNOS (UE), WAAS (USA), MSAS (Giappone), GAGAN (India), KASS (Corea del Sud), ANGA (Africa centrale), SouthPAN (Australia e Nuova Zelanda), BDSBAS (Cina) e SDCM (Russia).

Un altro tipo di tali sistemi è costituito dai sistemi con posizionamento a punto preciso (PPP) che consentono una precisione di posizionamento a livello di centimetri in tempo reale trasmettendo correzioni GNSS per un modello di errori satellitari GNSS. Solitamente i PPP richiedono decine di minuti per conseguire la precisione della posizione finale;

- **terrestri**: si tratta dei sistemi nei quali le correzioni GNSS sono trasmesse agli utenti per via terrestre (mediante stazioni terrestri o via internet). In genere forniscono informazioni di potenziamento a un'area locale (decine di chilometri), ma alcuni forniscono anche informazioni su un'area estesa via internet (PPP).

Alcuni esempi di sistemi relativi a un'area locale sono:

- i sistemi di potenziamento a terra (GBAS) che forniscono servizi all'aviazione con informazioni di potenziamento, compresa l'integrità (cfr. sezione [2.1](#));
- i GNSS differenziali (DGNSS) con informazioni di potenziamento volte a migliorare la precisione della posizione dell'utente e che si basano sull'elaborazione di misurazioni GNSS a livello di codice;
- la cinematica in tempo reale (RTK) che consente una precisione di posizionamento a livello di centimetri in tempo reale in pochi secondi grazie all'elaborazione di misurazioni GNSS a livello di fase.

Infine, cercando di combinare i migliori mondi RTK e PPP, negli ultimi anni sono apparsi i sistemi PPP-RTK che combinano tempi rapidi di inizializzazione della RTK con una portata su area estesa del PPP;

- **basati su ricevitori**: si tratta dei sistemi nei quali il ricevitore utente incorpora informazioni di potenziamento provenienti da sensori di navigazione. Un esempio di questi sistemi è dato dal sistema di potenziamento basato su aeromobili (ABAS), nel contesto dei quali quello maggiormente utilizzato è il sistema di controllo autonomo dell'integrità con ricevitore (RAIM).

Informazioni dettagliate sui vari sistemi GNSS e sui potenziamenti sono disponibili nell'[APPENDICE A. Sistemi PNT](#), mentre i servizi Galileo ed EGNOS saranno trattati nel dettaglio rispettivamente alla sezione [3.2](#) e alla sezione [3.3](#).

Le figure che seguono forniscono una panoramica degli attuali sistemi GNSS e SBAS con alcune delle loro principali caratteristiche e i relativi sviluppi temporali.

			2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
SISTEMI DI NAVIGAZIONE SATELLITARE	COPERTURA GLOBALE	Galileo	E1	FOC - 24 satelliti + riserve									
			E5	FOC - 24 satelliti + riserve									
			E6	FOC - 24 satelliti + riserve									
		GPS	L1	FOC - circa 30 satelliti									
			L1C	FOC - circa 30 satelliti									
			L2	FOC - circa 30 satelliti									
			L2C	FOC - circa 30 satelliti									
	BeiDou	B1	FOC - 44 satelliti										
		B2	FOC - 44 satelliti										
		B3	FOC - 44 satelliti										
	GLONASS	L1 FDMA	FOC - 22										
		L1 CDMA	FOC - 22										
		L2 FDMA	FOC - 24										
		L2 CDMA	FOC - 24										
L3 CDMA		FOC - 24											
QZSS	L1C/A	4 satelliti											
	L1C	4 satelliti											
	L2C	4 satelliti											
	L5	4 satelliti											
	IRNSS	L1	FOC - 7										
L5		FOC - 7 satelliti											
SISTEMI DI POTENZIAMENTO BASATO SU SATELLITI (SBAS)	COPERTURA REGIONALE	EGNOS	L1	2 GEO (in rotta, terminale, NPA, APV-I, CAT I)									
			L5	GPS + Galileo									
		WAAS	L1	2 GEO (in rotta, terminale, NPA, APV-I, CAT I)									
			L5	GPS									
		MSAS	L1	1 GEO - 1 GEO - QZS3 (in rotta, NPA) 2 GEO - QZS (in rotta, terminale, NPA, APV-I, CAT I)									
			L5	Fase di verifica In fase di pianificazione									
		GAGAN	L1	2 GEO - GSAT8 e GSAT10 (in rotta, terminale, NPA, APV-I)									
	L5		In fase di valutazione										
	KASS	L1	2 GEO (in rotta, terminale, NPA, APV-I)										
		L5	GPS + Galileo										
	ANGA	L1	2 GEO (in rotta, terminale, NPA, APV-I, CAT I)										
		L5	GPS + Galileo										
	SouthPAN	L1	2 GEO (in rotta, terminale, NPA, APV-I)										
		L5	GPS + Galileo										
BDSBAS	B1C	2 GEO (in rotta, terminale, NPA, APV-I, CAT I)											
	B2a	GPS + Beidou											
SDCM	L1	n.d.											
	L5	n.d.											

- Sistema NON in servizio
- Sistema in fase di sviluppo/diffusione
- Sistema in piena capacità operativa (FOC), con indicazione del numero di satelliti operativi (satelliti) e delle fasi di volo

Figura 4 – Panoramica dei sistemi GNSS

2.7.3 Sistemi PNT convenzionali

I sistemi PNT convenzionali sono in esercizio da numerosi anni e contengono principalmente infrastrutture terrestri quali antenne, strutture di supporto, siti di monitoraggio e centri di controllo. I sistemi PNT convenzionali presentano le seguenti caratteristiche:

- **potenza e bande di frequenza specifiche** che conferiscono le caratteristiche principali del servizio, compresa la portata del sistema;
- solitamente viene fornito **un tipo di servizio**, quale la fornitura di rilevamento, distanza o una combinazione dei due;
- **identificazione unica e standardizzata in un sito specifico**, per facilitarne l'uso con sistemi automatizzati che ne elaborano i segnali;
- **progettazione basata su norme ben note e pubbliche** che definiscono la specifica dei requisiti del sistema e consentono di verificare e convalidare adeguatamente il sistema.

In ragione dell'aumento dell'uso di GNSS e dell'obsolescenza di alcuni di questi sistemi convenzionali nonché dei costi relativi alla manutenzione degli stessi, si registra una tendenza alla **razionalizzazione** mantenendo nel contempo una rete minima che sarebbe capace di sostenere le operazioni in assenza di GNSS.

A titolo di **esempio**, la figura che segue, tratta dal [piano generale ATM europeo](#), illustra l'evoluzione prevista dei sistemi di navigazione convenzionali (radiofari non direzionali (NDB), radiofari omnidirezionali in altissima frequenza (VOR), apparecchi di misurazione della distanza (DME), sistema di atterraggio strumentale (ILS)) nel **settore dell'aviazione civile europea**. Secondo le previsioni, diversi sistemi saranno razionalizzati o smantellati nel prossimo decennio, una conseguenza del successo della diffusione e dello sviluppo notevole dei GNSS e dei relativi potenziamenti satellitari e terrestri. Tra i vantaggi della razionalizzazione di tali infrastrutture figurano **risparmi sui costi operativi** e lo **svincolo di bande di frequenze** occupate dai sistemi convenzionali. Ciò nonostante, al fine di garantire l'approvvigionamento sicuro della gestione del traffico aereo europeo in caso di potenziale indisponibilità dei GNSS, sarà mantenuta una **rete operativa minima (MON, Minimum Operational Network)** di sistemi convenzionali.

È importante sottolineare che i piani di evoluzione inclusi nel piano generale ATM sono quelli previsti dall'Unione europea (che rispecchiamo anche i piani di evoluzione concordati a livello di ICAO). Tuttavia i sistemi tradizionali PNT sono in ultima analisi di competenza delle diverse autorità nazionali, che possono disporre di politiche e piani specifici diversi rispetto al piano generale ATM.

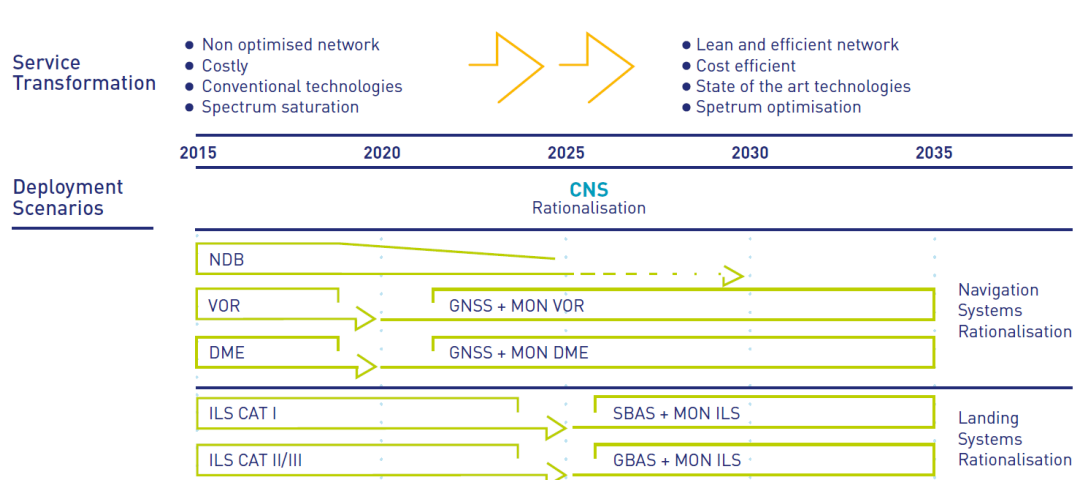


Figura 5 – Razionalizzazione degli ausili convenzionali alla navigazione (Crediti: [piano generale ATM](#))

Infine la [figura 6](#) fornisce una panoramica dei sistemi PNT convenzionali e ulteriori informazioni sono disponibili nell'appendice A, sezione [5.2](#).

Sistema	Banda di frequenza	Tipo di PNT		Precisione	Portata	Spec. di NAV supportata (aviazione)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		Pos/Nav	Sincronizzazione														
NDB	Da 190 kHz a 1750 kHz	Rilevamento rispetto all'NDB	--	Dipende dall'AFD di bordo. La precisione minima ICAO per gli NDB è pari a $\pm 5^\circ$	Da 25 NM a 150 NM	--	Proposta di smantellamento nel piano generale ATM europeo										
VOR	Da 108 MHz a 117,975 MHz	Rilevamento rispetto al VOR	--	Entro $\pm 2^\circ$	Da 25 NM a 130 NM	RNAV 5	Razionalizzazione fino a MON										
DME	Da 960 MHz a 1215 MHz	Distanza rispetto al DME	--	Circa ± 200 metri ($\pm 0,1$ NM)	Con VOR: da 25 NM a 130 NM Con ILS: circa 15 NM	RNAV 5, RNAV 2, RNAV 1, RNP 1 e A-RNP	Razionalizzazione fino a MON										
Sistema di atterraggio strumentale (ILS)	Da 108 MHz a 111,975 MHz	Guida orizz./vert. avvicinamento di precisione	--	CAT I: $\pm 10,5$ m (35 ft) CAT II: $\pm 4,5$ m (25 ft) CAT III: ± 3 m (15 ft)	Circa 15 NM	--	Razionalizzazione fino a MON										
TACAN	Da 960 MHz a 1 215 MHz	Rilevamento e distanza	--	Entro $\pm 1^\circ$ Porzione DME circa ± 926 m (0,5 NM)	Circa 200 NM	--	In esercizio dal 1960										
Loran-C	Da 90 kHz a 110 kHz			< 460 m	Lungo raggio Giorno: fino a 600 NM Notte: fino a 1 300 NM	--	Non in uso in Europa dal 2015										
eLoran e dLoran	Da 90 kHz a 110 kHz			± 20 m, ± 5 m per dLoran	600 NM giorno (notte: fino a 1 300 NM), dLoran 30 NM (a causa delle stazioni differenziali)	--	Non in uso in Europa dal 2015										
DCF77	77,5 kHz	--		deviazione a lungo termine (un anno) tra ± 5 ms e ± 150 ms	Circa 1 000 NM	--	In esercizio dal 1959										
Orologi atomici	--	--		Migliore rispetto a nanosecondi	Nessuna limitazione	--	In esercizio dal 1960										

--	n.d.
	Idoneità BASSA
	Idoneità MEDIA
	Idoneità ELEVATA

	Sistema NON in servizio
	Rete operativa minima (MON) conforme al regolamento di esecuzione (UE) 2018/1048 sulla navigazione basata sulle prestazioni
	Sistema IN servizio (Piena Capacità Operativa - FOC)

Figura 6 – Panoramica dei sistemi PNT convenzionali

2.7.4 Sistemi PNT emergenti/di prossima generazione

Oltre ai sistemi PNT o ai servizi GNSS convenzionali, esiste una serie di **sistemi PNT emergenti o di nuova generazione**, che attualmente forniscono servizi con prestazioni generalmente inferiori a quelle dei GNSS, con una copertura limitata o a costi più elevati.

La [Figura 7](#) fornisce una panoramica delle tecnologie PNT emergenti che presentano la maturità e l'importanza percepita più elevate. Le tecnologie sono state raggruppate principalmente sulla base della somiglianza percepita dell'hardware e tra esse figurano:

- tecnologie terrestri che forniscono servizi di sincronizzazione maturi con prestazioni elevate;
- tecnologie basate su trasmissioni radio, siano esse terrestri (ad esempio pseudoliti, R-Mode) o spaziali (satelliti LEO);
- la navigazione mobile, che in una certa misura è indipendente dall'hardware ma dipende fortemente dalla fusione di dati di sensori, dall'apprendimento automatico e dai server back-end, ed è una tecnologia di primo piano per il mercato di massa;
- le tecnologie non basate su trasmissioni radio, come i sistemi inerziali e i sensori magnetici;
- le tecnologie basate su tecniche visive, LiDAR o radar che, pur non fornendo rigorosamente servizi PNT, sono importanti per la fusione di dati di sensori;
- le tecnologie quantistiche e le pulsar che, sebbene non siano ancora mature, potrebbero offrire prestazioni molto interessanti in futuro.

Una caratteristica importante di questi sistemi è la maturità tecnologica, i cosiddetti livelli di maturità tecnologica (TRL, Technology Readiness Levels), indicati nell'ultima colonna della figura che precede. La metodologia assegna un numero che va da "1" (rispetto dei principi di base, ossia il livello di maturità più basso) a "9" (sistema effettivo comprovato nell'ambiente operativo, ossia il livello di maturità più elevato). Quanto più elevato è il livello di maturità tecnologica, maggiore è la prontezza del sistema ad essere utilizzato a livello operativo.

Queste **tecnologie emergenti** si distinguono dagli ausili convenzionali e, in una certa misura, dai GNSS in considerazione del fatto che:

- sono progettate come parte dell'offerta combinata o dell'approccio di fusione di dati di sensori;
- non forniscono soltanto una posizione, ma creano anche una distribuzione dell'ora efficiente, anche se alcune tecnologie potrebbero necessitare di un collegamento con l'UTC;
- adottano pratiche moderne di sviluppo di hardware e software, che portano a un rapido sviluppo e ad aggiornamenti via etere. Ciò significa anche che tutte le unità sono collegate e di solito non necessitano di interventi manuali dopo l'installazione;
- dispongono di capacità di monitoraggio, segnalazione e identificazione dei guasti gestite dalle tecnologie stesse;
- hanno migliorato la cybersicurezza, l'integrazione con altri sistemi, l'esperienza degli utenti e la flessibilità.

Ulteriori informazioni sui sistemi stessi sono disponibili nell'appendice A, sezione [5.3](#).

Sistema	Banda di frequenza	Tipo di PNT		Precisione	Portata	Livello di maturità tecnologica (TRL)
		Pos/Nav	Sincronizzazione			
White Rabbit (WR)	--			Inferiore a ns/ cm	Rete, con ripetitori fino a centinaia di km	9
Distribuzione dell'ora tramite reti informatiche	--	--		Inferiore a μ sec	Rete, con ripetitori fino a centinaia di km	9
Pseudoliti	Varie bande (ad es. WiFi, 921,88-927,00 MHz)			0,2-15 ns 0,005 m (portante) - 15 m (codice)	5-15 km	9
5G e reti cellulari	450 MHz-6 GHz e 24,25 GHz-52,6 GHz	2D		Decine di metri Inferiore a μ sec	Data dall'infrastruttura di rete	7
Ranging mode (R-Mode)	VHF e MF	2D		Decine di metri	250 km	5
Navigazione basata su immagini	--		--	Solitamente a livello di dm, in assoluto varia	In base al sistema	6
Navigazione basata su dispositivi mobili	Bluetooth e WiFi			Pochi metri (la precisione dell'altezza consente di rilevare la soglia minima)	Bluetooth e WiFi di solito decine di metri	9
Navigazione stimata e IMU	--		--	Deriva di 1 m dopo 2 min (qualità elevata) Deriva di 1 m dopo pochi sec (qualità bassa)	Nessuna limitazione	9
Mappe ambientali	--	2D	--	All'esterno: da un metro a centinaia di metri; al chiuso: < 1 m	Dipende dal sistema	7
Orbita terrestre bassa (LEO)	Bande K e L			10 ns 10 m statica	Globale	8
Tecnologie quantistiche (orologio e IMU)	--			Almeno un ordine di grandezza migliore rispetto alle IMU convenzionali	Nessuna limitazione	4
PNT di pulsar	Raggi X (altre non così efficienti)			1000 km	Intera galassia	3

Nota: il colore del livello di maturità tecnologica (TRL) indica una serie crescente che va dal livello di maturità PIÙ BASSO in rosso a quello PIÙ ELEVATO in verde.

-- n.d.

Idoneità MEDIA

Idoneità elevata (2D indica 2 dimensioni)

Potenziale (in fase di valutazione/sviluppo)

Figura 7 – Panoramica dei sistemi PNT emergenti/di prossima generazione

2.8 Interoperabilità e compatibilità

L'emergere e la modernizzazione dei GNSS (comprese le loro componenti regionali e di potenziamento) comportano discussioni sull'**interoperabilità** e sulla **compatibilità** dei **GNSS** tra i diversi fornitori di servizi.

Secondo il [Comitato internazionale per i sistemi globali di navigazione satellitare \(ICG, *International Committee on Global Navigation Satellite Systems*\)](#), l'**interoperabilità** si riferisce alla capacità dei sistemi e dei potenziamenti di navigazione satellitare globali e regionali e ai servizi che essi forniscono di essere utilizzati congiuntamente per fornire capacità migliori a livello di utente rispetto a quelle che si otterrebbero facendo affidamento esclusivamente sui segnali aperti di un unico sistema.

Nel contesto del GNSS, l'interoperabilità dovrebbe essere intesa come la capacità delle apparecchiature degli utenti di sfruttare i segnali di navigazione disponibili dei diversi GNSS e di produrre una soluzione combinata che in genere presenta vantaggi in termini di prestazioni (ad esempio, maggiore precisione, disponibilità più elevata) rispetto alla soluzione del sistema indipendente. L'interoperabilità è spesso discussa a due livelli diversi, ossia a livello di **sistema** e di **segnale**, mentre l'interoperabilità a livello di ricevitore è garantita da norme riconosciute a livello internazionale. Ulteriori informazioni sono disponibili all'indirizzo: [Interoperabilità – Navipedia](#).

L'ICG afferma che la **compatibilità** fa riferimento alla capacità dei sistemi globali e regionali di navigazione satellitare e dei corrispondenti potenziamenti di essere utilizzati separatamente o congiuntamente senza causare interferenze inaccettabili e/o altri danni a un singolo sistema e/o servizio.

Nella valutazione della compatibilità vengono spesso presi in considerazione due aspetti:

- la compatibilità con le radiofrequenze, compresi i fattori delle proprietà di correlazione incrociata e il rumore di fondo dei ricevitori a prezzi accessibili;
- la separazione spettrale tra segnali autorizzati e altri segnali, e qualora la sovrapposizione sia inevitabile, si procede a una stretta discussione tra i fornitori per garantire il servizio necessario.

Ulteriori informazioni sono disponibili all'indirizzo [Compatibilità – Navipedia](#).

La cooperazione internazionale è fondamentale per garantire l'interoperabilità e la compatibilità dei segnali GNSS (ad esempio strutture dei segnali, messaggi, frequenze portanti, codici e modulazioni) ed è condotta sin dalle prime fasi di sviluppo, mentre le norme per i ricevitori sono fondamentali per garantire l'interoperabilità e la compatibilità a livello di ricevitori.

Analogamente ai GNSS, l'interoperabilità, la compatibilità e l'elaborazione di norme sono aspetti necessari per altri servizi PNT (ad esempio, l'IEEE sta elaborando norme per [apparecchiature utente PNT resilienti](#)).

2.9 Politiche internazionali in materia di PNT

Riconoscendo l'importanza dei servizi PNT, politiche nazionali in materia di PNT esistono a livello internazionale per le principali economie mondiali. La presente sezione fornisce una panoramica di tali politiche in materia di PNT.

Il [piano federale statunitense per la navigazione radio](#) (FRP, *Federal Radio Navigation Plan*) è la fonte ufficiale di politica e pianificazione in materia di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT) per il governo federale degli Stati Uniti. L'FRP contiene capitoli riguardanti i ruoli e le responsabilità, le politiche, i requisiti rappresentativi per gli utenti PNT, i piani operativi e l'architettura PNT nazionale, nonché appendici riguardanti i parametri e le descrizioni di sistema, i servizi di informazione PNT e i sistemi e i datum geodetici di riferimento.

Nel 2018 gli Stati Uniti hanno pubblicato una legge nazionale sulla resilienza della sincronizzazione e sulla sicurezza ([National Timing Resilience and Security Act](#)) e nel 2020 un decreto presidenziale sul rafforzamento della resilienza nazionale attraverso un uso responsabile dei servizi PNT ([Executive Order on Strengthening National Resilience through Responsible Use of PNT Services](#)) con l'obiettivo di promuovere l'uso responsabile dei servizi PNT da parte dei proprietari e degli operatori di infrastrutture critiche. Tra le numerose azioni, il decreto presidenziale richiedeva l'attuazione di una fonte, indipendente da GNSS, di tempo universale coordinato. Nel 2020 il dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti ha effettuato la [sperimentazione di 11 tecnologie PNT alternative selezionate](#), con l'obiettivo di valutare tecnologie PNT complementari e di riserva rispetto al GPS. Tale campagna ha sottoposto a prova tanto il posizionamento quanto la sincronizzazione, fornendo una graduatoria quantificata per le varie tecnologie analizzate.

Il [piano russo di radionavigazione](#), pubblicato nel 2019 e approvato da rappresentanti di 11 nazioni³, discute i requisiti di posizionamento e sincronizzazione per i diversi utenti. Il piano evidenzia una notevole preoccupazione per le perturbazioni dei segnali provenienti da sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS), quali il GPS e il suo equivalente russo GLONASS, e prevede le modalità con cui la Russia, e i suoi alleati, stanno conferendo maggiore sicurezza agli utenti integrando sistemi spaziali e terrestri in un'architettura di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT) più solida e resiliente. Tale piano conferma inoltre una capacità PNT terrestre mobile, probabilmente per uso militare.

In caso di interferenze, il piano suggerisce la creazione di un sistema per monitorare le frequenze GNSS e individuare perturbazioni, l'uso di frequenze GLONASS multiple e l'integrazione di GLONASS, GPS e sistemi terrestri all'interno del ricevitore degli utenti. In tale documento si afferma infatti che uno dei modi per integrare i sistemi di radionavigazione terrestre e spaziale è l'integrazione di sistemi quali "Seagull" [Loran] e GLONASS e che i sistemi integrati "Seagull"/GLONASS potranno in futuro essere utilizzati come sistemi principali per la navigazione nelle fasi di rotta.

Nonostante la Cina non abbia ancora pubblicato un piano di radionavigazione, il suo approccio è stato presentato in una serie di conferenze e simposi. La Cina prevede di costruire la prima [architettura PNT completa](#) al mondo (ad esempio resiliente e solida). Tale architettura è descritta come un sistema PNT multi-sorgente che sarà più onnipresente, più integrato e più intelligente. Incentrata sui satelliti BeiDou a orbita terrestre media (MEO), tale architettura integrerà un'ampia serie di altre sorgenti PNT quali una costellazione PNT LEO, [stazioni Loran-C](#), sensori inerziali e sistemi quali la navigazione quantistica che devono ancora essere sviluppati.

Nel Regno Unito, nel 2016 è stato pubblicato un [piano di navigazione marittima](#) incentrato sull'uso dei servizi PNT per la navigazione marittima. Nel 2017 una [relazione](#) ha valutato che l'impatto economico per il Regno Unito di un'interruzione di cinque giorni dei servizi GNSS ammonterebbe a 5,2 miliardi di GBP e nel 2020 il Regno Unito ha annunciato la creazione di un [National Timing Centre](#) (Centro nazionale per la sincronizzazione) al fine di garantire una maggiore resilienza rispetto ai servizi GNSS per una sincronizzazione precisa mediante una rete di orologi atomici ospitati presso ubicazioni sicure.

³ Federazione Russa, Repubblica dell'Azerbaigian, Repubblica d'Armenia, Repubblica del Tagikistan, Repubblica di Bielorussia, Turkmenistan, Repubblica del Kazakistan, Repubblica dell'Uzbekistan, Repubblica del Kirghizistan, Ucraina, Repubblica Moldova.

3 PNT dell'UE

La presente sezione esamina i servizi PNT nell'Unione europea trattando gli obiettivi da 6 a 8 introdotti nella sezione [1.4](#). Mira a fornire **informazioni dettagliate** sui principali servizi forniti dai sistemi GNSS europei, **Galileo ed EGNOS**, al fine di riepilogare per ciascun segmento di mercato le **politiche correnti dell'UE** in materia di PNT e le azioni aggiuntive che faciliterebbero i servizi EGNSS e/o aumenterebbero la resilienza dei servizi PNT.

La presente parte:

- introduce il quadro giuridico dell'UE per il programma spaziale dell'UE (sezione [3.1](#));
- descrive i servizi attuali offerti da Galileo e i piani per servizi futuri, evidenziandone il loro valore aggiunto rispetto ad altri servizi GNSS (sezione [3.2](#));
- descrive i servizi attuali offerti da EGNOS e i piani per servizi futuri (sezione [3.3](#));
- descrive le politiche dell'UE in materia di PNT, comprese le attività in corso per facilitare l'introduzione dell'EGNSS nelle politiche dell'UE (sezione [3.4](#));
- fornisce raccomandazioni destinate a facilitare l'introduzione dei servizi EGNSS (sezione [3.4](#));
- fornisce raccomandazioni volte ad aumentare la resilienza dei servizi PNT (sezione [3.4](#));
- descrive le attività di cooperazione dell'UE in materia di navigazione satellitare (sezione [3.5](#)).

3.1 Programma spaziale dell'UE 2021-2027

Nell'aprile 2021 il Consiglio e il Parlamento europeo hanno adottato il [regolamento \(UE\) 2021/696 che istituisce il programma spaziale dell'Unione per il periodo 2021-2027](#). Tale regolamento richiede che il programma spaziale dell'UE garantisca:

- **dati e servizi** spaziali di alta qualità, aggiornati e sicuri;
- maggiori **benefici socioeconomici** derivanti dall'uso di tali dati e servizi, al fine di aumentare la crescita e la creazione di posti di lavoro nell'UE;
- il rafforzamento della **sicurezza e dell'autonomia** dell'UE;
- un ruolo più forte dell'UE quale **attore di primo piano** nel settore spaziale.

Il regolamento semplifica il quadro giuridico e il sistema di governance precedenti dell'UE e standardizza il quadro di sicurezza. Comprende le seguenti componenti spaziali dell'UE:

- **Galileo**: il sistema globale di navigazione satellitare dell'UE, che fornisce dati di posizionamento globale altamente precisi e sostiene la risposta alle emergenze e le attività di ricerca e salvataggio;
- **EGNOS (Servizio europeo di copertura per la navigazione geostazionaria)**: sistema regionale di potenziamento basato su satelliti dell'UE (SBAS). Fornisce servizi critici di navigazione sicuri agli utenti dei settori dell'aviazione, marittimo e terrestre in tutta l'UE;
- **Copernicus**: il programma europeo di osservazione della Terra. Attraverso i suoi servizi terrestri, marittimi, atmosferici, sui cambiamenti climatici, di gestione delle emergenze e di sicurezza, Copernicus sostiene un'ampia serie di applicazioni, tra cui la protezione dell'ambiente, la gestione delle aree urbane, la pianificazione regionale e locale, l'agricoltura, la silvicoltura, la pesca, la salute, i trasporti, i cambiamenti climatici, lo sviluppo sostenibile, la protezione civile e il turismo;
- **la conoscenza dell'ambiente spaziale (SSA, *Space and Situational Awareness*)**: iniziativa dell'UE volta a monitorare e proteggere le risorse spaziali contro i rischi spaziali;
- **la comunicazione satellitare per scopi governativi (GOVSATCOM)**: l'iniziativa dell'UE volta a fornire alle autorità nazionali accesso a comunicazioni satellitari sicure.

Inoltre, [nel febbraio 2022, la Commissione europea ha presentato due nuove iniziative faro nel settore spaziale](#):

- **una proposta di regolamento relativo a una connettività sicura basata sulla tecnologia spaziale (IRIS²)** al fine di garantire accesso a livello mondiale a servizi di comunicazione satellitare sicuri ed efficaci sotto il profilo dei costi attraverso una nuova costellazione, per le comunicazioni per scopi governativi e l'uso commerciale. Tale proposta mira a proteggere le infrastrutture critiche, a sostenere la sorveglianza e la gestione delle crisi, nonché a consentire la banda larga ad alta velocità ovunque in Europa al fine di anticipare al meglio le sfide future della nostra economia. Alla fine del 2022 nel contesto di tale iniziativa è stato raggiunto un accordo politico tra il Parlamento europeo e gli Stati membri;
- **una comunicazione congiunta su un approccio dell'UE per la gestione del traffico spaziale** che mira a rafforzare ulteriormente le capacità dell'UE in materia di sorveglianza dello spazio e tracciamento (e stabilire norme e regolamentazioni chiare per un uso sicuro, sostenibile e protetto dello spazio).

Il programma spaziale dell'Unione è attuato in stretta cooperazione con gli Stati membri, l'Agenzia dell'Unione europea per il programma spaziale (EUSPA), l'Agenzia spaziale europea (ESA), l'Organizzazione europea per l'esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT) e altri portatori di interessi.

Ulteriori informazioni sul programma spaziale dell'Unione sono disponibili all'indirizzo: [programma spaziale dell'Unione \(europa.eu\)](#).

3.2 Servizi Galileo

Galileo è il **sistema globale di navigazione satellitare dell'UE**, che fornisce un servizio di posizionamento globale altamente preciso e garantito, soggetto a controllo civile. Oltre a fornire servizi autonomi di navigazione e posizionamento, Galileo è interoperabile con altri sistemi GNSS quali GPS, GLONASS e BeiDou.

Galileo è costituito da un segmento spaziale formato da una costellazione di satelliti MEO (orbita terrestre media) che trasmette segnali di posizionamento e di sincronizzazione, un segmento terrestre che controlla il funzionamento dei satelliti e genera le informazioni di navigazione da trasmettere nei segnali Galileo e un segmento utenti costituito dai terminali utenti presenti nel mondo. Galileo è **operativo dal 15 dicembre 2016** ed è in continua evoluzione nell'ambito di Galileo di prima generazione, mentre il sistema Galileo di seconda generazione è in fase di sviluppo.

I servizi forniti da Galileo comprendono:

- un **servizio aperto (OS, Open Service) Galileo** gratuito per gli utenti, che fornisce informazioni di posizionamento e sincronizzazione destinate principalmente ad applicazioni di massa di navigazione satellitare per l'uso da parte dei consumatori. Comprende l'autenticazione dei messaggi di navigazione del servizio aperto (OSNMA) di Galileo e capacità di volume dei servizi;
- un **servizio ad alta precisione (HAS)** gratuito per gli utenti, che fornisce, mediante dati aggiuntivi distribuiti in una banda di frequenza supplementare, informazioni di posizionamento e sincronizzazione ad alta precisione destinate principalmente ad applicazioni di navigazione satellitare per uso professionale o commerciale;
- un **servizio di autenticazione del segnale (SAS)** basato sui codici criptati contenuti nei segnali, destinato principalmente ad applicazioni di navigazione satellitare per uso professionale o commerciale;
- un **servizio pubblico regolamentato (PRS)**, limitato agli utenti autorizzati da governi per applicazioni sensibili che richiedono un elevato livello di continuità del servizio, anche per fini di sicurezza e difesa, utilizzando segnali criptati forti;
- un **servizio di emergenza (ES, Emergency Service)**, gratuito per gli utenti e che diffonde, mediante l'emissione di segnali, avvisi riguardanti calamità naturali o altre emergenze in zone particolari;
- un **servizio di misurazione del tempo (TS, Timing Service)**, denominato anche "servizio di sincronizzazione", gratuito per gli utenti, che fornisce un tempo di riferimento preciso e solido e provvede alla realizzazione del tempo universale coordinato, agevolando lo sviluppo di applicazioni di misurazione del tempo basate su Galileo e l'uso in applicazioni critiche.

Galileo contribuisce inoltre:

- al servizio di **ricerca e salvataggio (SAR)** del sistema COSPAS-SARSAT rilevando i segnali di emergenza trasmessi da radiofari e rinviando dei messaggi a questi ultimi mediante un collegamento di ritorno;
- ai **servizi di monitoraggio dell'integrità** standardizzati a livello internazionale o di Unione destinati all'uso da parte di servizi di sicurezza della vita sulla base dei segnali del servizio aperto Galileo e in combinazione con EGNOS e altri sistemi di navigazione satellitare;
- alle informazioni di **meteorologia spaziale** mediante il centro di servizi GNSS e ai servizi di allerta precoce mediante l'infrastruttura di terra di Galileo, destinati principalmente a ridurre i potenziali rischi per gli utenti dei servizi forniti da Galileo e altri GNSS connessi allo spazio.

Ciascuno dei servizi sarà ulteriormente descritto nelle sezioni che seguono.

Ulteriori informazioni su Galileo sono disponibili all'indirizzo: [Centro servizi GNSS \(gsc-europa.eu\)](http://gsc-europa.eu).

3.2.1 Servizio aperto (OS) Galileo

Il servizio aperto Galileo offre **servizi globali di determinazione della distanza, posizionamento e sincronizzazione** per gli utenti a frequenza singola e a doppia frequenza dotati di un ricevitore compatibile con il servizio aperto Galileo. Sebbene ogni satellite Galileo trasmetta segnali di navigazione (chiamati anche "segnali nello spazio" o SIS, dall'inglese: *Signal-In-Space*) in tre bande di frequenza, il servizio aperto Galileo è **trasmesso su due delle tre bande di frequenza**.

Tra i [documenti relativi al programma del servizio aperto Galileo](#) figurano:

- **servizio aperto Galileo – documento di definizione del servizio**, che descrive le caratteristiche e le prestazioni del servizio aperto Galileo fornito attraverso il segnale nello spazio del servizio aperto Galileo;
- **servizio aperto Galileo – documento di controllo dell'interfaccia dei segnali nello spazio**, che contiene le informazioni accessibili al pubblico sul segnale nello spazio di Galileo e specifica l'interfaccia tra il segmento spaziale di Galileo e il segmento utenti di Galileo. È destinato ad essere utilizzato dalla comunità di utenti di Galileo;
- **algoritmo di correzione ionosferica per gli utenti a frequenza singola di Galileo**, che descrive nel dettaglio l'algoritmo di riferimento da attuare sui ricevitori utenti per calcolare le correzioni ionosferiche sulla base dei coefficienti di trasmissione nel messaggio di navigazione Galileo per gli utenti a frequenza singola.

Le [relazioni trimestrali sulle prestazioni del servizio aperto Galileo](#) forniscono informazioni dettagliate sulle prestazioni del servizio aperto Galileo rispetto agli obiettivi di livello minimo di prestazione specificati nel documento di definizione del servizio per l'OS Galileo.

La **precisione di determinazione della distanza e di posizionamento** del servizio aperto Galileo **superano di gran lunga quelle degli altri sistemi GNSS**, raggiungendo una precisione di determinazione della distanza superiore a 30 cm (95 %) e una precisione di posizionamento orizzontale e verticale migliore rispettivamente di 2 m e 2,5 m (in media). La **precisione del servizio di sincronizzazione** è migliore di 5 ns (95 %). I segnali di buone condizioni del servizio aperto Galileo sono disponibili per oltre il 99 % del tempo per i satelliti operativi. Le prestazioni tipiche sono consultabili nelle [relazioni sulle prestazioni Galileo](#), che mostrano le statistiche degli errori tipici di determinazione della distanza di GNSS.

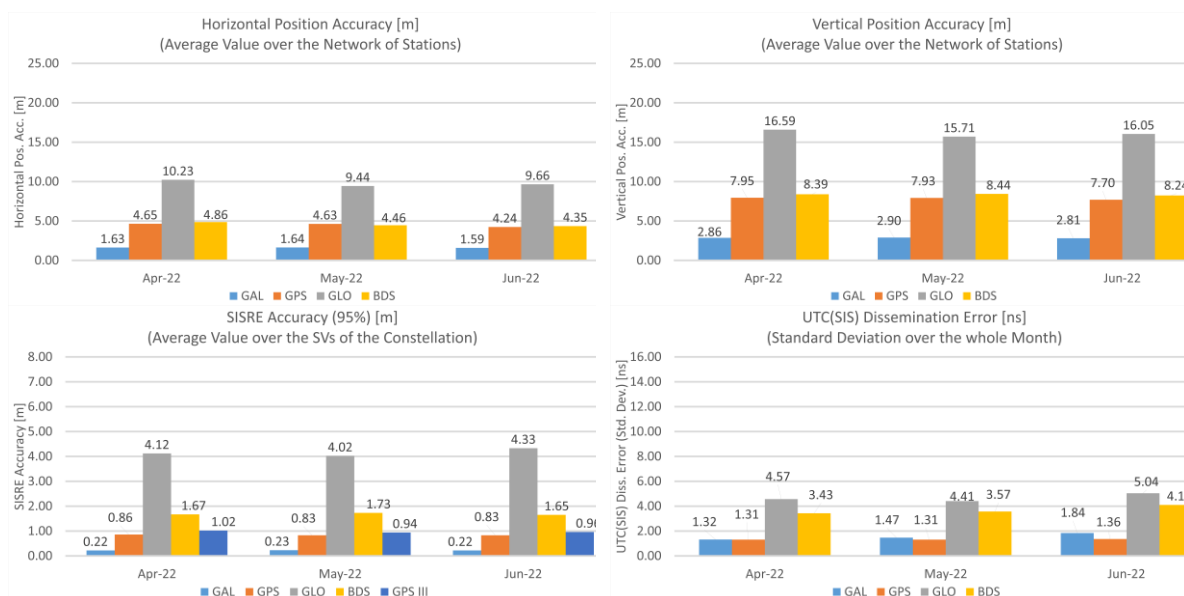


Figura 8 – Precisione di posizionamento e sincronizzazione di Galileo rispetto ad altri GNSS (GPS, GLONASS e BeiDou)

Ulteriori informazioni sul servizio aperto Galileo sono disponibili nel corrispondente [documento di definizione del servizio](#).

3.2.1.1 Autenticazione dei messaggi di navigazione del servizio aperto - OSNMA

Nell'ambito di una serie di servizi innovativi intesi ad aggiungere capacità di autenticazione, Galileo introduce una funzione unica denominata "autenticazione dei messaggi di navigazione del servizio aperto" (OSNMA). Ciò è inteso a rispondere alla chiara necessità di **soluzioni GNSS più solide e affidabili**. Gli utenti possono beneficiare di questa maggiore capacità di Galileo per mezzo di un ricevitore GNSS o di un terminale utente abilitato a trattare i dati OSNMA.

L'OSNMA di Galileo è una funzione di **autenticazione dei dati** basata su operazioni crittografiche, liberamente accessibile agli utenti di tutto il mondo e che fornisce ai ricevitori la garanzia che i dati di navigazione di Galileo ricevuti provengono dal sistema stesso e non sono stati modificati. L'OSNMA aumenta la probabilità di individuare attacchi di spoofing a livello di dati, contribuendo così in modo significativo alla **sicurezza della soluzione**. I dati OSNMA, che sono in parte imprevedibili, possono essere sfruttati anche dai ricevitori per fornire un determinato livello di protezione contro attacchi di riproduzione del segnale.

L'OSNMA fornisce i mezzi per autenticare diverse serie di dati Galileo attraverso un messaggio specifico trasmesso nell'ambito del messaggio di navigazione **I/NAV** trasmesso sulla componente di **segnale E1-B**.

Tabella 2 – Obiettivi dell'OSNMA di Galileo in termini di prestazioni

Caratteristica	OSNMA
Capacità minime del ricevitore GNSS	Frequenza singola E1
Oggetto dell'autenticazione	Dati NAV (E1B I/NAV e E5b I/NAV)
Componenti richiesti	E1B
Necessità di memorizzazione del segnale GNSS grezzo sul lato del ricevitore	Necessità di dati I/NAV
Decifrazione dei segnali di navigazione da parte del ricevitore GNSS	No
Autenticazione	Dati su orologi ed effemeridi (<i>Clock and Ephemeris Data, CED</i>), correzione ionosferica, ritardo del gruppo di trasmissione (<i>Broadcast Group Delay, BDG</i>), indicatori di stato e parametri di sincronizzazione (compensazione della sincronizzazione da GPS a Galileo (<i>GPS to Galileo Time Offset, GGTO</i>) e UTC), in ritardo
Tempo per la prima determinazione della posizione	Da uno a pochi minuti
Disponibilità dell'autenticazione	Elevata, prevista essere superiore al 95 %
Altri requisiti	Sincronizzazione temporale

La **fase di prova pubblica** dell'OSNMA è **iniziata nel 2021**. Consente ai fabbricanti di ricevitori, agli sviluppatori di applicazioni o ai ricercatori di attuare e sottoporre a prova il protocollo e di fornire un riscontro al programma Galileo. La **dichiarazione di servizio OSNMA** è prevista **per la fine del 2023**.

Il sistema Galileo di seconda generazione (**G2G**) **migliorerà la portata e la solidità** della capacità di autenticazione dell'OSNMA e la estenderà con l'autenticazione della determinazione della distanza.

Ulteriori informazioni sull'OSNMA di Galileo sono disponibili nelle pubblicazioni [Documento di controllo dell'interfaccia utente OSNMA e Orientamenti sui ricevitori OSNMA](#).

3.2.1.2 Volume del servizio di radiocomunicazioni spaziali

Originariamente progettato per offrire servizi di posizionamento, navigazione e sincronizzazione ad utenti terrestri, il **GNSS** si è dimostrato uno **strumento valido** anche **per le applicazioni spaziali**. La navigazione di veicoli spaziali in tempo reale basata su ricevitori GNSS spaziali sta diventando una tecnica comune per le orbite terrestri basse (LEO) e le orbite geostazionarie (GEO), consentendo ai **satelliti di autodeterminare la loro posizione utilizzando il GNSS**, riducendo la dipendenza da stazioni terrestri. Anche la derivazione delle misurazioni di **osservazione della Terra** dai segnali GNSS sta diventando consueta, in linea con l'elenco degli usi consolidati e potenziali dei GNSS nello spazio extra-atmosferico.

Con un numero sempre crescente di veicoli spaziali e il continuo sviluppo di soluzioni GNSS spaziali, Galileo offrirà agli utenti situati nello spazio un servizio, il **volume del servizio di radiocomunicazioni spaziali di Galileo (SSV)** nell'ambito del sistema Galileo di seconda generazione, che sarà definito in tre regioni.

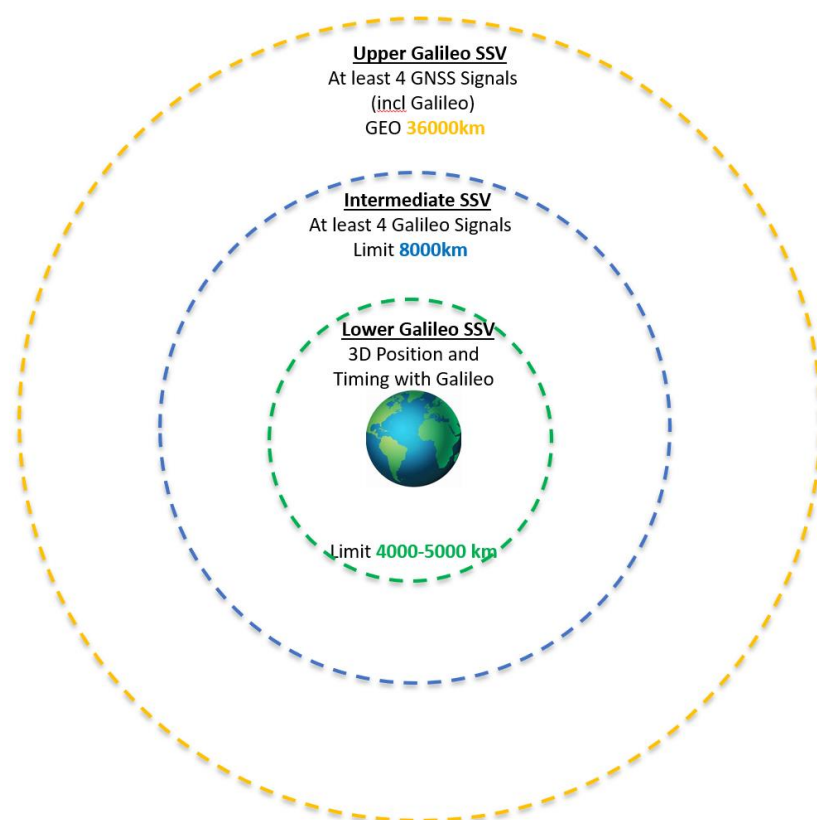


Figura 9 – Regioni del volume del servizio di radiocomunicazioni spaziali di Galileo

Il **volume del servizio di radiocomunicazioni spaziali** di Galileo fornirà il **servizio autonomamente fino a un'altitudine di circa 8 000 km** (superiore ai 3 000 km definiti nell'SSV del GPS) grazie alle orbite più elevate dei satelliti di Galileo, mentre per altitudini più elevate sarà necessaria una soluzione SSV GNSS multicostellazione. Ciò soddisferà la maggior parte delle esigenze di prestazione in termini di posizionamento e sincronizzazione degli utenti spaziali.

Inoltre la comunità internazionale sta lavorando alla **definizione di un volume del servizio di radiocomunicazioni spaziali GNSS interoperabile**, sulla base dei risultati dei lavori svolti nell'ambito del gruppo di lavoro B del Comitato internazionale delle Nazioni Unite sul GNSS (UN ICG). Nell'ambito delle attività in corso, il gruppo di lavoro sta analizzando la convenienza di elaborare norme a sostegno di utenti di GNSS, situati nello spazio.

3.2.2 Servizio ad alta precisione (HAS)

Galileo è la prima costellazione GNSS a fornire un **servizio di posizionamento ad alta precisione a livello mondiale** destinato ad applicazioni che richiedono prestazioni superiori a quelle offerte dal servizio aperto Galileo. Il servizio ad alta precisione Galileo si basa sulla fornitura di **correzioni PPP**, ossia del posizionamento a punto preciso (orbita, orologio, distorsioni, correzioni atmosferiche) a una velocità massima di 448 bps per ciascun satellite Galileo collegato a una stazione di trasmissione da terra a satellite, consentendo all'utente di ottenere un errore di **posizionamento orizzontale superiore a 20 cm (95 %)** in condizioni nominali di utilizzo.

Il servizio ad alta precisione di Galileo comprende due livelli di servizi:

- **livello di servizio 1 (SL1)** con **copertura globale** e che fornisce correzioni a precisione elevata (orbite, orologi) e distorsioni (codice e fase) per i segnali Galileo e GPS;
- **livello di servizio 2 (SL2)** con **copertura regionale** e con **correzioni SL1 più correzioni atmosferiche** (almeno ionosferiche) e potenziali distorsioni aggiuntive.

Oltre alle correzioni del servizio ad alta precisione di Galileo tramite il segnale nello spazio (E6b), si prevede che le **correzioni** saranno **distribuite anche utilizzando un canale terrestre**, al fine di fornire agli utenti (sia SL1 che SL2) una sorgente alternativa o complementare di dati di ingresso per il segnale nello spazio.

Il servizio ad alta precisione di Galileo sarà attuato in due fasi:

- **servizio iniziale** dichiarato il 24 gennaio 2023: fornitura del livello di servizio 1 con prestazioni ridotte in quanto basata unicamente sull'elaborazione di dati del sistema Galileo;
- **servizio completo** a partire dal 2026: fornitura dei livelli di servizio 1 e 2 che soddisfano le prestazioni previste.

Tabella 3 – Obiettivi di prestazione per il servizio ad alta precisione di Galileo

Caratteristica HAS	Fase 1 (Servizio iniziale)	Fase 2 (Funzionamento completo)
Copertura	SL1: UE	SL1: Mondiale SL2: UE
Tipo di correzioni	PPP – orbita, orologio, distorsioni (codice e fase)	SL1: come per fase 1 SL2: SL1 + correzioni atmosferiche
Formato delle correzioni	Formato aperto simile alla rappresentazione a spazio degli stati compatta (CSSR)	Come per fase 1
Costellazioni e frequenze supportate	Galileo E1/E5a/E5b/E6; E5 AltBOC GPS L1/L5; L2C	Come per fase 1
Precisione orizzontale/verticale 95 %	< 20 cm/< 40 cm	Come per fase 1
Tempo di convergenza	< 300 s	SL1: < 300 s SL2: < 100 s
Disponibilità	> 99 %	Come per fase 1

Il sistema Galileo di seconda generazione (**G2G**) migliorerà il servizio ad alta precisione fornendo **correzioni** di orbita e orologio **in altre bande** in aggiunta all'E6 e **potenziando diversi aspetti** quali l'aumento della velocità di bit, l'acquisizione più rapida di costellazioni GNSS supplementari e tempi di convergenza più rapidi.

Ulteriori informazioni sul servizio ad alta precisione Galileo sono disponibili nelle pubblicazioni [Documento di controllo dell'interfaccia SIS HAS di Galileo](#), [Nota informativa sull'HAS di Galileo](#) e [GSC - HAS](#).

3.2.3 Servizio commerciale di autenticazione (CAS)/Servizio di autenticazione del segnale (SAS)

Il servizio di autenticazione commerciale di Galileo si basa sulla **cifratura completa del segnale E6C** e consente l'**autenticazione di posizione, velocità e ora dell'utente** basata sulla cifratura E6C e sui dati di navigazione autenticati dall'OSNMA. Il servizio sarà fornito in modalità semi-assistita, come **ACAS** (CAS assistito).

Il concetto ACAS, che garantisce l'**autonomia** dell'utente **tra le connessioni dei server** (per ore/giorni a seconda dell'utente), si basa sull'OSNMA e richiede pertanto che il ricevitore sia non strettamente sincronizzato con l'ora del sistema Galileo.

La capacità di autenticazione della determinazione della distanza si basa sul recupero delle repliche E6C dei server che sono state cifrate nuovamente con una chiave OSNMA, poi memorizzando istantanee del segnale E6C trasmesso in momenti predefiniti e, una volta divulgata la chiave OSNMA, sulla decifratura delle repliche E6C e sull'esecuzione della correlazione con le istantanee, ottenendo misurazioni a posteriori autenticate della distanza.

Il servizio commerciale di autenticazione di Galileo sarà attuato in due fasi con i seguenti obiettivi:

- **capacità iniziale** a partire dal 2024, in cui i servizi ACAS si baseranno sulle capacità Galileo già esistenti o in fase di sviluppo (cifratura E6C, OSNMA), più servizi di assistenza integrati negli impianti di servizio di Galileo;
- **servizio completo** a partire dal 2026 con il completamento della realizzazione dell'infrastruttura terrestre.

Inoltre è in corso una valutazione della fattibilità di un CAS indipendente (**SCAS, Standalone CAS**), basato su analisi di mercato e sull'adozione dell'ACAS. Ciò richiederebbe la memorizzazione nel ricevitore di una chiave segreta simmetrica e consentirebbe l'autenticazione in tempo reale.

Per il sistema Galileo di seconda generazione, le prestazioni di tali capacità di autenticazione saranno migliorate e la denominazione sarà modificata in "servizio di autenticazione del segnale" (**SAS, Signal Authentication Service**).

Ulteriori informazioni sul servizio commerciale di autenticazione di Galileo sono disponibili sul [sito web del Centro di servizi GNSS europeo](#).

3.2.4 Servizio pubblico regolamentato (PRS)

Il servizio pubblico regolamentato di Galileo è un **servizio di navigazione criptato** per gli utenti autorizzati governativi e le applicazioni sensibili che richiedono una continuità elevata. Si tratta del servizio più sicuro tra i servizi di Galileo e fornisce **capacità PNT illimitate e senza interruzioni a livello mondiale** agli utenti autorizzati anche in situazioni di crisi.

L'accesso al servizio è **limitato ai partecipanti al PRS di Galileo**, ossia agli Stati membri, al Consiglio europeo, alla Commissione europea e al servizio europeo per l'azione esterna, nonché alle agenzie dell'Unione europea, a paesi terzi e ad organizzazioni internazionali, nella misura in cui i soggetti in questione siano stati debitamente autorizzati. I paesi terzi e le organizzazioni internazionali possono diventare partecipanti al PRS previa conclusione di accordi internazionali (le condizioni dettagliate di accesso al PRS di Galileo sono stabilite dalla [decisione n. 1104/2011/UE](#)).

Gli **Stati membri hanno piena sovranità per quanto riguarda gli utenti nazionali** autorizzati ad accedere al servizio pubblico regolamentato di Galileo così come per quanto concerne i casi d'uso e i settori di applicazione.

Soltanto tali soggetti autorizzati dal [comitato di accreditamento di sicurezza](#) possono sviluppare e fabbricare **ricevitori utenti del PRS di Galileo**. Le apparecchiature e la tecnologia PRS di Galileo sono soggette a controlli sulle esportazioni.

Il servizio pubblico regolamentato di Galileo fornisce **servizi iniziali dal dicembre 2016**, anche a fini dimostrativi, sostegno allo sviluppo tecnologico del segmento utenti del PRS e all'adozione da parte degli utenti.

Ulteriori informazioni sul servizio pubblico regolamentato di Galileo sono disponibili ai seguenti indirizzi: [GSC - PRS](#) e [Navipedia - PRS](#).

3.2.5 Servizio di emergenza (ES)

Il servizio di emergenza di Galileo, il cosiddetto servizio di avviso di emergenza, includerà nei segnali Galileo **messaggi di allerta per la popolazione minacciata da catastrofi naturali o da altre emergenze**. I ricevitori di Galileo implementati in vari dispositivi (smartphone, orologi intelligenti, palmari, cartelloni segnaletici, ecc.) riceveranno e decodificheranno tali messaggi di allerta e li visualizzeranno su schermo al fine di fornire informazioni immediate.

Questo servizio fornisce un **meccanismo supplementare** a disposizione delle autorità di protezione civile al fine di allertare la popolazione e sostiene direttamente gli obiettivi fissati nel [quadro di Sendai per la riduzione del rischio di catastrofi delle Nazioni Unite](#).

Il servizio di emergenza di Galileo presenta le seguenti **caratteristiche principali**:

- copertura globale;
- trasmissione tramite la banda di frequenza E1 di Galileo (e successivamente anche attraverso la banda di frequenza E5);
- resilienza rispetto alla distruzione terrestre essendo indipendente dalle reti di comunicazione terrestri;
- copertura di rischi multipli (ad esempio, tornado, terremoti, disastri nucleari, attacchi terroristi);
- raggiungimento della popolazione in modo tempestivo (ossia entro 2-3 minuti), indipendentemente dalle dimensioni dell'area;
- fornitura dell'ora di inizio dell'emergenza, della durata prevista e degli orientamenti rivolti ai cittadini;
- comunicazione esclusivamente alla popolazione pertinente individuata in ragione della geolocalizzazione codificata nel messaggio;
- soluzione interoperabile studiata in collaborazione con il Giappone e l'India.

Il **concetto operativo** del servizio di emergenza di Galileo è il seguente (cfr. figure che seguono):

- i centri di emergenza nazionali autorizzati generano un messaggio di allerta e lo inviano al sistema Galileo tramite un'interfaccia sicura dedicata;
- il sistema Galileo genera un messaggio di avviso di emergenza con un'ellisse che definisce l'area di destinazione. Il messaggio viene caricato su due satelliti Galileo e trasmesso alla Terra attraverso messaggi di navigazione di Galileo. Il messaggio di allerta sarà messo a disposizione anche su un server, per fini di ulteriore utilizzo e monitoraggio/archiviazione;
- il segmento utenti, dotato di un'apparecchiatura compatibile con il servizio di emergenza di Galileo, riceve, decodifica e visualizza il messaggio di emergenza. Il messaggio è visualizzato soltanto agli utenti situati all'interno dell'area soggetta all'emergenza.

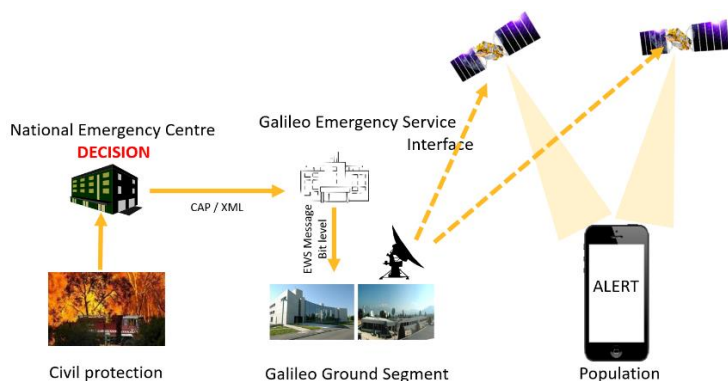


Figura 10 – Concetto operativo

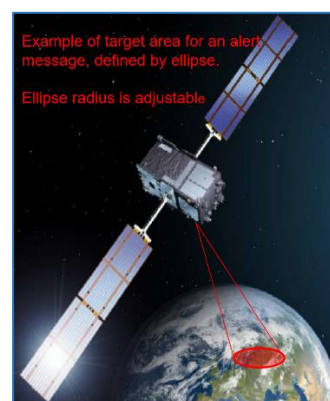


Figura 11 – Area oggetto dell'operazione sotto forma di ellisse

Nel **2023** è prevista una **fase di dimostrazione pubblica**, mentre il **servizio** di emergenza di Galileo sarà attivo **a partire dalla fine del 2024** e si evolverà nel sistema Galileo di seconda generazione.

3.2.6 Servizio di sincronizzazione (TS)

Nonostante la sincronizzazione rappresenti un mercato limitato, i servizi di sincronizzazione sono di **fondamentale importanza per i settori delle infrastrutture critiche**, quali le telecomunicazioni, l'energia e la finanza. La sincronizzazione è sfruttata anche in numerosi altri settori, quali l'aviazione, la metrologia, il telerilevamento e la ricerca atmosferica.

Il servizio di sincronizzazione (TS) di Galileo fornirà un **tempo di riferimento preciso e robusto** e provvederà alla **realizzazione del tempo universale coordinato**, agevolando lo sviluppo di applicazioni di misurazione del tempo basate su Galileo e l'uso in applicazioni critiche.

Il servizio aperto Galileo consente già la marcatura temporale di un evento in relazione all'ora del sistema Galileo e al tempo universale coordinato (UTC). Inoltre le **sorgenti dell'ora possono essere sincronizzate** tra loro (e rispetto a un riferimento temporale assoluto) utilizzando [tecniche di distribuzione dell'ora](#).

Il servizio di sincronizzazione di Galileo amplierà le attuali capacità del servizio aperto Galileo al fine di rispondere meglio alle esigenze degli utenti. Avrà le seguenti **caratteristiche principali**:

- sincronizzazione con livelli di precisione più elevati attraverso l'ora del sistema Galileo rispetto ad altri sistemi GNSS. L'attuale livello tipico di precisione della sincronizzazione è migliore rispetto a un livello di 5 ns (95 %) e sarà mantenuto e persino migliorato grazie allo sviluppo del sistema Galileo di seconda generazione;
- maggiore solidità e fiducia nel servizio di sincronizzazione di Galileo, essendo il primo GNSS a:
 - beneficiare dell'autenticazione dei messaggi di navigazione Galileo;
 - fornire indicatori specifici per gli utenti della sincronizzazione di Galileo;
 - attuare un monitoraggio specifico con vari livelli di monitoraggio.

A complemento del servizio di sincronizzazione di Galileo, sarà sviluppata una **norma europea per i ricevitori di sincronizzazione GNSS**. Tale norma sarà la prima norma mai definita per ricevitori di sincronizzazione e diventerà un elemento fondamentale per garantire le prestazioni end-to-end per gli utenti del servizio di sincronizzazione di Galileo.

Il servizio di sincronizzazione di Galileo sarà fornito nel quadro del sistema Galileo di seconda generazione a partire dal **2026**.

3.2.7 Contributo al servizio di ricerca e salvataggio (SAR)

Il sostegno di Galileo alle attività di ricerca e salvataggio (SAR) rappresenta il **contributo dell'Europa al COSPAS-SARSAT internazionale**, uno sforzo cooperativo in materia di attività umanitarie di ricerca e salvataggio. I servizi SAR individuano e localizzano radiofari di emergenza attivati da persone, aeromobili o navi in pericolo e inoltrano l'allerta alle autorità che avviano le attività di salvataggio. Il servizio SAR di Galileo riduce notevolmente il tempo necessario per individuare un radiofaro di soccorso dopo la sua attivazione (< **10 minuti**) e aumenta la precisione della localizzazione (raggio di incertezza < **5 km** e < 100 m in futuro).

Il servizio SAR Galileo è il principale contributore al sistema SAR a orbita terrestre media (MEOSAR) COSPAS-SARSAT in termini di risorse del segmento terrestre e del segmento spaziale, con **oltre 24 transponder SAR** in orbita⁴ e **4 stazioni terrestri MEOLUT** che trasmettono il segnale di soccorso alle autorità SAR. Si compone di due servizi:

- nel contesto del **servizio di collegamento di inoltro di Galileo**, i transponder Galileo SAR raccolgono i segnali emessi dai radiofari di soccorso nella banda di 406 MHz e trasmettono tali informazioni alle stazioni terrestri dedicate (MEOLUT) nella banda L a 1 544,1 MHz. Tali segnali dai satelliti alle stazioni di terra, trasmessi dai payload SAR di Galileo, sono utilizzati dai MEOLUT per generare l'ubicazione del radiofaro, che viene poi trasmessa ai primi soccorritori attraverso centri di controllo delle missioni dedicati COSPAS-SARSAT;

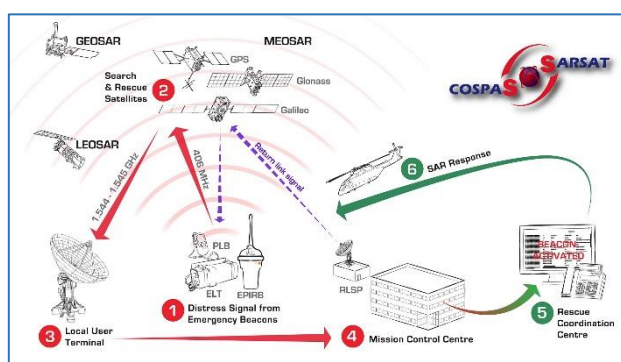


Figura 12 – Concetto operativo

- il **servizio di collegamento di ritorno (RLS) di Galileo** consente di inviare attraverso il segnale di navigazione L1 di Galileo un messaggio di riconoscimento all'utente in difficoltà indicante che l'allerta è stata rilevata e localizzata. Consente diverse funzionalità aggiuntive, quali l'**attivazione del radiofaro a distanza**, che consentirà agli utenti autorizzati (operatori aerei, centri di controllo del salvataggio marittimo) di attivare a distanza un radiofaro di soccorso in caso, ad esempio, di scomparsa dell'aeromobile o di una nave in ritardo. Questa funzionalità per le applicazioni aeronautiche è stata standardizzata nel [documento EUROCAE ED-277](#).

Inoltre è in corso di valutazione una **comunicazione a due vie** attraverso il servizio di collegamento di ritorno. Questa funzionalità consentirà agli operatori del servizio di salvataggio di scambiare messaggi attraverso domande e risposte precodificate e di inviare istruzioni (modalità di reazione) agli utenti in difficoltà dotati di radiofari COSPAS-SARSAT. Analogamente, un futuro servizio di **condivisione della posizione di soccorso** consentirebbe agli operatori del servizio di salvataggio di condividere la posizione di un utente in difficoltà con altri utenti vicini e consentirebbe operazioni di salvataggio più rapide.

Il [documento di definizione del servizio SAR di Galileo](#) descrive le caratteristiche e le prestazioni del servizio, mentre le [relazioni trimestrali sulle prestazioni del servizio SAR di Galileo](#) forniscono le prestazioni del servizio SAR di Galileo rispetto agli obiettivi di livello minimo di prestazione specificati nel documento di definizione del servizio SAR di Galileo.

Ulteriori informazioni sono disponibili nella pubblicazione [Documento di definizione del servizio SAR](#) (solo in EN), sul [sito web del GSC, nella pagina dedicata al SAR](#).

⁴ Nel 2022 la Russia dispone di 2 transponder SAR, mentre gli Stati Uniti disporranno del loro primo sistema operativo L-Band SART a partire dal GPSIII blocco B (gli attuali transponder statunitensi non trasmettono nella banda di frequenza assegnata COSPAS-SARSAT).

3.2.8 Contributo ai servizi di sicurezza della vita

Galileo contribuisce a **servizi standardizzati di monitoraggio dell'integrità o a servizi di sicurezza della vita** fornendo segnali del servizio aperto e informazioni dedicate che sono combinati con [sistemi di potenziamento](#):

- sistemi di potenziamento basati su satelliti (SBAS), quali EGNOS;
- sistemi di potenziamento basati su aeromobili (ABAS) quali il controllo autonomo dell'integrità con ricevitore (RAIM) e il controllo autonomo dell'integrità avanzato con ricevitore (ARAIM);
- sistemi di potenziamento a terra (GBAS).

L'uso dei segnali GNSS e dei suoi servizi di potenziamento è una **tecnologia fondamentale nel settore dell'aviazione** ed è stato standardizzato dall'Organizzazione dell'aviazione civile internazionale (ICAO). L'ICAO prevede evoluzioni dei sistemi di navigazione attuali, sfruttando l'ambiente multicostellazione con segnali a doppia frequenza (nelle bande E1 ed E5a).

L'**ARAIM** costituisce l'evoluzione in multicostellazione e multifrequenza del **RAIM** attuale, che si basa sul GPS e su una sola frequenza singola.

La definizione del concetto di ARAIM è stata elaborata dal gruppo di lavoro C UE-USA e successivamente formalizzata a livello internazionale nell'ambito del gruppo di esperti sul sistema di navigazione (NSP, *Navigation System Panel*) dell'ICAO. Durante lo sviluppo del concetto, il gruppo di lavoro C UE-USA ha pubblicato tre relazioni, l'ultima delle quali è la [Milestone III Report](#).

L'introduzione di ARAIM avverrà in modo incrementale:

- il primo **ARAIM orizzontale (H-ARAIM)** sosterrà la navigazione in rotta e sarà incluso nella prima versione dei MOPS DFMC;
- successivamente, l'**ARAIM verticale (V-ARAIM)** sosterrà la navigazione verticale mirata alle operazioni LPV200.

Tabella 4 – Caratteristiche principali del RAIM rispetto al V-ARAIM

	RAIM	ARAIM
Operazioni	Fino a RNP 0.1	LPV 200
Categoria di pericolo	Grave	Pericoloso
Segnali	L1CA	L1CA/E1-L5/E5a
Modello di minaccia	Solo guasto singolo	Guasti multipli
Modello di errore nominale	Trasmissione legata ad usi gaussiani mediante GPS	Distorsione gaussiana + nominale/max convalidata da un monitoraggio indipendente a terra
Costellazioni	GPS	Multicostellazione

Le operazioni ARAIM consentiranno avvicinamenti verticali fino alla CAT I/LPV-200 e quindi ridondanza nelle zone servite da SBAS e avranno anche una **copertura globale** in grado di sostenere la navigazione artica.

Galileo sostiene formalmente l'ARAIM grazie ai necessari impegni nel servizio aperto, che si rispecchiano nella documentazione del programma Galileo (documento di definizione del servizio relativo al servizio aperto, documento di controllo dell'interfaccia SIS) e nelle norme aeronautiche (norme e pratiche raccomandate dell'ICAO), ove necessario.

3.2.9 Contributo alle informazioni di meteorologia spaziale

Gli **eventi di meteorologia spaziale** connessi all'attività solare e all'interazione con la magnetosfera terrestre possono incidere tanto sulle infrastrutture terrestri quanto su quelle spaziali, provocando potenzialmente **perturbazioni o un peggioramento delle prestazioni** dei servizi satellitari a livello mondiale, causando talvolta anche danni alle apparecchiature e ai sistemi.

I GNSS possono subire fenomeni elettromagnetici, in particolare quelli che si verificano nell'ionosfera. Tra gli effetti sulla navigazione GNSS possono figurare un peggioramento dei servizi PNT, l'interruzione temporanea del servizio di posizionamento e sincronizzazione oppure la perdita completa di visibilità dei segnali di uno o più satelliti. Considerando la crescente dipendenza dalla navigazione satellitare, è sempre più importante anticipare i potenziali peggioramenti del servizio e informare/allertare gli utenti in merito agli stessi.

Attualmente **EGNOS** fornisce già una modellizzazione della ionosfera in tempo reale per l'Europa, compresi i TEC verticali (VTEC) e il loro consolidamento, mentre **Galileo** offre un modello di ionosfera a livello mondiale in tempo reale, molto più preciso del modello Klobuchar fornito nel messaggio di navigazione GPS.

Inoltre Galileo fornirà una **capacità integrata di monitoraggio e previsione** della meteorologia spaziale, consentendo di:

- quantificare e prevedere gli impatti potenziali delle prestazioni GNSS degli utenti finali mediante il monitoraggio e la previsione di:
 - indici solari e geomagnetici, quali F10.7, R12, Kp, Ap, Dst, come parametri che caratterizzano gli eventi solari e il flusso previsto di particelle verso la Terra;
 - parametri di attività della ionosfera, quali il contenuto totale di elettroni e i suoi derivati, nonché eventi di scintillazione;
 - prestazioni GNSS a livello di utente, quali errori di posizionamento e sincronizzazione, e probabilità di perdita di aggancio;
- avvertire gli utenti GNSS in tempo utile in merito a imminenti eventi gravi che potrebbero degradare o perturbare i servizi GNSS e consentire così una reazione tempestiva ai pericoli e l'attivazione di strategie di mitigazione.

Questo servizio tratterà una **notevole quantità di dati esterni** che a loro volta alimenteranno gli algoritmi di monitoraggio e previsione. Tra le categorie pertinenti di sensori figurano le reti geodetiche (ad esempio IGS, EUREF), le missioni solari e a livello di eliosfera, i sensori spaziali per i metodi dei dati di occultazione radio, altri sensori terrestri o reti (ad esempio le ionosonde) e i dati interni dell'infrastruttura del sistema Galileo/EGNOS (ad esempio stazione di ricezione Galileo).

In tutto il mondo esistono diverse piattaforme di monitoraggio della meteorologia spaziale per finalità generali, che forniscono bollettini a una serie di utenti spaziali che richiedono conoscenze in materia di meteorologia spaziale prima delle loro operazioni: volo spaziale umano, lanciatori, sorveglianza dello spazio, ecc. Questo servizio Galileo è distribuito come **piattaforma esclusiva di Galileo che fornisce la previsione delle prestazioni ai suoi utenti GNSS**.

Il programma Galileo sta attualmente introducendo questa capacità come piattaforma web nel portale del Centro servizi di Galileo.

La dichiarazione iniziale di servizio è prevista per il **2024** e nella tabella di marcia sono previste evoluzioni regolari al fine di tenere conto del miglioramento degli algoritmi di previsione o ai nuovi metodi di raccolta dei dati.

3.2.10 Tabella di marcia per i servizi di Galileo

La [Figura 13](#) fornisce una panoramica degli obiettivi della Commissione europea per i vari servizi Galileo nel periodo 2023-2025.

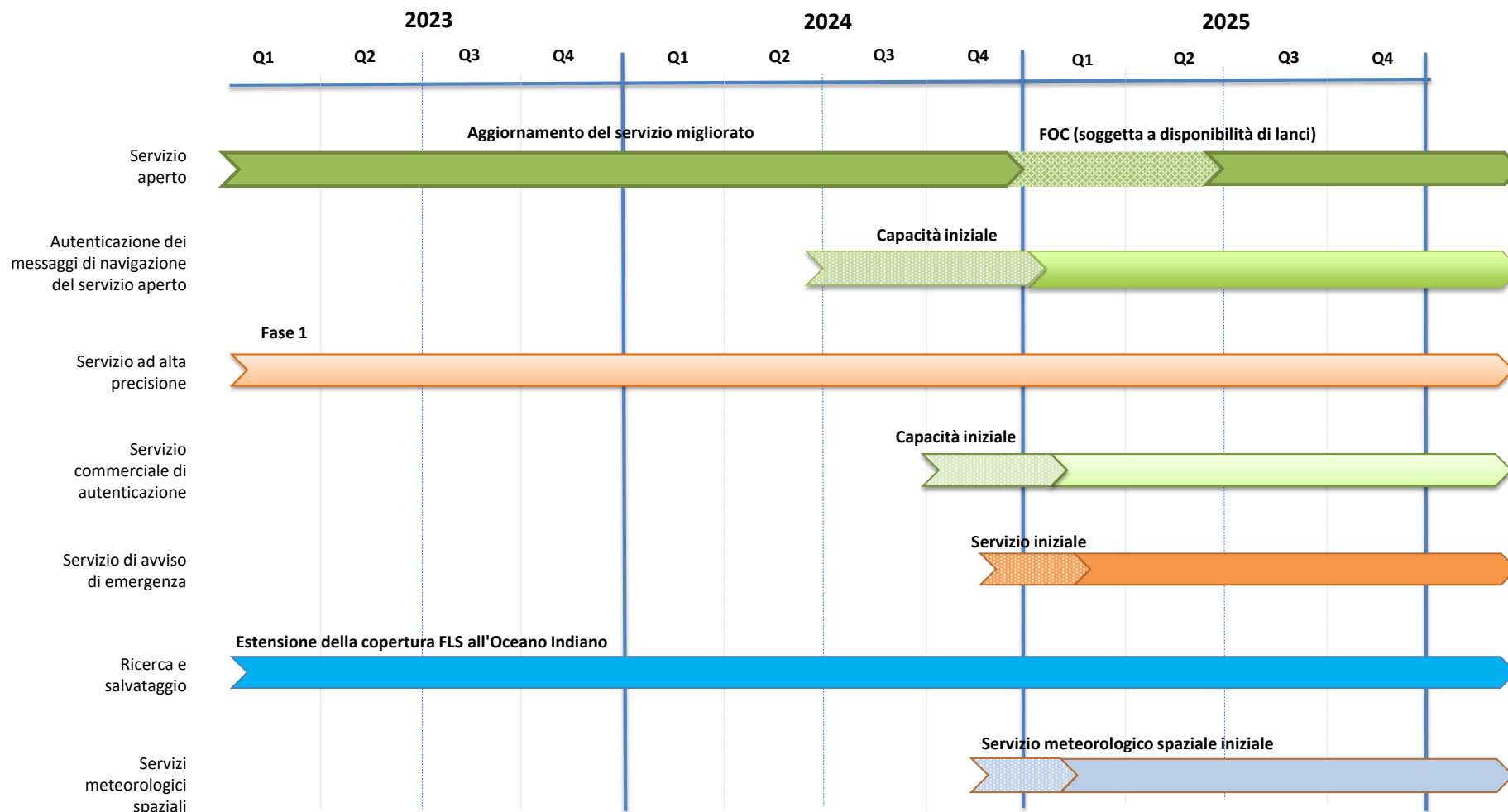


Figura 13 – Tabella di marcia per i servizi di Galileo

3.3 Servizi del EGNOS

EGNOS (Servizio europeo di copertura per la navigazione geostazionaria) è il **servizio di potenziamento basato su satelliti (SBAS) europeo** che integra i servizi di navigazione satellitare GPS (e Galileo in futuro).

EGNOS è costituito da un segmento spaziale (satelliti geostazionari), da un segmento terrestre (stazioni di riferimento, stazioni centrali e stazioni per il collegamento ascendente), da un segmento utenti (ricevitori utenti che elaborano i segnali SBAS) e da un segmento di sostegno (per sostenere la fornitura dei servizi SBAS).

Le stazioni di riferimento EGNOS sono principalmente distribuite a livello geografico in tutta Europa e ricevono segnali GNSS che trasmettono alle stazioni centrali. Poiché l'ubicazione delle stazioni di riferimento è nota con precisione, le stazioni centrali possono calcolare con precisione le correzioni su area estesa. Tali correzioni sono inviate a stazioni dedicate per la trasmissione da terra ai satelliti EGNOS che le trasmettono ai ricevitori GNSS in tutta la zona di copertura SBAS.

I servizi forniti da EGNOS comprendono:

- un **servizio aperto (OS) EGNOS** senza riscossione di diritti di utenza diretti, che fornisce informazioni di posizionamento e sincronizzazione, destinato principalmente ad applicazioni di massa di navigazione satellitare per l'uso da parte dei consumatori;
- un **servizio di accesso ai dati EGNOS (EDAS, EGNOS data access service)** senza riscossione di diritti di utenza diretti, che fornisce informazioni di posizionamento e sincronizzazione destinate principalmente ad applicazioni di navigazione satellitare per uso professionale o commerciale, e che offre prestazioni e dati migliorati con un valore aggiunto superiore rispetto a quello ottenuto mediante EGNOS;
- un **servizio di sicurezza della vita (SoL, Safety-of-Life)**, senza riscossione di diritti di utenza diretti, che fornisce informazioni di posizionamento e sincronizzazione temporale con un alto livello di continuità, disponibilità e precisione, comprendente una funzione di integrità che avverte l'utente in caso di guasti o segnali al di fuori dei parametri di tolleranza emessi da Galileo e altri GNSS, aumentati da EGNOS nella zona di copertura, destinato principalmente a utenti per cui è essenziale la sicurezza, in particolare nel settore dell'aviazione civile ai fini dei servizi di navigazione aerea, conformemente alle norme ICAO, o in altri settori dei trasporti.

I **documenti di definizione dei servizi** (SDD, *Service Definition Documents*) di EGNOS per il [servizio aperto](#), l'[EDAS](#) e il [SoL](#) descrivono le caratteristiche e le prestazioni dei servizi EGNOS.

Le [relazioni mensili sulle prestazioni di EGNOS](#) forniscono informazioni dettagliate sulle prestazioni dei servizi OS, EDAS e SoL di EGNOS per quanto concerne gli obiettivi di livello minimo di prestazione specificati nei rispettivi documenti di definizione del servizio.

Gli attuali servizi EGNOS (i cosiddetti EGNOS V2) forniscono il potenziamento del segnale GPS L1.

L'EGNOS di seconda generazione (il cosiddetto EGNOS V3) fornirà un potenziamento dei segnali GPS e Galileo L1 e L5. Le **specifiche tecniche e operative di EGNOS V3** sono stabilite mediante una [decisione di esecuzione della Commissione](#).

Ulteriori informazioni su ciascuno dei servizi sono fornite nelle sezioni successive, nonché nel [sito web del fornitore di servizi EGNOS](#) e nei relativi documenti di definizione dei servizi.

3.3.1 Servizio aperto (OS) EGNOS

Il servizio aperto EGNOS, disponibile dal **1° ottobre 2009**, fornisce **servizi di posizionamento e sincronizzazione** per gli utenti a frequenza singola dotati di un ricevitore compatibile con SBAS.

L'obiettivo principale del servizio aperto EGNOS è **migliorare la precisione di posizionamento possibile del GNSS potenziando** la precisione di determinazione della distanza dei segnali GNSS. Il potenziamento della precisione è possibile in quanto EGNOS corregge varie fonti di errore dei GNSS in materia di determinazione della distanza: gli orologi o le orbite satellitari e gli effetti ionosferici. EGNOS può inoltre rilevare distorsioni che incidono sui segnali trasmessi dai GNSS e impedire agli utenti di tracciare segnali non sani o fuorvianti che potrebbero portare a un posizionamento impreciso.

Le **prestazioni** tipiche del servizio aperto EGNOS per i territori dell'UE comprendono precisioni orizzontali e verticali migliori rispettivamente di 3 m e 4 m (95 %) e precisioni di sincronizzazione superiori a 20 ns (3 sigma) per più del 99 % del tempo.

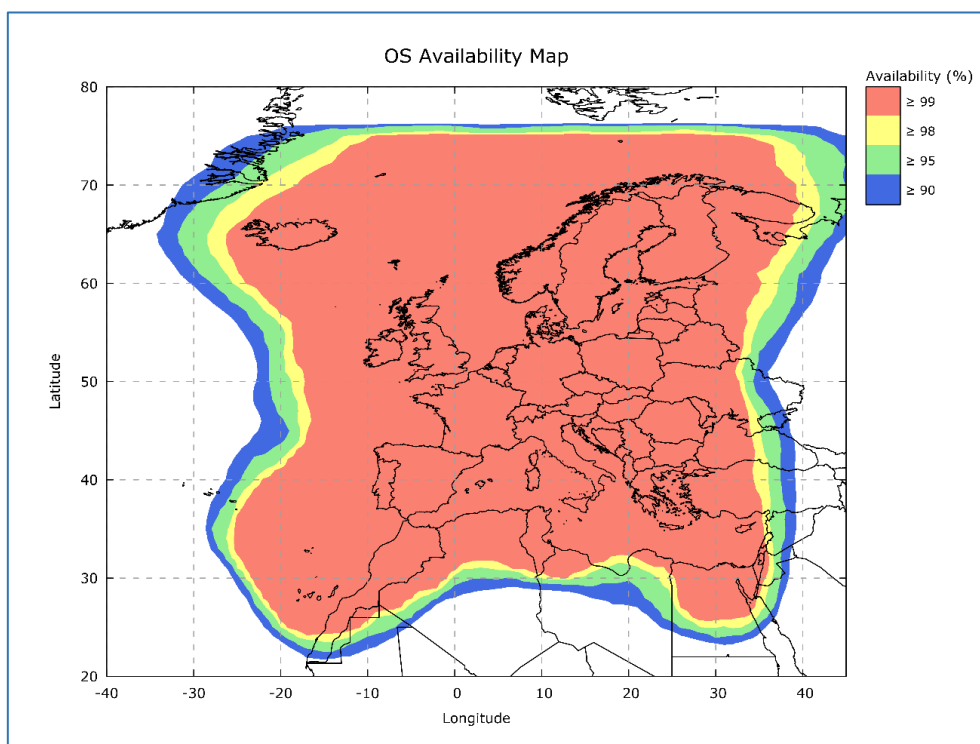


Figura 14 – Disponibilità del servizio aperto EGNOS (fonte: [SDD del servizio aperto EGNOS](#))

Il servizio aperto EGNOS è utilizzato per **finalità non critiche per la sicurezza** (ciò significa che l'assenza o l'errata informazione del servizio aperto EGNOS non può causare alcun danno personale diretto o indiretto, comprese lesioni personali o il decesso).

I principali **utenti** del servizio aperto EGNOS sono l'agricoltura di precisione, le applicazioni di trasporto come quelle marittime, ferroviarie o stradali e, in generale, qualsiasi comunità di utenti interessata a ottenere una migliore precisione di posizionamento.

3.3.2 Servizio di sicurezza della vita (SoL) EGNOS

Il servizio di sicurezza della vita (SoL) EGNOS fornisce il livello più rigoroso di prestazioni in termini di segnale nello spazio a tutte le comunità di utenti di tale servizio che necessitano di **informazioni di avvertimento migliorate e garantite in termini di prestazioni e integrità**.

È concepito su misura per **applicazioni di trasporto critiche per la sicurezza** ed è attualmente fornito alla comunità dell'aviazione e in futuro sarà fornito alla comunità marittima e ad altre comunità.

3.3.2.1 SoL EGNOS per il settore dell'aviazione

Disponibile dal **2 marzo 2011**, l'obiettivo principale del SoL EGNOS è sostenere le operazioni dell'aviazione civile fino ai minimi di prestazione per l'allineamento di pista con guida verticale (LPV) (denominate anche operazioni di avvicinamento con guida verticale).

Due **livelli di servizio del SoL EGNOS** consentono le seguenti operazioni basate su SBAS in conformità alle [norme e pratiche raccomandate dell'ICAO, annesso 10, volume I](#):

- operazioni di avvicinamento non di precisione (NPA, Non-Precision Approach) e altre operazioni di volo che supportano specifiche di navigazione PBN diverse dalle procedure di avvicinamento conformi ai requisiti delle specifiche di avvicinamento RNP (RNP APCH), non soltanto per gli avvicinamenti ma anche per altre fasi di volo;
- operazioni di avvicinamento con guida verticale (APV-I, Approach operations with Vertical Guidance) che supportano la specifica di navigazione PBN per le RNP APCH fino ai minimi LPV pari a 250 ft;
- avvicinamento di precisione di categoria I con un limite di allerta verticale (VAL, Vertical Alert Limit) pari a 35 m e che supporta la specifica di navigazione per la navigazione basata sulle prestazioni RNP APCH fino ai criteri minimi di allineamento di pista con guida verticale fino a 200 ft.

L'uso operativo del SoL EGNOS può richiedere un'autorizzazione specifica da parte delle autorità competenti dell'aviazione civile.

Il SoL EGNOS è accessibile a qualsiasi utente **dotato di un ricevitore certificato EGNOS**, conforme ai livelli minimi di prestazione operativa (MOPS) per lo SBAS dell'RTCA [DO-229](#)⁵ e situato all'interno dell'area appropriata per il SoL EGNOS corrispondente alla fase di volo in cui è utilizzato tale servizio di EGNOS (di cui all'SDD del SoL EGNOS).

Il segnale del SoL EGNOS copre anche territori al di fuori dell'UE. In tal caso, l'autorizzazione e la sorveglianza in materia di sicurezza dell'uso di EGNOS nell'aviazione civile sono di esclusiva competenza del rispettivo paese terzo. L'UE **sostiene l'uso operativo delle procedure basate su EGNOS** nei paesi terzi con un livello di sicurezza equivalente a quello del cielo unico europeo, a condizione che vi sia un accordo tra l'UE e il paese terzo sull'uso del SoL EGNOS⁶.

Le **prestazioni** tipiche del SoL EGNOS comprendono una disponibilità del servizio di approccio non di precisione migliore rispetto al 99,9 % per lo spazio aereo europeo e migliore rispetto al 99 % per i servizi APV-I e LPV-200 (fatta eccezione per le Azzorre e in parte per alcune parti delle Canarie, di Cipro e del nord della Scandinavia).

⁵ MOPS dell'RTCA DO-229 (Revisioni C, D modifica 1 o E).

⁶ All'inizio del 2023 esistevano operazioni basate su EGNOS nei seguenti paesi terzi: Norvegia, Svizzera, Baliato di Guernsey, Baliato di Jersey, Islanda, Serbia e Montenegro.

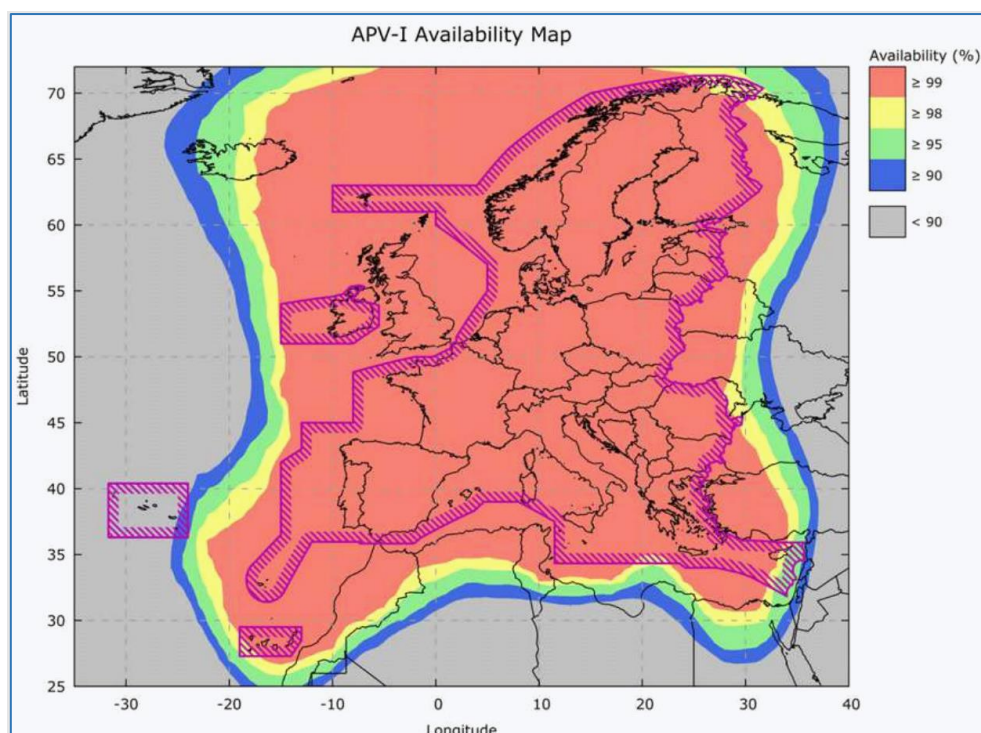


Figura 15 – Disponibilità del servizio SoL EGNOS (fonte: [SDD del servizio di sicurezza della vita di EGNOS](#))

EGNOS V3 (ossia l'EGNOS di prossima generazione) fornirà servizi migliorati secondo il seguente approccio di attuazione:

- **EGNOS v3.1**, in servizio prima del 2030, mira a garantire **la piena conformità rispetto ai requisiti stabiliti dall'ICAO in tutti i territori dell'UE** quando si utilizzano segnali GPS L1;
- **EGNOS v3.2**, in servizio intorno al 2030, mirerà a:
 - fornire servizi DFMC (doppia frequenza L1/L5, multicostellazione GPS/Galileo) con una disponibilità migliorata pari al 99,9 % per il livello di servizio LPV-200 e un nuovo livello di servizio che punta a un limite di allerta verticale (VAL) pari a 10 m, il quale può consentire l'approvazione di capacità operative supplementari;
 - estendere i servizi di tradizionali GPS L1 ai territori meridionali⁷ e orientali⁸ della politica europea di vicinato.

Inoltre l'**autenticazione dei messaggi SBAS** è attualmente in fase di inclusione nello standard SBAS DFMC e aumenterà quindi la resilienza dei servizi SBAS DFMC.

⁷ Algeria, Egitto, Israele, Giordania, Libano, Libia, Marocco, Palestina, Tunisia.

⁸ Armenia, Azerbaijan, Bielorussia, Georgia, Moldova e Ucraina.

3.3.2.2 SoL EGNOS per il settore marittimo

La fornitura di servizi EGNOS agli utenti marittimi è attuata in tre fasi:

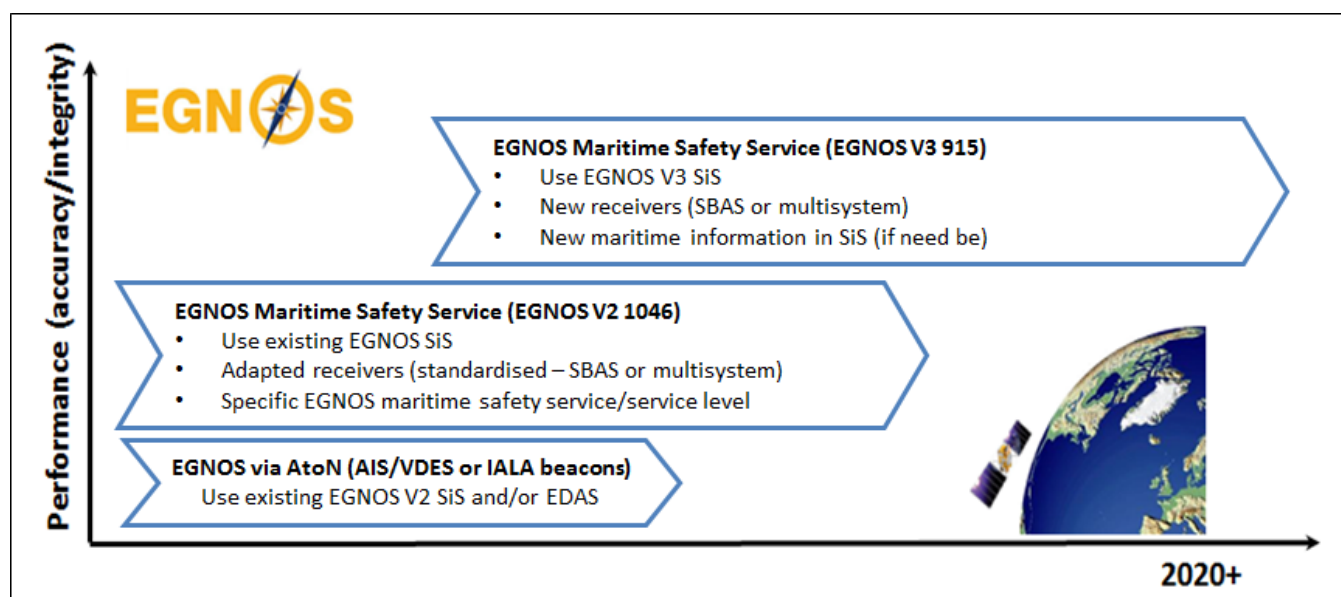


Figura 16 – Fasi di attuazione del SoL EGNOS per il settore marittimo

- **Fase 1: correzioni EGNOS trasmesse tramite gli aiuti alla navigazione esistenti (AtoN)**
L'attuale SoL L1 EGNOS è utilizzato come fonte per le correzioni differenziali trasmesse attraverso i radiofari dell'IALA e le stazioni AIS esistenti (AtoN) conformemente agli [orientamenti G1129 dell'IALA sulla ritrasmissione di correzioni SBAS utilizzando un radiofaro MF e l'AIS](#).
- **Fase 2: servizio marittimo EGNOS L1 + ricevitori L1 dedicati**
L'attuale SoL L1 EGNOS sarà adattato agli utenti marittimi fornendo le seguenti **informazioni supplementari**:
 1. impegni relativi al segnale nello spazio in merito ad errori relativi alla determinazione della distanza (orbite + orologio) ed errori ionosferici;
 2. allerte relative all'integrità (allarmi di sistema, satellitari e relative alla ionosfera);
 3. informazioni sulla sicurezza marittima destinate ad informare in merito alle indisponibilità pianificate/non pianificate.

È inoltre in fase di sviluppo una **norma di prova IEC per gli SBAS in ricevitori di bordo (IEC 61108-7)** che consentirà di ottenere il certificato di omologazione del ricevitore per il trattamento di questo servizio marittimo L1 di EGNOS.

Questo servizio sarà utilizzato dai ricevitori a bordo di navi per calcolare una soluzione di navigazione in linea con i requisiti operativi di cui alla [risoluzione A.1046 dell'IMO](#) per la navigazione marittima nelle acque oceaniche, negli accessi in porto, negli avvicinamenti ai porti e nelle acque costiere.

Tabella 5 – Risoluzione A.1046 dell'IMO sui requisiti operativi

	Acque oceaniche	Accesso al porto, avvicinamento al porto e acque costiere
Precisione (95 %)	100 m	10 m
Integrità del sistema (intervallo di tempo fino all'allarme)	Non appena possibile mediante informazioni sulla sicurezza marittima	Entro 10 s
Disponibilità del segnale	99,8 %	99,8 %
Continuità	n.d.	99,97 % (oltre 15 minuti)

La dichiarazione di questo servizio marittimo EGNOS è prevista per la **fine del 2023**.

- **Fase 3: servizio marittimo DFMC di EGNOS + nuovi ricevitori multisistema dedicati di radionavigazione di bordo (MSR)**

Il futuro servizio DFMC di EGNOS consentirà di **migliorare la navigazione** ai sensi delle risoluzioni [A.915\(22\)](#) e [A.1046\(27\)](#) dell'IMO negli ingressi in porto, negli avvicinamenti ai porti e nelle acque costiere, se elaborati da ricevitori personalizzati multisistema di radionavigazione a bordo di navi.

3.3.2.3 Servizio ferroviario di EGNOS per la localizzazione di treni

L'introduzione dei servizi EGNOS per le **applicazioni legate alla sicurezza** ferroviaria **dovrebbe aumentare la sicurezza, aumentare** la capacità della rete ferroviaria, riducendo nel contempo i costi operativi.

L'inclusione di EGNOS nel sistema europeo di gestione del traffico ferroviario (ERTMS) e la definizione di questo servizio ferroviario EGNSS per la localizzazione dei treni sono attualmente allo studio.

3.3.3 Servizio di accesso dati EGNOS (EDAS)

L'EDAS è il **punto unico di accesso a terra per i dati EGNOS**, compresi quelli generati dall'infrastruttura terrestre EGNOS, principalmente stazioni di determinazione della distanza e monitoraggio dell'integrità (RIMS) e stazioni terrestri di navigazione terrestre.

I servizi EDAS sono **accessibili via Internet** indipendentemente dal fatto che l'orbita terrestre geostazionaria di EGNOS sia o meno in vista. Ciò è particolarmente importante nei canyon urbani, nelle zone montane o in altre aree con limitata visibilità dei satelliti GEO.

L'EDAS è **accessibile agli utenti registrati** nei paesi partecipanti a EGNOS (Stati membri, Norvegia, Svizzera e Islanda) e ad altri utenti previa registrazione e autorizzazione da parte della Commissione europea.

Inoltre le infrastrutture di trasmissione marittime e per vie navigabili interne esistenti (radiofari IALA e/o stazioni di base AIS) possono fare affidamento sulla **ritrasmissione delle correzioni DGPS sulla base dell'EDAS**.

L'EDAS è disponibile gratuitamente dal **26 luglio 2012** e può essere utilizzato soltanto per finalità non critiche per la sicurezza.

3.4 Politiche e azioni raccomandate dell'UE in materia di PNT

Questa sezione si concentrerà sulle principali politiche e azioni dell'UE in materia di PNT e comprenderà:

1. una **sintesi**, per segmento di mercato, **delle principali iniziative dell'UE in materia di PNT**, con un'enfasi sul ruolo dei servizi GNSS europei;
2. **raccomandazioni**, anche per la regolamentazione o la normazione, al fine di:
 - o facilitare l'uso di Galileo ed EGNOS nei pertinenti segmenti di mercato;
 - o aumentare la resilienza dei servizi PNT, in particolare per le infrastrutture critiche.

La presente sezione affronta altresì la raccomandazione n. 4, lettera c), della [relazione speciale n. 07/2021](#) della Corte dei conti europea. La tempistica per ciascun segmento di mercato per tali servizi, in cui la regolamentazione o la standardizzazione possono facilitare l'uso di Galileo, è trattata nel dettaglio nell'[APPENDICE C. Normative e norme](#). Le future versioni del piano europeo di radionavigazione rispecchieranno l'evoluzione dell'uso di Galileo in diversi segmenti di mercato.

Prima di discutere le politiche dell'UE in materia di PNT per segmento di mercato, la [Figura 17](#) illustra in che modo i sistemi PNT sono solitamente utilizzati per i vari segmenti di mercato:

- partendo dal **cerchio interno**, i servizi dei sistemi **GNSS globali e regionali** sono oggi ampiamente utilizzati in tutti i segmenti di mercato e possono essere considerati la spina dorsale di tutti i servizi PNT. Il motivo è costituito dal costo relativamente basso, dalle prestazioni eccellenti e dalla facilità d'uso dei ricevitori GNSS;
- il secondo cerchio mostra i servizi offerti dai sistemi **GNSS di potenziamento** che servono anche tutti i segmenti di mercato e forniscono prestazioni migliori per i servizi a valore aggiunto (ad esempio l'integrità per le applicazioni di sicurezza della vita o una precisione elevata nel PPP);
- il cerchio esterno mostra come i sistemi **convenzionali PNT** siano utilizzati principalmente nei settori aereo e marittimo, mentre le **tecnologie emergenti** hanno il potenziale di servire tutti i segmenti di mercato, compresi gli ambienti in cui l'uso di servizi GNSS è più impegnativo (ad esempio gli ambienti chiusi).

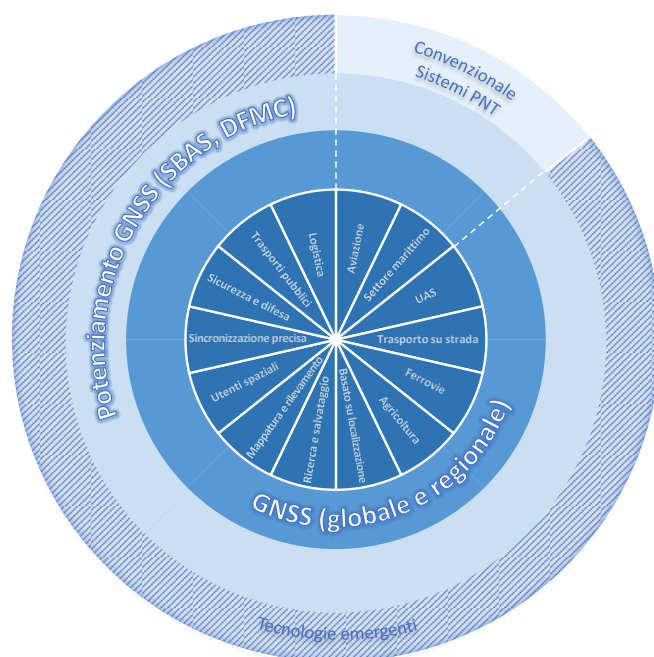


Figura 17 – Panoramica delle tecnologie suddivise per settore

3.4.1 Resilienza delle infrastrutture critiche europee

Garantire la **resilienza dei soggetti che utilizzano infrastrutture critiche per fornire servizi essenziali** rimane una delle priorità dell'Unione europea e dei suoi Stati membri. La [strategia dell'UE per l'Unione della sicurezza](#) per il periodo 2020-2025 e il [programma di lotta al terrorismo dell'UE](#) hanno entrambi sottolineato l'importanza di garantire la resilienza delle infrastrutture critiche in relazione a rischi fisici e digitali. La pandemia di COVID-19 ha messo in evidenza gravi e complesse minacce per i servizi da cui dipendono la vita dei cittadini europei e il buon funzionamento del mercato interno. La resilienza delle infrastrutture critiche è evidenziata nelle dichiarazioni politiche chiave, quali la [dichiarazione di Versailles](#) dei leader dell'UE.

La [Commissione europea sostiene gli Stati membri](#) nel garantire la resilienza a vari livelli:

- la [direttiva \(UE\) 2022/2557 sulla resilienza dei soggetti critici](#), che stabilisce l'obbligo di individuare i soggetti critici in diversi settori, al fine di rafforzarne la resilienza, garantendo che i servizi essenziali per il mantenimento di funzioni vitali della società o di attività economiche siano forniti senza impedimenti nel mercato interno.

Questa direttiva rafforzerà la resilienza rispetto a una serie di minacce, **garantendo che i soggetti critici possano prevenire, resistere, assorbire incidenti perturbatori e riprendersi dagli stessi**, indipendentemente dal fatto che siano causati da pericoli naturali, attacchi terroristici, minacce interne o sabotaggio, nonché emergenze di sanità pubblica quali la recente pandemia di COVID-19. La direttiva rispecchia la realtà operativa sempre più complessa, il cambiamento di prospettiva dalla "protezione" alla "resilienza" nel mondo accademico, nell'industria e nell'elaborazione delle politiche. La direttiva sulla resilienza dei soggetti critici non contempla i rischi per la cbersicurezza.

A fronte di un panorama dei rischi sempre più complesso, la direttiva ha un ambito di applicazione settoriale più ampio che consentirà agli Stati membri e ai soggetti critici di affrontare meglio le interdipendenze e i potenziali effetti a cascata di un incidente. **Sono contemplati undici settori:** energia, trasporti, settore bancario, infrastrutture dei mercati finanziari, salute, acqua potabile, acque reflue, infrastrutture digitali, enti della pubblica amministrazione, spazio e produzione, trasformazione e distribuzione di alimenti.

I servizi PNT e la loro resilienza sono pertinenti per numerosi dei settori contemplati dalla direttiva, in particolare per i trasporti, l'energia, le telecomunicazioni e la finanza, e dovrebbero pertanto essere valutati nell'ambito delle **valutazioni dei rischi** che devono essere effettuate dai soggetti critici e delle **misure volte a rafforzare la resilienza** attuate ove necessario. Poiché la direttiva sulla resilienza dei soggetti critici riguarderà anche i segmenti terrestri delle infrastrutture spaziali gestite dagli Stati membri o da operatori privati, aumenterà anche la resilienza dei soggetti che forniscono PNT ad altri settori dell'economia.

Infine tale direttiva costituisce il terreno per una **più stretta cooperazione a livello di UE** e funge da punto di riferimento anche per le attività legislative e normative in materia di infrastrutture critiche al di fuori dell'UE;

- la [direttiva \(UE\) 2022/2555](#) (direttiva NIS 2), che stabilisce misure per un livello comune elevato di cbersicurezza nell'Unione per gli stessi soggetti individuati a norma della direttiva sulla resilienza dei soggetti critici. Rafforzerà il livello generale di cbersicurezza nell'UE promuovendo una cultura della sicurezza in tutti i settori e garantendo la preparazione e la cooperazione degli Stati membri (ad esempio imponendo l'obbligo di creare un team di risposta agli incidenti di sicurezza informatica (CSIRT) e creando un [gruppo di cooperazione](#) al fine di sostenere e agevolare la cooperazione strategica e lo scambio di informazioni tra gli Stati membri);
- nell'ottobre del 2022 la Commissione europea ha adottato una [proposta di raccomandazione del Consiglio per rafforzare la resilienza delle infrastrutture critiche dell'Unione](#). La priorità è data ai settori chiave dell'energia, delle infrastrutture digitali, dei trasporti e dello spazio;

- il [regolamento delegato \(UE\) 2022/30 della Commissione](#), che impone requisiti in materia di cibersicurezza, protezione della vita privata e tutela dalle frodi a determinate categorie di apparecchiature radio, comprese quelle utilizzate nell'ambito di infrastrutture critiche, come condizione per la loro immissione sul mercato dell'UE. L'evoluzione di questo atto giuridico costituirà la [legge sulla ciberresilienza](#).

3.4.2 Green Deal europeo

L'Europa si è prefissa di affrontare la **sfida globale dei cambiamenti climatici e del degrado ambientale** e svolgerà un ruolo determinante nell'invertire i danni, proteggere, preservare e ripristinare la biodiversità e gli ecosistemi, attenuando l'impatto dei cambiamenti climatici che le pratiche umane hanno indotto, sostenendo nel contempo la ripresa del pianeta. L'impegno dell'Europa è stato reso evidente da diversi accordi, iniziative, politiche e regolamenti nel corso degli anni. La strategia di crescita sostenibile rivoluzionaria, nota come [Green Deal europeo, e le sue iniziative](#) mirano a conseguire la neutralità climatica entro il 2050 in modo equo e inclusivo, incoraggiando un'economia a basse emissioni di carbonio e resiliente ai cambiamenti climatici. Il Green Deal contribuisce a progredire verso un'economia del benessere che restituisca al pianeta più di quanto prenda, e ad accelerare la transizione a un'economia circolare priva di sostanze tossiche, in cui la crescita è rigenerativa e le risorse sono utilizzate in modo efficiente e sostenibile.

Il Green Deal europeo richiede capacità, strumenti e servizi per monitorare le emissioni antropiche di carbonio, ma anche per monitorare, analizzare, prevedere e attenuare l'impatto delle attività umane sulla qualità del suolo, dell'aria e dell'acqua. L'utilizzo dei **dati di osservazione della Terra e meteorologici**, unitamente ai dati in situ (ad esempio sensori terrestri, ecc.) e ad altri dati non basati su satelliti (ad esempio dati mobili, statistiche, ecc.), offre una capacità unica di monitorare, su scala globale ma sufficientemente precisa, lo stato e i cambiamenti dell'ambiente, informando le politiche e ulteriori azioni di attenuazione e adattamento.

L'occultazione radio GNSS fornisce profili di vapore acqueo in situ ed è utilizzata per **migliorare le previsioni meteorologiche**; inoltre le osservazioni GNSS consentono di stimare le proprietà geodetiche della Terra (campo magnetico, atmosfera) che **sostengono la modellizzazione climatica**. Il GNSS fornisce inoltre una determinazione precisa dell'orbita dei satelliti LEO ambientali che monitorano i cambiamenti climatici della Terra.

Il programma spaziale dell'UE è un pilastro delle trasformazioni spaziali verso un pianeta più sano, anche grazie ai **dati PNT avanzati** forniti da Galileo ed EGNOS. Genera benefici ambientali con un effetto positivo sugli obiettivi e sulle attività del Green Deal europeo, ad esempio:

- nel **settore del trasporto aereo e marittimo**, il GNSS consente la definizione di rotte di viaggio efficienti che porta alla **riduzione** del consumo di carburante e delle relative **emissioni di gas a effetto serra**, ad esempio grazie al minor tempo impiegato dagli aerei in arrivo quando si muovono in cerchio sugli aeroporti in attesa di una pista di atterraggio.

Inoltre un monitoraggio preciso della posizione dell'aeromobile, delle condizioni meteorologiche e della presenza di aree sovrassature di ghiaccio ridurrebbe la generazione di **scie di condensazione persistenti e i relativi effetti diversi da quelli legati alla CO₂**;

- nel **settore agricolo** il GNSS consente la guida automatica delle macchine agricole e riduce la compattazione del suolo, migliorando la salute del suolo e la sua capacità di stoccare carbonio;
- nel **settore ferroviario** i sistemi di consulenza per i macchinisti basati su GNSS ottimizzano la conduzione dei treni e riducono il consumo di energia di trazione e quindi le emissioni di gas a effetto serra;

- nel **settore stradale** il GNSS consente percorsi più brevi e più efficienti, il che riduce il tempo di utilizzo di un motore di un veicolo e, di conseguenza, riduce l'impatto in termini di emissioni di carbonio di ciascun viaggio;
- nel **settore della distribuzione dell'energia**, il GNSS consente una misurazione del tempo e una sincronizzazione precise dell'infrastruttura di trasmissione della potenza. Ciò è fondamentale per la proliferazione delle reti intelligenti e per il mantenimento di una frequenza di tensione precisa, necessaria in ragione dell'aumento dell'uso di energie rinnovabili per la transizione verde;
- nel **monitoraggio delle infrastrutture offshore** (ad esempio turbine eoliche o piattaforme petrolifere) il GNSS consente un funzionamento più efficiente dei droni rispetto ai mezzi tradizionali che riducono drasticamente le emissioni di gas a effetto serra.

3.4.3 Aviazione con equipaggio

I sistemi **PNT** (in particolare i GNSS e i loro sistemi di potenziamento SBAS, ABAS e GBAS) **svolgono un ruolo fondamentale nel settore dell'aviazione** per i sistemi e le applicazioni di comunicazione, navigazione e sorveglianza (CNS) che sostengono la gestione del traffico aereo (ATM) e aumentano la capacità aeroportuale e l'efficienza ambientale ed economica (ad esempio, minore impatto acustico, rotte più efficienti, risparmio di carburante e di emissioni), garantendo nel contempo la sicurezza:

- nel **contesto delle comunicazioni**, un **riferimento temporale affidabile**, come quello basato sul GNSS, è fondamentale per applicazioni quali la sincronizzazione delle reti terrestri e le comunicazioni controllore-pilota tramite collegamento dati (CPDLC, *Controller Pilot Data Link Communications*) che consentono le comunicazioni di controllo del traffico aereo (ATC) tramite collegamento dati;
- nel contesto della **sorveglianza**, il sistema di sorveglianza completa, dai sensori al controllo del traffico aereo, utilizza un **unico riferimento temporale**, garantendo che le decisioni in materia di controllo del traffico aereo siano prese sulla base di informazioni di sorveglianza affidabili (come inconveniente, i GNSS diventano un'unica modalità di guasto, aumentando la necessità di servizi di sincronizzazione alternativi). I benefici delle prestazioni dei GNSS sono riconosciuti attraverso la trasmissione di sorveglianza dipendente automatica (ADS-B) che integra le informazioni GNSS. Ad esempio, il [mandato degli Stati Uniti in materia di ADS-B](#) richiede di fatto il ricorso a SBAS per garantire la fattibilità delle operazioni. Infine l'ADS-B basata sul posizionamento GNSS può consentire la razionalizzazione dell'infrastruttura SSR;
- nel settore della **navigazione**, il GNSS è essenziale per attuare la navigazione basata sulle prestazioni (PBN). Tra le operazioni di navigazione, gli avvicinamenti secondo le prestazioni di navigazione richieste fino ai criteri minimi di allineamento di pista con guida verticale (LPV) costituiscono la funzione più essenziale fornita dalla tecnologia SBAS, i cosiddetti **avvicinamenti LPV** (ossia avvicinamenti 3D che forniscono una guida laterale e verticale analogamente agli avvicinamenti con sistema di atterraggio strumentale (ILS) di CAT I ma senza infrastrutture di radionavigazione terrestri in loco). Se i criteri minimi per l'operazione di avvicinamento sono inferiori al tetto, l'operazione è fattibile, **riducendo al minimo le perturbazioni** (ossia cancellazioni, ritardi o deviazioni verso altri aeroporti) e **migliorando la sicurezza, l'efficienza e l'accessibilità**. I criteri minimi fino a 250 ft e 200 ft possono essere ottenuti rispettivamente alle piste di avvicinamento non di precisione e di precisione, e in entrambi i casi è possibile volare il segmento di avvicinamento finale fino a 100 ft o addirittura giungere al contatto con la pista senza contatto visivo con l'ambiente della pista quando **si combina l'uso di SBAS con aeromobili dotati di sistema di miglioramento della visione di volo** (EFVS, *Enhanced Flight Vision System*), a condizione che l'EFVS a bordo presenti le caratteristiche adeguate e che vi sia un'approvazione speciale da parte dell'autorità nazionale competente.

È opportuno ricordare che il GNSS non solo apporta un valore aggiunto in relazione ai sistemi a terra, ma è ampiamente utilizzato anche dai **sistemi a bordo** e dalle applicazioni degli aeromobili, in particolare per fini di sincronizzazione.

Inoltre **altri benefici dell'utilizzo di GNSS** sono ulteriormente descritti nella [relazione sulle esigenze e sui requisiti degli utenti dell'aviazione](#), come gli [avvicinamenti basati su SBAS a piste non strumentali](#) per ambienti dell'aviazione generale (di norma aeroporti di piccole dimensioni che operano secondo le regole del volo a vista), le [operazioni con aeromobili ad ala rotante](#) spesso in condizioni non ottimali per le operazioni di ricerca e salvataggio (SAR) o i servizi medici di emergenza con elicottero ([HEMS](#), *Helicopter Emergency Medical Services*) e [l'uso dell'altitudine geometrica](#) basata su SBAS per lo sviluppo di sistemi migliorati di avviso al suolo, come nel caso dell'impianto avanzato di avviso di prossimità del terreno ([EGPWS](#), *Enhanced Ground Proximity Warning System*) rispetto al sistema classico di avviso e anticollisione ([TAWS](#), *Terrain Avoidance and Warning System*), nonché il monitoraggio delle altitudini barometriche.

In futuro, l'inclusione della configurazione **DFMC di Galileo ed EGNOS** apporterà ulteriori benefici all'aviazione, quali prestazioni migliori (ad esempio una disponibilità e una continuità maggiori), aree di servizio SBAS più ampie, livelli di protezione più bassi ossia operazioni più avanzate, la capacità di sostenere operazioni di CAT III basate sul GBAS a tutte le latitudini e una maggiore solidità rispetto all'interferenza di radiofrequenza; altrimenti sosterrà una mitigazione delle vulnerabilità a livello di ionosfera o sostegno ad applicazioni future quali la navigazione 4D tramite la sincronizzazione GNSS.

Vi sono alcune iniziative importanti volte a facilitare l'uso di GNSS per la gestione del traffico aereo europeo. Il [piano generale ATM europeo](#) definisce la **tabella di marcia per l'uso di EGNOS e di Galileo, in combinazione con il GPS, per le diverse fasi di volo** (nell'ambito dei sistemi di comunicazione, navigazione e sorveglianza). La sua tabella di marcia in materia di comunicazione, navigazione e sorveglianza comprende tappe fondamentali per l'uso operativo dei sistemi che potenziano i sistemi GPS e Galileo: EGNOS V3 (DFMC SBAS), RAIM avanzato (A-RAIM) e GBAS.

Il [regolamento di esecuzione \(UE\) 2018/1048 della Commissione](#) (il regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni) impone l'attuazione graduale delle rotte e delle procedure di avvicinamento per la **navigazione basata sulle prestazioni (PBN)** per migliorare la progettazione dello spazio aereo, sostenendo in tal modo operazioni di aeromobili più sicure, più ecologiche e più efficienti, migliorando nel contempo l'efficienza in termini di costi. A partire dal 2030 impone che tutte le rotte strumentali standard di partenza (SID) e di arrivo (STAR) siano basate esclusivamente sulla PBN, con i GNSS come mezzo principale di navigazione, e rende gli SBAS il mezzo principale di navigazione per le operazioni CAT I. Impone inoltre **l'attuazione di procedure di avvicinamento PBN, comprese le procedure EGNOS** (procedure LPV) in tutti i fine pista strumentali europei (IRE, *Instrumental Runway End*) entro il 2020 (fine pista strumentali senza avvicinamento di precisione) e il 2024 (fine pista strumentali con avvicinamento di precisione).

Inoltre, e con l'obiettivo di consentire la **razionalizzazione dell'infrastruttura di navigazione convenzionale** e di garantire anche un livello minimo di servizio con un livello accettabile di sicurezza in caso di emergenza (ad esempio indisponibilità di GNSS), il regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni esclude espressamente l'uso di procedure di navigazione convenzionali a decorrere dal 6 giugno 2030, fatta eccezione in caso di emergenze PBN, ossia in situazioni nelle quali, per motivi imprevisti che esulano dal controllo dei fornitori di servizi ATM/ANS, il GNSS o altri metodi utilizzati per la navigazione basata su prestazioni non siano più disponibili. Per questi casi eccezionali, il regolamento sulla navigazione basata sulle prestazioni impone il mantenimento di una rete operativa minima (MON) di ausili alla navigazione convenzionale (ad esempio ILS, VOR, DME) per garantire che i servizi di navigazione possano comunque essere forniti senza compromettere la sicurezza in caso di emergenza.

Di conseguenza, a partire dal 6 giugno 2030, il GNSS sarà il mezzo nominale di navigazione nello spazio aereo europeo per tutte le fasi di volo fino alla CAT I compresa, integrato da sistemi di atterraggio GBAS e ILS CAT II/III, ove necessario ([transizione verso operazioni di navigazione basata sulle prestazioni](#)).

Oltre agli interventi normativi come il regolamento sulla navigazione basata sulle prestazioni, l'Unione europea sta agevolando l'adozione dei sistemi PNT e del GNSS europeo nelle politiche in materia di aviazione:

- **sostenendo, anche attraverso finanziamenti, l'attuazione e la conformità rispetto a tale regolamento** attraverso diverse azioni volte a facilitare tanto l'equipaggiamento della flotta europea con ricevitori abilitati al GNSS quanto l'attuazione da parte di fornitori di servizi di navigazione aerea di procedure basate sul GNSS;
- **ampliando l'ambito di applicazione dell'EGNSS per** le operazioni di aeromobili ad ala rotante, approcci basati su SBAS presso piste non strumentali e sviluppo di [strumenti a sostegno dell'attuazione di EGNOS](#);
- **finanziando programmi** a sostegno delle attività di ricerca e sviluppo in materia di applicazioni GNSS, come il progetto SESAR;
- lavorando all'inclusione di **Galileo ed EGNOS multicostellazione a doppia frequenza (DFMC) nelle norme** in materia di segnale nello spazio **nel settore dell'aviazione** di cui all'annesso 10, volume I, dell'ICAO e nelle norme relative ai ricevitori EUROCAE (per i sistemi di potenziamento SBAS, A-RAIM e GBAS).

Inoltre, in Europa sono in corso attività (ad esempio SESAR, EUROCAE, EUROCONTROL) volte a definire **tecnologie PNT complementari** che **potrebbero fornire servizi PNT sicuri e resilienti**, offrendo un **backup efficace in caso di perturbazione dei GNSS** e garantendo così la continuità delle operazioni. A breve termine, tali attività si concentreranno sul miglioramento dell'infrastruttura e sulla fornitura di servizi di misurazione della distanza, che probabilmente sosterranno l'RNP 1. A lungo termine, una combinazione adeguata di sistemi PNT complementari dovrebbe offrire servizi PNT garantiti, fornendo protezione contro minacce alla sicurezza e alla protezione dei sistemi PNT, ottimizzando nel contempo l'uso dello spettro radio di tali sistemi, in linea con la [risoluzione A41-8C dell'Assemblea dell'ICAO](#).

3.4.4 Aviazione senza equipaggio

Il mercato dei sistemi aeromobili senza equipaggio (UAS o droni) è cresciuto rapidamente negli ultimi anni. L'ICAO ha istituito il [gruppo di esperti sui sistemi aerei a pilotaggio remoto \(RPASP, Remotely Piloted Aircraft Systems Panel\)](#) affinché elabori le **norme necessarie per i voli internazionali** e il [gruppo consultivo sui sistemi aerei a pilotaggio remoto \(UAS-AG, Unmanned Aircraft Systems Advisory Group\)](#) affinché consigli il segretariato dell'ICAO nell'elaborazione di materiali di orientamento. L'ICAO sta inoltre istituendo un [gruppo di studio sulla mobilità aerea avanzata](#) affinché fornisca orientamenti analoghi a sostegno dello sviluppo della mobilità aerea avanzata e urbana. I sistemi PNT saranno un fattore abilitante chiave per numerose applicazioni UAS, analogamente all'aviazione con equipaggio (ad esempio, sostegno PNT ad applicazioni di comunicazione, navigazione e sorveglianza).

In Europa il [regolamento \(UE\) 2018/1139](#) (il *regolamento di base dell'AESA*) ha esteso l'ambito delle competenze dell'AESA a tutti gli aeromobili senza equipaggio, indipendentemente dal loro peso e dalle loro dimensioni, e ha introdotto un approccio basato sul rischio e incentrato sulle operazioni alla regolamentazione della sicurezza dell'aviazione, in particolare per i droni. I successivi [regolamenti \(UE\) 2019/947](#) e [2019/945](#) stabiliscono [il quadro per l'esercizio in sicurezza dei droni civili nei cieli europei](#), distinguendo tre categorie per le operazioni UAS a seconda del rischio operativo associato: categoria "**aperta**" (per le operazioni a basso rischio), categoria "**specificata**" (per le operazioni a medio rischio) e categoria "**certificata**" (per le operazioni a rischio più elevato, compreso il trasporto di persone o di merci pericolose).

Per la [categoria certificata](#), gli aeromobili senza equipaggio (certificati) che volano secondo le regole del volo strumentale saranno soggetti ai medesimi requisiti per l'utilizzo dello spazio aereo e alle medesime procedure operative degli aeromobili con equipaggio e tali requisiti e procedure sono in corso di revisione per garantire che tutte le particolarità dei droni siano adeguatamente trattate. Gran parte della precedente

sezione 3.4.3 sull'aviazione con equipaggio si applicherebbe pertanto anche a tali aeromobili senza equipaggio in termini di PNT. Si tratta della categoria con le prestazioni più impegnative in termini di posizione, velocità e ora, in particolare per le operazioni oltre la distanza di visibilità (BVLOS).

Al contrario, i droni che volano nelle categorie aperta e specifica non sono attualmente soggetti a requisiti specifici in materia di prestazioni di navigazione. Spetta all'operatore UAS garantire che i servizi forniti esternamente, necessari per la sicurezza delle operazioni UAS, quali i servizi GNSS, raggiungano un livello di prestazioni adeguato all'operazione e siano mantenuti per l'intera durata di tali operazioni. Tuttavia, nella categoria specifica, il richiedente deve definire l'area a rischio quando effettua l'operazione, che comprende il volume operativo composto dalla geografia di volo e dal volume di contingenza. **Per determinare il volume operativo, il richiedente dovrebbe prendere in considerazione le capacità di mantenimento della posizione dell'UAS nello spazio 4D (latitudine, longitudine, altezza e tempo)** e, di conseguenza, la precisione della soluzione di navigazione dovrebbe essere presa in considerazione e affrontata ai fini di tale determinazione; inoltre **a seconda dell'operazione (livello SAIL - dall'inglese: *Specific Assurance and Integrity Level*, ossia il livello specifico di garanzia e di integrità), anche l'integrità può svolgere un ruolo chiave nel garantire che la soluzione PNT GNSS sia affidabile per l'operazione prevista come dati di ingresso per il sistema di navigazione del drone.**

In tal senso, la Commissione europea e l'AESA hanno adottato misure importanti per sostenere ulteriormente l'industria dei droni con la pubblicazione di regolamenti chiari che gettano le basi per operazioni innovative attuali e future. L'adozione del primo quadro normativo per lo U-space (regolamenti di esecuzione (UE) [2021/664](#), [2021/665](#) e [2021/666 della Commissione](#)) stabilisce disposizioni per gli operatori UAS, i fornitori di servizi U-Space i fornitori di servizi comuni di informazione e i fornitori di servizi di navigazione aerea (ANSP) interessati, stabilendo alcuni servizi obbligatori U-space da fornire ovunque sia designato uno spazio aereo U-space. Gli Stati membri sono competenti per la determinazione dei requisiti di prestazione in uno spazio aereo U-space designato, sulla base di una valutazione dei rischi dello spazio aereo prima della designazione dell'U-space.

Attualmente non esistono requisiti armonizzati per l'utilizzo dello spazio aereo U-space in termini di capacità e prestazioni di navigazione, ma si prevede che il **GNSS possa svolgere un ruolo nel migliorare i servizi U-space**, in quanto servizi quali l'identificazione di rete, la geo-consapevolezza, l'autorizzazione di volo e le informazioni sul traffico possono beneficiare dell'uso di GNSS, anche a sostegno dell'attuazione del concetto di mobilità aerea urbana (UAM).

Nonostante il GNSS sostenga già le operazioni UAS e contribuisca ai servizi U-space e alla mobilità aerea urbana, la Commissione europea si sta adoperando per agevolare ulteriormente l'uso di servizi EGNSS per le operazioni con droni secondo una **tabella di marcia interna per l'uso del servizio EGNSS nei droni**, che sosterrà il mercato emergente dei droni con lo sviluppo di servizi EGNSS adeguati. Innanzitutto, la tabella di marcia prende in considerazione la seguente assegnazione dei servizi EGNSS alle operazioni con droni:

EGNSS SERVICES UAS OPS CATEGORIES		GALILEO*				EGNOS**		*Alone or in combination with GPS **With GPS †Support to EGNOS V3 and ARAIM
		OS	HAS	OSNMA	Support to SoL Applications†	OS	SOL	
OPEN		✓	✓	✓		✓		Low Risk
SPECIFIC	L	✓	✓	✓		✓		
	M	✓	✓	✓			✓	
	H				✓		✓	
CERTIFIED					✓		✓	High Risk

Figura 18 – Assegnazione dei servizi EGNSS alle categorie di operazioni con droni

Poiché le operazioni UAS comprendono un'immensa serie di casi d'uso e ambienti operativi, viene seguita una metodologia graduale che prende in considerazione prima le operazioni a basso rischio (che hanno quasi raggiunto oggi un livello di maturità accettabile), poi le operazioni a medio rischio (che sono impegnative in termini di requisiti ma che stanno per proliferare grazie a un migliore sostegno derivante da regole e norme) e infine le operazioni a rischio più elevato (che sostengono le applicazioni future più impegnative come ad esempio gli aerotaxi nell'ambito del concetto di mobilità aerea urbana):

- per le operazioni a basso rischio, saranno migliorate le informazioni e il sostegno dell'EGNSS agli utenti UAS (ad esempio siti web, helpdesk);
- per le operazioni a medio rischio, si provvederà allo sviluppo di un modello di fornitura di servizi EGNSS basato sui servizi EGNSS esistenti o previsti, compresi, se necessario, impegni SDD specifici e un concetto operativo/di integrità della navigazione EGNSS;
- per le operazioni a rischio elevato saranno creati servizi EGNSS dedicati per i droni, con l'obiettivo di dichiarare impegni SDD specifici.

Parallelamente sarà fornito un sostegno alla normazione EGNSS, principalmente attraverso EUROCAE, che propone già una serie di documenti di sostegno tramite il gruppo WG-105. In particolare, sono in corso le seguenti iniziative GNSS:

- ED-301 "**Guidelines for the use of multi-GNSS Solutions for UAS Specific Category – Low Risk Operations I and II**", riguardante aspetti specifici dell'uso di GNSS per le operazioni a basso rischio (documento pubblicato nel 2022);
- sviluppo del documento "**Guidelines for the use of multi-GNSS solutions for UAS: Medium Risk**" al fine di estendere l'uso di GNSS da parte degli operatori UAS nel quadro della categoria specifica alle operazioni a medio rischio (pubblicazione prevista nel 2024).

Infine la Commissione europea finanzia una serie di progetti nell'ambito dei programmi [Orizzonte 2020](#) e [Orizzonte Europa](#) destinati a studiare le prestazioni di navigazione delle operazioni di aeromobili senza equipaggio (ad esempio [REALITY](#) o [EGNSS4RPAS](#)), fornendo preziosi contributi alle iniziative di normazione e regolamentazione.

3.4.5 Navigazione marittima e per vie navigabili interne

L'[IMO \(Organizzazione marittima internazionale\)](#) stabilisce i parametri di base delle prestazioni di navigazione richieste per il sistema di radionavigazione mondiali (WWRNS) nella [risoluzione A.1046\(27\) dell'IMOS](#). L'[IALA \(Associazione internazionale degli aiuti per la navigazione e delle autorità di segnalazione marittima\)](#) definisce le norme, le raccomandazioni e il materiale di orientamento appropriati per le autorità marittime tenendo conto dei requisiti stabiliti e dei regolamenti marittimi, cui fa riferimento la convenzione dell'IMO per la salvaguardia della vita umana in mare (SOLAS). Poiché il settore marittimo è un settore mondiale, tali norme, raccomandazioni e orientamenti sono fondamentali. [Galileo è riconosciuto come componente del WWRNS dal 2016](#), mentre nel giugno 2017 l'IMO ha dichiarato che lo **SBAS** non rientra nell'ambito di applicazione della risoluzione A.1046(27) dell'IMO e pertanto non necessita del riconoscimento IMO per l'uso nel settore marittimo.

La [risoluzione A.915\(22\) dell'IMO](#) fornisce un **elenco di applicazioni marittime**, regolamentate o meno, **che richiedono la conoscenza della posizione o della velocità dell'imbarcazione per la navigazione generale o per qualsiasi altra finalità**. Tale risoluzione, che potrebbe richiedere un aggiornamento in futuro, è il riferimento concordato a livello internazionale che sintetizza le esigenze di posizionamento degli utenti marittimi, in particolare **l'IMO definisce i requisiti marittimi per i GNSS**, definendo i requisiti generali, operativi, istituzionali e transitori.

Il trasporto per vie navigabili avviene in ambienti o fasi diversi della navigazione:

- **navigazione oceanica:** oltre la piattaforma continentale e a più di 50 miglia nautiche dalla costa;

- **navigazione costiera:** al di sopra della piattaforma continentale o entro 50 miglia nautiche dalla costa;
- **avvicinamento al porto e ingresso in porto e vie navigabili interne:** solitamente queste operazioni avvengono in acque soggette a restrizioni, nelle quali le navi devono navigare attraverso canali ben definiti.

I requisiti di navigazione per vie d'acqua per la navigazione generale dipendono dalla fase della navigazione (ulteriori informazioni sono riportate nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti marittimi e delle vie navigabili interne](#)) (solo in EN).

Nel 2006, in sede di comitato per la sicurezza marittima (MSC), l'IMO ha iniziato a sviluppare il **concetto di "e-Navigation"** (navigazione elettronica) definito come la raccolta, l'integrazione, lo scambio, la presentazione e l'analisi armonizzati di informazioni marittime, a bordo di navi e a terra, con mezzi elettronici, al fine di migliorare la navigazione da ormeggio a ormeggio e i servizi connessi per la sicurezza in mare e la protezione dell'ambiente marino. Questo concetto si basa su solidi servizi PNT che offrono sufficienti ridondanze. Un sistema PNT resiliente costituisce uno dei sette pilastri dell'architettura di navigazione elettronica dell'IMO. Il concetto di navigazione elettronica dovrebbe diffondere l'uso di ricevitori GNSS multicostellazione e garantire la resilienza utilizzando sistemi alternativi.

Per la **navigazione marittima**, l'allegato III della [direttiva 2002/59/CE](#) (come modificata) istituisce un sistema comunitario di monitoraggio del traffico navale e d'informazione, nel contesto del quale i **dati del sistema di identificazione automatica (AIS) raccolti via satellite** costituiscono una delle interfacce del sistema centrale SafeSeaNet, e quindi una **fonte di dati per i messaggi elettronici, comprese informazioni quali la posizione della nave**. Si tratta di un elemento importante per il monitoraggio del traffico navale e quindi per contribuire a migliorare la sicurezza e l'efficienza del traffico marittimo.

Per quanto riguarda la **sicurezza**, l'IMO ha pubblicato [orientamenti ad alto livello sulla gestione dei rischi informatici marittimi](#) (MSC-FAL.1/Circ.3), integrati da ulteriori raccomandazioni delle associazioni del settore marittimo, dell'Associazione internazionale delle società di classificazione (IACS) e dell'Associazione internazionale dei porti (IAPH). Nella pubblicazione [Guidelines on cyber security on board ships](#) delle associazioni del settore marittimo, queste ultime sottolineano che gli incidenti informatici possono verificarsi a seguito della perdita o della manipolazione dei dati dei sensori esterni, fondamentali per l'esercizio di una nave. Affermano inoltre che figurano in tale contesto, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, i sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS). Secondo tale pubblicazione un incidente informatico può estendersi a un blocco del servizio o alla manipolazione del servizio e, pertanto, può riguardare tutti i sistemi associati alla navigazione. **L'autenticazione e l'integrità della precisione della posizione della nave sono necessarie** per consentire di allertare il ponte di una situazione di rischio.

I programmi EGNSS stanno portando avanti diverse iniziative destinate a fornire informazioni aggiuntive tanto per l'integrità quanto per l'autenticazione da utilizzare nel settore marittimo (cfr. [3.3.2.2](#) per le varie fasi):

- l'**uso di correzioni EGNOS** in formato RTCM **tramite radiofari MF e il messaggio AIS VDL 17** è già abilitato e gli [orientamenti G-1129 dell'IALA](#) spiegano come attuare tale ritrasmissione;
- per quanto concerne l'**integrità**, lo sviluppo di un primo **servizio marittimo EGNOS che, insieme al RAIM**, consentirà un posizionamento più preciso, comprese le allerte al ponte. Gli [orientamenti G1152 dell'IALA](#) forniscono alle autorità marittime costiere informazioni sulle modalità di utilizzo dello SBAS come servizio marittimo. In seno all'IEC stanno procedendo i lavori preparatori per una nuova norma di prova per i ricevitori di bordo relativa ai ricevitori SBAS ([IEC 61108-7](#)) la cui pubblicazione è prevista per il 2023;
- per quanto riguarda l'**autenticazione**, due progetti finanziati nell'ambito degli elementi fondamentali [GSA/GRANT/02/2019](#) stanno attuando l'autenticazione dei messaggi di navigazione del servizio aperto (OSNMA) di Galileo per i ricevitori a bordo di navi.

In relazione a tali iniziative è necessario **aggiornare talune norme e taluni regolamenti**:

- [risoluzione MSC233 \(82\) dell'IMO sull'adozione di norme di prestazione per l'apparecchiatura ricevente Galileo a bordo di navi](#): la sottocommissione per la navigazione, le comunicazioni e la ricerca e il salvataggio (NCSR) dell'IMO sta attualmente discutendo un nuovo approccio per semplificare tali norme di prestazione. la norma [IEC 61108-3 sulle apparecchiature e sui sistemi per la navigazione marittima e la radiocomunicazione](#) includerà quindi nell'aggiornamento raccomandazioni specifiche per i ricevitori GALILEO di bordo, secondo le previsioni nel 2023;
- in seno all'IMO sarà richiesto un nuovo documento di lavoro per elaborare norme di prestazione per gli **SBAS DFMC + ARAIM**. Tali lavori potrebbero essere ultimati nel 2025 e, di conseguenza, dovrebbe essere elaborata una nuova norma di prova IEC per gli SBAS DFMC con l'obiettivo di completarla nei due anni successivi;
- [regolamento di esecuzione \(UE\) 2022/1157 della Commissione sui requisiti di progettazione, costruzione ed efficienza e le norme di prova per l'equipaggiamento marittimo](#): al fine di includere norme di prestazione e di prova nuove e aggiornate per i ricevitori di bordo, tanto per Galileo quanto per gli SBAS DFMC + ARAIM. Tale attività dovrebbe essere realizzata in occasione del prossimo aggiornamento annuale dopo la disponibilità delle norme.

In termini di servizi PNT resilienti, l'IALA, con un contributo fondamentale di diversi Stati membri, sta lavorando a un **sistema di riserva per le zone costiere e portuali denominato R-Mode (o Ranging Mode)** utilizzando segnali provenienti da stazioni di radiofari in media frequenza e stazioni AIS/VDES (AIS (sistema di identificazione automatica)/VDES (sistema di scambio di dati ad altissima frequenza)). Il progetto [R-MODE Baltic2](#), cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito dell'iniziativa Interreg per la regione del Mar Baltico, ha istituito un banco di prova nel Mar Baltico (cfr. appendice A, sezione [5.3.5](#) per maggiori informazioni sull'R-Mode). Gli [orientamenti G1158 dell'IALA](#) spiegano che la **sincronizzazione GNSS può essere utilizzata** a terra come una delle fonti di misurazione del tempo per fornire la sincronizzazione dei segnali VDES richiesti **per l'R-Mode**. A tal fine è necessaria una rassicurazione del fatto che il segnale GNSS, così come ricevuto dalle stazioni, non sia soggetto a spoofing (ad esempio utilizzando segnali GNSS criptati e verificando l'integrità GNSS presso le stazioni).

[La ricerca e l'innovazione finanziate dall'UE in materia di sicurezza marittima civile](#) hanno inoltre sfruttato i servizi PNT e GNSS per sviluppare capacità di messa in sicurezza delle risorse marittime e delle persone nei confronti di minacce naturali o internazionali, nonché le capacità delle guardie costiere e quelle per i compiti civili delle forze navali.

La **navigazione nelle vie navigabili interne richiede precisione di posizionamento, anche nell'ambito verticale**, utilizzata per calcolare la luce di ponti, chiuse ecc. e per monitorare la situazione del traffico. Per migliorare le prestazioni del GNSS, stazioni DGPS dell'IALA sono state istituite in una certa misura anche per coprire le vie navigabili interne. Inoltre la distribuzione dei dati del DGPS attraverso il messaggio AIS 17 avviene in molte zone con l'aiuto delle stazioni di base dell'AIS interno, a disposizione delle navi dotate di un transponder AIS interno (compatibile con il transponder AIS marittimo).

Rispetto alla navigazione marittima, la navigazione interna incontra maggiori **difficoltà legate al blocco dei segnali satellitari** a causa della presenza di fenomeni di ombreggiamento dei segnali terrestri, di montagne o di ostacoli derivanti da oggetti antropici quali ponti e chiuse. Purtroppo, nei luoghi in cui è richiesta la massima precisione di posizionamento, è probabile che si verifichi anche il blocco del segnale GNSS (ad esempio, quando una nave entra in una chiusa). In termini di integrità, precisione e affidabilità, gli utenti della navigazione interna trarrebbero quindi vantaggio dalla **navigazione multicostellazione**, in quanto sono disponibili più satelliti.

Gli utenti della navigazione interna potrebbero beneficiare del **servizio ad alta precisione** di Galileo e dei futuri **servizi EGNOS** dedicati per uso marittimo qualora le apparecchiature di posizionamento a bordo delle navi adibite alla navigazione interna siano installate correttamente. Tuttavia livelli più elevati di navigazione interna autonoma richiederanno **ulteriori sensori nel campo prossimo**, quali i sensori LIDAR e

radar, oltre ai sensori GNSS. Il **trattamento di antenne multiple** potrebbe essere sfruttato anche per aumentare la solidità e la sicurezza della navigazione.

La [direttiva 2005/44/CE relativa ai servizi armonizzati d'informazione fluviale sulle vie navigabili interne \(direttiva RIS\)](#) contiene una raccomandazione per l'uso di tecnologie di posizionamento satellitare. Il [regolamento di esecuzione \(UE\) 2019/838 della Commissione relativo alle specifiche tecniche per i sistemi di localizzazione e monitoraggio dei natanti](#) contiene **requisiti dettagliati e specifiche tecniche** per i sistemi di localizzazione e monitoraggio dei natanti conformemente alle disposizioni della direttiva RIS, nel rispetto dei seguenti principi:

- definizione dei requisiti relativi ai sistemi e ai messaggi normalizzati e procedure perché tali messaggi possano essere inviati automaticamente;
- differenziazione tra sistemi conformi ai requisiti delle informazioni tattiche sul traffico e sistemi conformi ai requisiti delle informazioni strategiche sul traffico, dal punto di vista della precisione del posizionamento e della frequenza di attualizzazione richiesta;
- descrizione dei pertinenti sistemi tecnici di localizzazione e di monitoraggio delle navi quali l'IAS interno (sistema automatico di identificazione per la navigazione interna);
- compatibilità dei formati di dati con il sistema IAS marittimo.

La direttiva 2005/44/CE (direttiva RIS) è attualmente in fase di revisione, in vista della sua adozione nel 2023. La revisione prenderà in considerazione i lavori del Comitato europeo per l'elaborazione di norme per la navigazione interna (CESNI), che ha adottato la prima serie di norme RIS nell'aprile del 2021 ([norma europea per i servizi d'informazione fluviale, ES-RIS 2021/1](#)). L'ES-RIS 2021 è una riproduzione delle specifiche tecniche attualmente applicabili contenute nei regolamenti di esecuzione (UE) ai sensi della direttiva RIS. Le future evoluzioni delle specifiche tecniche, comprese quelle relative ai sistemi di localizzazione e monitoraggio dei natanti, saranno oggetto delle revisioni biennali dell'ES-RIS e saranno messe in vigore attraverso il diritto derivato ai sensi della direttiva RIS riveduta. **In futuro l'ES-RIS potrà altresì contemplare disposizioni specifiche in materia di PNT e GNSS.**

Inoltre la [norma di prova dell'IAS interno](#) prescrive tutte le norme IEC incluse nella serie 61108 per il ricevitore GNSS interno. Attualmente tali norme comprendono Galileo (parte 3) e consentono l'uso di EGNOS una volta pubblicata la parte 7 (prevista per la metà del 2023). L'uso delle correzioni di EGNOS trasmesse in formato RTCM tramite messaggio VDL 17 è già consentito.

Infine il trasporto per vie navigabili interne sta evolvendo e beneficiando delle tecnologie emergenti che garantiscono un settore più sicuro, digitale e più sostenibile. Le operazioni autonome delle navi creeranno nuove opportunità commerciali (anche per la navigazione marittima) e nuove sfide, sostenendo le sfide dell'UE in materia di digitalizzazione e sostenibilità. La Commissione europea intende avviare nel 2023 un'**azione preparatoria sui dati spaziali dell'UE per le navi a guida autonoma nelle vie navigabili interne**, della durata di tre anni, per valutare in che modo i dati spaziali dell'UE di Galileo, EGNOS e Copernicus possano essere fattori abilitanti chiave di tale trasformazione, agevolando la fornitura di informazioni di posizionamento affidabili e solide e immagini armonizzate dei tratti navigabili e dell'ambiente, necessarie per operazioni a guida autonoma sicure ed ecologiche.

3.4.6 Trasporto su strada

Il **successo del posizionamento satellitare nelle piattaforme applicative per veicoli e nei dispositivi di navigazione portatili** grazie al posizionamento preciso e alla navigazione avanzata che forniscono è stato recentemente rafforzato dalla comparsa di applicazioni di navigazione e mappe di facile utilizzo sugli smartphone, come descritto nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti della strada](#).

La **posizione dominante delle applicazioni stradali GNSS** sul mercato è confermata dalle decisioni delle autorità pubbliche e dall'avvento delle automobili connesse che, unitamente alla comunicazione permanente a corto raggio tra veicoli, altri utenti della strada e infrastrutture (comunicazioni da veicolo a tutto (V2X)), offrono una serie pressoché illimitata di applicazioni che miglioreranno tanto la sicurezza stradale quanto l'efficienza del traffico. Inoltre il GNSS abbinato ad altri sensori di bordo e alla mappatura 3D svolgerà un ruolo fondamentale nei **veicoli a guida autonoma** in ragione dei requisiti di prestazione molto impegnativi in termini di precisione di posizionamento, disponibilità e robustezza richiesti.

Il **tachigrafo intelligente**, introdotto dal [regolamento \(UE\) n. 165/2014](#), è un'evoluzione del tachigrafo digitale, che comprende in particolare una connessione a un ricevitore GNSS, un dispositivo di comunicazione remota a fini di diagnosi precoce e un'interfaccia con i sistemi di trasporto intelligenti. L'uso dei tachigrafi collegati al **GNSS** è un mezzo **adeguato ed efficiente sotto il profilo dei costi** per registrare automaticamente la posizione di un veicolo in determinati punti durante il periodo di lavoro giornaliero al fine di coadiuvare i funzionari durante i controlli. **Le specifiche tecniche** del tachigrafo intelligente sono state stabilite nel [regolamento di esecuzione \(UE\) 2016/799 della Commissione](#) e i tachigrafi intelligenti sono installati sui veicoli di nuova immatricolazione dal 2019.

Le specifiche tecniche sono state aggiornate nel [regolamento di esecuzione \(UE\) 2021/1228 della Commissione](#) al fine di includere la registrazione delle posizioni di inizio e fine dei giorni lavorativi dei conducenti di veicoli commerciali, nonché dei valichi di frontiera e delle operazioni di carico e scarico. Il GNSS e il geofencing per l'attraversamento delle frontiere consentono alle autorità di contrasto di controllare in modo più efficiente le operazioni di trasporto internazionale delle imprese di trasporto su strada rispetto alle norme sociali e del mercato dell'UE. Secondo le previsioni, anche questa **seconda versione** del tachigrafo intelligente dovrebbe **utilizzare il servizio OSNMA di Galileo**, una volta dichiarato operativo. Questo tachigrafo inizierà ad essere introdotto nei veicoli di nuova immatricolazione nell'agosto del 2023. Tutti i veicoli che effettuano operazioni di trasporto internazionale e rientrano nell'ambito di applicazione del regolamento (UE) n. 165/2014 saranno ammodernati con un tachigrafo intelligente di seconda versione al più tardi entro il mese di agosto del 2025.

Per quanto concerne i sistemi di **telepedaggio**, il **GNSS per la tariffazione agli utenti della strada**, che consiste nell'addebitare una determinata tariffa a un utente (ossia un veicolo) sulla base della sua posizione comunicata, è disciplinato dalla [direttiva \(UE\) 2019/520 sull'interoperabilità dei sistemi di telepedaggio stradale](#). La direttiva consente l'applicazione di **pedaggi satellitari** per i veicoli pesanti e leggeri, il che permette la rimozione delle stazioni fisiche di pedaggio nelle autostrade, eliminando anche le code e risparmiando tempo per l'utente finale, garantendo nel contempo la tutela della vita privata degli utenti attraverso l'anonimizzazione dei dati. A partire dall'ottobre del 2021 tutti i nuovi sistemi di telepedaggio messi in servizio utilizzando il posizionamento satellitare sono compatibili con EGNOS e Galileo. Inoltre, a partire dal 2028, tutti i nuovi sistemi di telepedaggio per le autovetture saranno compatibili con il GNSS.

Per quanto concerne i **sistemi di trasporto intelligenti (ITS)**, [la direttiva 2010/40/UE sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale](#) stabilisce che per le applicazioni e i servizi ITS per i quali sono necessari servizi accurati e garantiti di sincronizzazione e posizionamento dovrebbero essere utilizzate infrastrutture satellitari od ogni altra tecnologia che offra un livello di precisione equivalente, come quelle fornite da EGNOS e Galileo. Diversi regolamenti delegati adottati nell'ambito di tale quadro, quali il [regolamento delegato \(UE\) 2015/962 della Commissione relativamente alla predisposizione in tutto il territorio dell'Unione europea di servizi di informazione sul](#)

[traffico in tempo reale](#), organizzano l'accesso e lo scambio dei dati generati grazie a un posizionamento preciso, compresi i dati generati a bordo dei veicoli.

La [proposta della Commissione di revisione della direttiva 2010/40/UE \(COM\(2021\) 813 final\)](#) propone di assicurare la compatibilità di applicazioni e servizi ITS che fanno affidamento sulla sincronizzazione e sul posizionamento, quanto meno con i servizi di navigazione forniti da EGNOS e da Galileo, compresa l'OSNMA.

Nel 2020 sono state pubblicate due **norme PNT pertinenti** per le [comunicazioni sicure ITS \(CEN/ISO TS 21176\)](#) e per gli utenti della strada vulnerabili ([ETSI TS 103 300-1](#), [ETSI TS 103 300-2](#), [ETSI TS 103 300-3](#)). La norma [DATEX II](#) è la norma per lo scambio di dati per le stazioni ITS che scambiano informazioni sul traffico tra autorità pubbliche e operatori di servizi: traffico, incidenti, lavori stradali, ecc. Dal 2021, la DATEX II v.3.2 comprende un modello di dati di localizzazione che richiede la registrazione dell'autenticazione GNSS.

Per quanto concerne l'**eCall**, il [regolamento \(UE\) 2015/758](#) stabilisce i requisiti di omologazione per lo sviluppo del sistema eCall di bordo basato sul servizio 112. La fornitura di informazioni accurate e affidabili sul posizionamento è un elemento essenziale dell'efficacia di funzionamento del sistema eCall di bordo basato sul 112. A norma di tale regolamento, i costruttori di eCall devono garantire che i **ricevitori** dei sistemi eCall di bordo basati sul 112 siano **compatibili** con i servizi di posizionamento forniti dai sistemi di **Galileo e EGNOS**. Il [regolamento delegato \(UE\) 2017/79 della Commissione](#) specifica i metodi di prova e i requisiti di prestazione per l'omologazione di GNSS.

Nel 2018 è entrato in vigore il [regolamento ONU n. 144](#) che istituisce un meccanismo armonizzato di omologazione di sistemi, dispositivi o componenti eCall affinché siano validi in più di 50 paesi, tra cui Giappone, Corea e Russia. È richiesta la compatibilità con GPS, GLONASS, Galileo e tutti gli SBAS esistenti.

Nel 2021 la Commissione europea ha avviato i lavori di aggiornamento delle attuali specifiche eCall, tanto per i veicoli quanto per i centri di raccolta delle chiamate di emergenza, al fine di adeguare l'attuale quadro giuridico all'evoluzione delle reti di telecomunicazione verso reti a commutazione di pacchetto.

Per quanto concerne i **sistemi automobilistici di sicurezza** e nel quadro del nuovo [regolamento \(UE\) 2019/2144 sulla sicurezza generale](#) per i veicoli a motore, del [regolamento delegato \(UE\) 2021/1958 della Commissione](#) sui sistemi di adattamento intelligente della velocità ("ISA", dall'inglese: *Intelligent Speed Assistance*) che utilizzano una combinazione di un sistema di telecamere, di GNSS e mappe digitali, richiedono che, laddove un tale sistema sia abilitato con capacità di posizionamento, esso debba essere **compatibile quanto meno con Galileo ed EGNOS**.

Nel 2021 è entrato in vigore il [regolamento ONU n. 155](#) che stabilisce disposizioni uniformi relative alla gestione della cibersicurezza nei veicoli a guida autonoma. Lo spoofing di GNSS è considerato una minaccia e l'uso di messaggi autenticati è necessario per fini di attenuazione della stessa.

La norma [CEN/CENELEC EN 16803](#) ha stabilito le procedure e le metodologie di prova di GNSS per la definizione e la valutazione delle prestazioni in applicazioni stradali estremamente impegnative, quali i veicoli a guida autonoma. È comunque necessaria la pubblicazione di una norma ISO compatibile.

Infine, nei prossimi anni, la **digitalizzazione delle pratiche di applicazione** potrebbe offrire maggiori possibilità di utilizzo dell'EGNSS e portare a controlli più efficienti sui veicoli e sui conducenti. In effetti l'applicazione delle normative nel trasporto stradale è fondamentale per garantire la sicurezza stradale e il buon funzionamento del mercato, indipendentemente dal fatto che si tratti dei periodi di guida e di riposo dei pesi e delle dimensioni dei veicoli, del distacco dei conducenti, del possesso e del rispetto di autorizzazioni, licenze e permessi di trasporto, ecc. Ad esempio, informazioni precise e affidabili sulla localizzazione potrebbero contribuire alla gestione delle merci prioritarie in combinazione con le informazioni elettroniche sul trasporto merci (eFTI) nei controlli doganali e di frontiera.

Per quanto riguarda il trasporto stradale, le **norme** che seguono agevolerebbero l'introduzione di servizi EGNSS:

- aggiornamento della norma 3GPP per la diffusione dei segnali GNSS DFMC attraverso la rete mobile;
- norma di prova per GNSS + HAS tramite RTCM SC134.

3.4.7 Trasporto ferroviario

La **strategia europea per le ferrovie** mira a rendere aperta e interoperabile la rete ferroviaria, un obiettivo questo che comprende la sostituzione dei sistemi nazionali di controllo dei treni con il [sistema europeo di gestione del traffico ferroviario/sistema europeo di controllo dei treni \(ERTMS/ETCS\)](#), un sistema standardizzato sviluppato specificamente per le esigenze delle ferrovie europee. Tale sistema non utilizza il GNSS nella sua forma attuale, in quanto la sua architettura di base è stata progettata nel 1989/1990. Sono state avviate diverse iniziative per includere il GNSS nell'ETCS, dato il suo potenziale di ridurre l'infrastruttura a terra eliminando gli elementi [Eurobalise](#) utilizzati come marcatori del riferimento di posizione. Ciò non solo ridurrebbe il costo della segnalazione, ma aumenterebbe anche la disponibilità, ridurrebbe i requisiti ingegneristici e di manutenzione e l'esposizione dell'infrastruttura a furti, vandalismo, ecc.

Sono inoltre in fase di studio nuove funzionalità supplementari per l'ERTMS/ETCS, che potrebbero dipendere fortemente dal GNSS, quali il **monitoraggio dell'integrità dei treni**, una funzione all'interno del [sistema ERTMS di livello 3](#) che, grazie al posizionamento assoluto dei treni, consentirebbe di ridurre la separazione dei treni, ottimizzare il traffico e avere effetti positivi sull'ambiente.

Le **principali sfide tecniche** per lo sfruttamento del GNSS sulle linee ferroviarie riguardano l'ambiente, che differisce notevolmente dalle applicazioni aeronautiche e marittime. Le principali differenze sono una visibilità satellitare limitata e in continua evoluzione, l'attenuazione dei segnali, le interferenze elettromagnetiche e un multipercorso notevole. In alcune località, ad esempio nelle aree urbane e montane, tali effetti possono manifestarsi simultaneamente. Ulteriori informazioni sono riportate nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti ferroviari](#).

Attualmente i sistemi GNSS nel settore ferroviario sono utilizzati prevalentemente per **applicazioni non connesse alla sicurezza**. I sistemi di informazione sui passeggeri costituiscono le applicazioni principali, anche se la gestione delle risorse sta acquisendo importanza. Nei prossimi anni saranno sempre più sviluppate le applicazioni pertinenti per la sicurezza, il segnalamento e il controllo dei treni, basati su GNSS, al fine di integrare le tecnologie tradizionali. Nell'ambito **delle applicazioni critiche per la sicurezza**, l'EUSPA ha elaborato una [tabella di marcia per l'adozione dell'EGNSS nel settore ferroviario](#), approvata dai principali portatori di interessi del settore ferroviario e spaziale, che sintetizza le attività principali verso un ERTMS reso possibile dall'EGNSS e consente un orientamento elementare nelle attività al fine di conseguire tale obiettivo.

Nel 2022 [la risoluzione del Parlamento europeo sulla sicurezza delle ferrovie e i sistemi di segnalamento che valuta lo stato di avanzamento del piano di implementazione del sistema europeo di gestione del traffico ferroviario](#), ha sottolineato la necessità di garantire quanto prima sinergie tra l'ERTMS e l'EGNSS. Ciò è ben rispecchiato dal settore ferroviario, che sta ad esempio sviluppando un prototipo di unità di localizzazione dei treni a bordo ([progetto CLUG di Orizzonte 2020](#)).

La Commissione europea continua inoltre a esaminare le possibilità per utilizzare o sviluppare i servizi EGNSS per le applicazioni critiche per la sicurezza ferroviaria. Attualmente sono in corso due studi di missione che mirano a chiarire i parametri di un servizio EGNSS specifico per le ferrovie che potrebbe soddisfare i requisiti degli utenti per il segnalamento ferroviario e l'ERTMS ([EGNSS-R](#), [IMPRESS](#)).

Le [specifiche tecniche di interoperabilità \(STI\)](#) definiscono le norme tecniche e operative che ogni sottosistema o parte di sottosistema deve rispettare per soddisfare i requisiti essenziali e garantire l'interoperabilità del sistema ferroviario dell'Unione europea. In particolare, **l'inclusione del GNSS nella STI "controllo-comando e segnalamento" costituisce altresì un prerequisito per consentire un'adozione su**

vasta scala di GNSS per la localizzazione dei treni a prova di guasto (*fail-safe*) nell'Unione europea. L'ultima modifica di questo documento è stata adottata nel giugno 2019 e la prossima versione è prevista per il 2023. Inoltre nel 2026 è prevista un'edizione di manutenzione della STI, con una versione aggiornata contenente nuove funzionalità nel 2028/2029.

3.4.8 Agricoltura

La prevista crescita della popolazione mondiale a 9,7 miliardi entro il 2050, associata a un maggiore apporto calorico di persone sempre più ricche e al conseguente aumento della domanda di alimenti, rende indispensabile l'intensificazione della produzione alimentare, come descritto nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti del settore dell'agricoltura](#) (solo in EN). È necessaria una strategia globale completa in materia di sicurezza alimentare nel contesto della quale le **soluzioni basate sulle tecnologie dell'informazione** svolgono un ruolo fondamentale. **Con i GNSS che detengono una posizione predominante**, altre tecnologie quali il sistema di informazione geografica (SIG), il telerilevamento tramite satelliti o UAS (sistema aeromobile senza equipaggio), i sensori ottici per il contenuto di azoto e lo stato delle chiome della vegetazione, sistemi di visione artificiale, sensori gamma-radiometrici del suolo, ecc. sono state impiegate in un'ampia serie di applicazioni. L'utilizzo delle varie tecnologie abilitanti e la combinazione dei diversi tipi di dati che esse generano hanno dato luogo all'**agricoltura di precisione**, che ha contribuito in modo dimostrabile ad aumentare la resa e la produttività, controllando i costi e riducendo l'impatto ambientale delle attività agricole.

La diffusione sul mercato di applicazioni di **agricoltura di precisione basate su GNSS** aumenterà di pari passo con la necessità di aumentare la produzione alimentare. La precisione rimarrà il parametro GNSS più essenziale per gli agricoltori. L'affidabilità, la disponibilità, l'autenticità e la copertura avranno rilevanza anche per applicazioni specifiche. Le **soluzioni basate su SBAS**, che migliorano la precisione, l'integrità e la disponibilità dei segnali GNSS di base, stanno diventando sempre più disponibili nelle applicazioni per l'agricoltura di precisione, e sono spesso l'opzione preferita per gli agricoltori che entrano nel mercato dell'agricoltura di precisione. Disponibili su scala continentale, senza diritti di abbonamento o costi di investimento aggiuntivi, le soluzioni basate su SBAS sono diffuse tra gli agricoltori che necessitano di un livello di precisione inferiore al metro. **Soluzioni ad alta precisione (inferiore al decimetro)** sono necessarie per l'automazione e sono fornite dai servizi RTK/Rete di RTK e dai servizi PPP in tempo reale, commerciali o istituzionali, come il servizio ad alta precisione di Galileo.

Secondo le previsioni, l'integrazione del posizionamento GNSS nei **sistemi informativi di gestione delle aziende agricole (FMIS, Farm Management Information Systems)**, unitamente all'uso di informazioni supplementari provenienti da vari sensori, tra cui l'osservazione della Terra, rivoluzionerà l'agricoltura di precisione e ne promuoverà ulteriormente la diffusione. Gli FMIS sono un sistema per la raccolta, il trattamento, la conservazione e la fornitura di dati che consentono agli agricoltori di adottare decisioni informate e di elaborare strategie di gestione. Il **GNSS collega tali dati a coordinate geografiche specifiche**.

Nonostante i diversi successi e i tassi di diffusione delle varie soluzioni per l'agricoltura basate sulle tecnologie, l'integrazione e l'estensione della loro adozione richiedono di **affrontare diverse sfide tecnologiche, economiche e legate alla sensibilizzazione**. Di recente, il [gruppo di riflessione dedicato all'integrazione dell'agricoltura di precisione](#), istituito dal partenariato europeo per l'innovazione in materia di agricoltura, ha aggiunto alle sue raccomandazioni la necessità che gli agricoltori e le cooperative svolgano un ruolo importante nell'innovazione e nella ricerca sui sistemi di sostegno alle decisioni e sulle soluzioni tecniche ai problemi attuali.

Diverse iniziative facilitano l'adozione dell'EGNSS nel settore agricolo europeo.

L'**EGNSS4CAP** è un'applicazione per telefoni cellulari Android e iOS che **digitalizza le procedure per gli agricoltori** dell'Unione europea al fine di soddisfare i loro obblighi di comunicazione nell'ambito della riforma della [politica agricola comune \(PAC\)](#) attuale e per il periodo successivo al 2020.

Le nuove norme adottate dalla Commissione europea per la PAC attuale e futura consentono di **utilizzare** una serie di **tecnologie satellitari** moderne per la gestione e il controllo dei **pagamenti basati sulle superfici**. Ad esempio, le procedure di monitoraggio automatico che utilizzano dati e segnali provenienti da programmi tanto di Copernicus quanto di Galileo possono essere utilizzate per ridurre il numero di controlli in loco. Tali procedure rientrano nel contesto del meccanismo dei controlli mediante monitoraggio e sono applicate in un certo numero di Stati membri su base volontaria.

Per la **nuova PAC** sarà introdotto il sistema di monitoraggio delle superfici. Tramite tale meccanismo tutti gli Stati membri dovranno **monitorare il 100 % dei pagamenti basati sulla superficie**. L'uso di tali tecnologie rientra nell'impegno costante della Commissione europea a modernizzare e semplificare i processi del sistema integrato di gestione e di controllo (SIGC) nell'ambito della PAC.

L'applicazione EGNSS4CAP utilizzerà i differenziali EGNSS per consentire agli agricoltori di fornire fotografie geolocalizzate e aggiornamenti del SIPA (sistema di identificazione delle parcelle agricole) che sostengono e integrano un approccio di monitoraggio della PAC basato su Sentinel di Copernicus.

Lo strumento è open source, disponibile gratuitamente e può essere integrato da qualsiasi sviluppatore Android o iOS. Dispositivi del mercato di massa quali smartphone e tablet saranno in grado di gestire l'applicazione e utilizzare il GNSS per fornire la localizzazione e la sincronizzazione delle fotografie, garantendo la precisione e l'autenticazione necessarie per la rendicontazione agli organismi pagatori.

Lo **strumento di sostenibilità per le aziende agricole (FaST, Farm Sustainability Tool)** è una piattaforma di servizi digitali che mette a disposizione degli agricoltori dell'UE, degli organismi pagatori degli Stati membri, dei consulenti agricoli e degli sviluppatori di soluzioni digitali capacità per l'agricoltura, l'ambiente e la sostenibilità. FaST sosterrà gli agricoltori nei loro processi decisionali amministrativi concernenti la redditività delle aziende agricole e la sostenibilità ambientale.

L'**EGNSS sarà parte integrante di FaST** in quanto consentirà agli agricoltori di combinare i dati di osservazione della Terra con il posizionamento in tempo reale e di comunicare informazioni geolocalizzate alle autorità degli Stati membri.

Sebbene non siano considerati una fonte primaria di informazioni per il **sistema di identificazione delle parcelle agricole (SIPA)**, i dati raccolti in loco utilizzando il **GNSS forniscono un prezioso contributo** alla manutenzione del SIPA. La maggior parte delle informazioni sul campo che utilizzano GNSS impiegate per il SIPA sono raccolte durante i classici controlli in loco delle dichiarazioni degli agricoltori. Inoltre gli ispettori sul campo sono tenuti a segnalare eventuali parcelle di riferimento non corrette e lo strato per le aree di interesse ecologico. Alcuni Stati membri stanno inoltre conducendo occasionalmente indagini sul campo più sistematiche utilizzando il GNSS.

Il progetto **NIVA (New IACS Vision in Action)** modernizza il SIGC con soluzioni digitali e strumenti elettronici, creando metodologie affidabili e insiemi di dati armonizzati per monitorare le prestazioni agricole, riducendo nel contempo gli oneri amministrativi per gli agricoltori, gli organismi pagatori e altri portatori di interessi.

Il caso d'uso **UC4a "Geotagged Photos"** del progetto NIVA consiste nella progettazione e nello sviluppo di un'applicazione per dispositivi mobili al fine di agevolare un agricoltore e/o un consulente nel caricare una fotografia geolocalizzata come prova a sostegno delle applicazioni del regime. Il progetto sfrutterà le nuove caratteristiche del GNSS che impediscono lo spoofing dell'ubicazione (ad esempio, l'autenticazione all'interno del segnale Galileo). L'applicazione dimostrerà le modalità per ricevere le notifiche dal sistema di sostegno e la capacità di inviare notifiche agli agricoltori e di guidarli nel localizzare, nell'allineare, nell'inquadrare e nell'acquisire con successo immagini per i punti di interesse richiesti.

L'utente finale trarrà vantaggio da un maggior numero di opzioni di interazione con l'organismo pagatore. Gli agricoltori possono ridurre le ispezioni in loco se caricano le prove fotografiche dell'attività o chiariscono l'interrogazione. L'amministrazione disporrà di un registro elettronico della risposta e di un profilo completo dell'attività agricola nella parcella in questione.

Nell'ambito dei regimi ecologici relativi all'[agricoltura di precisione](#), l'EGNSS potrebbe aiutare gli agricoltori a migliorare i piani di gestione delle sostanze nutrienti, a ridurre i fattori produttivi (fertilizzanti, acqua, prodotti fitosanitari) e a migliorare l'efficienza dell'irrigazione o il monitoraggio dell'uso di pesticidi, registrando con precisione l'ubicazione presso la quale i pesticidi sono stati diffusi.

3.4.9 Servizi basati sulla localizzazione

Il dispositivo di navigazione più utilizzato è il nostro telefono cellulare, sul quale i servizi PNT sono utilizzati principalmente per applicazioni di servizi basati sulla localizzazione. In un contesto di urbanizzazione globale e città intelligenti, **i servizi basati sulla localizzazione con funzionalità GNSS sono utilizzati per far fronte ad alcune delle preoccupazioni economiche e sociali più immediate**, quali il miglioramento della produttività del lavoro, la facilità di movimento, il tracciamento delle persone, la gestione delle risorse e i servizi efficaci finalizzati a facilitare le interazioni dei consumatori ([relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti dei servizi basati sulla localizzazione](#), solo in EN).

Le soluzioni basate su GNSS comprendono una miriade di applicazioni, tra cui la navigazione, la mappatura, il SIG (sistema di informazione geografica), il geomarketing e la pubblicità, la sicurezza e l'emergenza, lo sport, i giochi, la salute, il tracciamento, la realtà aumentata, le reti sociali, l'infotainment. Numerose di queste applicazioni richiedono rigorosi livelli di precisione orizzontale e verticale e l'autenticazione del posizionamento (ad esempio, fatturazione basata sulla localizzazione per prevenire le frodi).

Le attività di standardizzazione relative ai servizi basati sulla localizzazione possono essere suddivise in **segnalamento**, requisiti di **prestazione** per il posizionamento, compresi GNSS e A-GNSS (GNSS assistito), e procedure di **prova**. I principali organismi di normazione sono il [3GPP \(progetto di partenariato di terza generazione\)](#), l'[Open Mobile Alliance \(OMA\)](#), l'[ETSI TC SES](#) e il CEN-CENELEC.

Secondo quanto indicato dal [regolamento delegato \(UE\) 2019/320 della Commissione](#) del 17 marzo 2022, tutti gli **smartphone immessi nel mercato unico europeo** devono offrire la possibilità di inviare informazioni sulla localizzazione derivate da dispositivi portatili utilizzando segnali Galileo, oltre a segnali di altri GNSS, al **servizio di emergenza** del centro di raccolta delle chiamate di emergenza più vicino. L'obiettivo è migliorare la localizzazione delle [chiamate di emergenza al 112](#) per accelerare i tempi di risposta e, di conseguenza, salvare più vite umane ([relazione dell'EUSPA sul mercato dei servizi GNSS e dell'osservazione della Terra 2022 - Servizi basati sulla localizzazione](#)). La grande maggioranza degli smartphone è già conforme ai requisiti, che sono valutati dagli organismi notificati mediante procedure di valutazione della conformità, utilizzando gli [orientamenti](#) forniti dalla Commissione europea. Questa funzionalità è attivata paese per paese in funzione della prontezza tecnica e operativa della [localizzazione avanzata di emergenza \(AML, Advanced Mobile Location\)](#).

Due norme per smartphone abilitati all'uso del 5G e del 4G, pubblicate dal 3GPP nel 2020 e nel 2021 ([3GPP TS 36.171 versione 16.1.0, edizione 16](#), e [3GPP TS 38.171 versione 16.2.0, edizione 16](#)), *Requirements for support of Assisted Global Navigation Satellite System (A-GNSS)*, prevedono un approccio indipendente dalla costellazione (ossia il fabbricante del dispositivo deve selezionare il sistema con il satellite avente il livello di segnale più elevato). Si tratta di un importante passo di sicurezza che si sposta da un "approccio incentrato sul GPS", indipendentemente dal tempo per la prima determinazione della posizione fornito da altre costellazioni.

A seguito della [disponibilità di pseudodistanze sul sistema operativo Android](#), la [task force per le misurazioni grezze](#) mira a colmare il divario di conoscenze tra gli utilizzatori delle misurazioni grezze e le industrie. Inoltre, sono in corso **campagne di prova EUSPA/JRC** per valutare le prestazioni e le caratteristiche di funzionalità specificamente destinate agli smartphone e ad altri dispositivi per il mercato di massa.

Infine la [task force per la navigazione PNT 5G](#) contribuisce ai lavori del 3GPP sui PNT e promuove l'**inclusione dell'EGNSS nell'ecosistema PNT 5G**, garantendo che le specifiche tecniche prodotte dal 3GPP tengano conto anche della possibilità di **integrare l'EGNSS con il 5G**, nel caso in cui la copertura GNSS non

sia disponibile (ad esempio ambienti chiusi), ma anche al fine di migliorare la precisione di posizionamento in condizioni nominali. Inoltre negli ultimi anni l'architettura e i protocolli di posizionamento 5G sono stati adeguati per sostenere la fornitura dei dati di assistenza necessari per le tecniche GNSS ad alta precisione (ad esempio RTK, PPP, ecc.), tanto in unicast quanto mediante trasmissione, con i primi prodotti e servizi che iniziano a emergere tanto in Europa quanto negli Stati Uniti.

3.4.10 Ricerca e salvataggio

L'obiettivo delle operazioni globali di ricerca e salvataggio (SAR) è localizzare rapidamente e aiutare le persone in difficoltà. Sebbene non tutti i radiofari di ricerca e salvataggio siano dotati di funzionalità GNSS, si registra una tendenza crescente verso l'adozione di GNSS tra tali radiofari.

Il [programma COSPAS-SARSAT](#) è un sistema satellitare internazionale di rilevamento degli avvisi di emergenza di ricerca e salvataggio. Attualmente il **servizio SAR Galileo contribuisce** a tale sistema ritrasmettendo rapidamente i segnali di emergenza di radiofari ai pertinenti equipaggi SAR, utilizzando i payload dedicati a bordo dei satelliti Galileo e tre stazioni terrestri installate in tutta Europa (cfr. sezione [3.2.7](#) per ulteriori informazioni). Il servizio SAR richiede ricevitori abilitati al SAR (radiofari).

La disponibilità del servizio SAR di Galileo va a beneficio di tutti i settori in cui, in ragione della natura delle loro operazioni, è in gioco la vita delle persone, in particolare il settore marittimo e quello dell'aviazione.

Per il settore **marittimo**, l'IMO ha istituito nel 1988 il [sistema mondiale di sicurezza e soccorso in mare \(GMDSS\)](#), con l'intenzione di consentire sempre alle navi di inviare e ricevere informazioni sulla sicurezza in mare. Tale sistema ha raggiunto lo stato operativo entro il 1997.

Le navi devono essere dotate di radiofari per individuare la posizione via satellite in caso di emergenza e di radiofari di localizzazione personale che, una volta attivati, trasmettono le informazioni necessarie alle autorità di emergenza. I radiofari AIS-SART (trasmettitori di ricerca e salvataggio) e AIS-MOB (uomo in mare) non solo trasmettono la posizione della persona in difficoltà, ma condividono anche tale posizione con le navi nelle vicinanze attraverso il sistema di identificazione automatica (AIS), indirizzando un segnale di emergenza AIS sul sistema di visualizzazione di carte nautiche elettroniche (ECDIS, *Electronic Chart Display Information System*) alle navi nelle vicinanze.

Nel settore dell'**aviazione**, a seguito delle tragedie dei voli Air France 447 e Malaysia Airlines 370 e tenuto conto del tempo impiegato per localizzare l'aeromobile, l'ICAO ha istituito il [sistema globale di sicurezza e emergenza aeronautiche \(GADSS, Global Aeronautical Distress and Safety System\)](#) il quale garantisce che gli aeromobili siano tracciati e che la loro posizione più recente nota, derivata da GNSS, sia sempre registrata, mantenendo un registro aggiornato degli spostamenti dell'aeromobile. In base alle attuali norme e pratiche raccomandate in materia di tracciamento degli aeromobili, gli aeromobili in condizioni di volo normali devono essere tracciati ogni 15 minuti. L'ultimo aggiornamento dell'annesso 6 dell'ICAO impone la segnalazione autonoma della posizione ogni minuto quando l'aeromobile è in difficoltà. La norma per l'elemento di tracciamento delle emergenze del GADSS sarà applicabile a decorrere dal 1° gennaio 2025 ai velivoli con un primo certificato di aeronavigabilità individuale emesso il 1° gennaio 2024 o dopo tale data.

Gli aeromobili devono essere dotati di trasmettitori di localizzazione di emergenza o di radiofari di individuazione personale che forniscano assistenza alle operazioni di ricerca e salvataggio in caso di incidente. In linea con i requisiti di cui all'annesso 10 dell'ICAO (e con le norme stabilite nell'annesso 6 dell'ICAO) e con l'attuazione del GADSS, numerosi trasmettitori di localizzazione di emergenza utilizzano GNSS per segnalare la loro posizione, se attivati.

Infine i servizi SAR sono ampiamente utilizzati anche sulla **terraferma**, infatti chi si dedica all'escursionismo o alle scalate è invitato a dotarsi di un radiofaro di individuazione personale da utilizzare in caso di difficoltà.

Maggiori informazioni sui servizi SAR di Galileo sono disponibili sulla [pagina web dell'EUSPA](#). La [relazione dell'EUSPA sul mercato dei servizi GNSS e dell'osservazione della Terra 2022](#) contiene informazioni sul

mercato connesso ai servizi SAR, mentre la [relazione dell'EUSPA sulla tecnologia per gli utenti di GNSS](#) fornisce una panoramica della tecnologia esistente.

3.4.11 Mappatura e rilevamento topografico

Secondo le previsioni, il mercato della mappatura e del rilevamento topografico in generale e il suo utilizzo del GNSS dovrebbero registrare una crescita significativa nei prossimi anni, in particolare nelle regioni del mondo in cui non esistono sistemi alternativi preesistenti o fitte reti di terra geodetiche. Si prevede una crescita significativa anche nelle regioni con un'intensa attività edilizia, nelle quali l'importanza dei rilevamenti catastali aumenterà anche in funzione dell'aumento del PIL e della popolazione. In tale contesto, il rilevamento topografico basato su GNSS risponde ad alcune delle preoccupazioni economiche e sociali più immediate, quali l'aumento dell'urbanizzazione, l'aumento della domanda di idrocarburi e la modernizzazione delle esigenze di trasporto, come descritto nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti del rilevamento](#) (solo in EN).

Le soluzioni basate su GNSS comprendono un'ampia serie di applicazioni, tra cui il rilevamento catastale (definizione dei confini di proprietà), il rilevamento di opere di costruzione (definizione precisa degli edifici e delle infrastrutture), la mappatura (carte che contengono punti di interesse e sono generalmente integrate nei sistemi di informazione geografica), il rilevamento minerario e il rilevamento marino (offshore e idrografico).

Tuttavia il ruolo del rilevamento topografico GNSS tradizionale sta attraversando una rapida trasformazione grazie all'integrazione di **applicazioni emergenti**, quali quelle ottiche, multispettrali o LiDAR (radar laser), la scansione laser terrestre, gli UAS (sistemi aeromobili senza equipaggio), l'unità di misura inerziale (IMU), la localizzazione e la mappatura simultanee (SLAM), la realtà aumentata, la mappatura mobile e la mappatura partecipativa. Inoltre queste applicazioni geomatiche emergenti si concentrano principalmente sull'attuazione di soluzioni direttamente nel cloud.

Grazie alla digitalizzazione, la **BIM** (modellazione delle informazioni relative agli edifici) e i **sistemi di informazione geografica (SIG)** sono ora integrati in un unico ambiente olistico per produrre gemelli digitali. Il processo di modellazione 3D precisa, comune a entrambi gli aspetti di cui sopra, è alimentato da **dati di localizzazione GNSS ad alta precisione**. Se memorizzate ed elaborate nel cloud, le informazioni GNSS, GIS e BIM consentono ai portatori di interessi dell'intero settore dell'edilizia di gestire a distanza i dati ovunque e di produrre progetti migliori di edifici/infrastrutture con risparmi a lungo termine.

Un altro esempio è la pianificazione urbana. La tecnologia SLAM, con la sua integrazione laser/IMU/fotocamera, e gli scanner laser portatili hanno aperto un campo enorme per una modellazione realistica dettagliata all'interno di edifici. Se combinati con ricevitori GNSS, tali sistemi forniscono una transizione senza soluzione di continuità tra ambienti interni e all'aperto.

Con l'emergere di numerosi nuovi metodi e strumenti, lo stesso vale per la **necessità di requisiti e norme ben definiti**. All'interno dei sistemi di mappatura mobile, una serie di norme disciplinerebbe la fusione dei dati di GNSS con i dati provenienti da LiDAR, fotocamere ottiche, strumenti inerziali, laser e contachilometri. Altri settori chiave che richiedono requisiti e norme rigorosi sono il posizionamento senza soluzione di continuità tra ambienti chiusi e all'aperto e il PPP-RTK. Anche i recenti progressi delle applicazioni di realtà aumentata che si basano sulla precisione e sulla disponibilità di GNSS trarrebbero vantaggio dalle norme.

In considerazione dei rigorosi requisiti di precisione per la mappatura e il rilevamento topografico (fino al livello di centimetri o di millimetri), sono di fondamentale importanza i servizi di potenziamento quali **la cinematica in tempo reale (RTK), il posizionamento a punto preciso (PPP)** e il servizio PPP-RTK, sviluppato di recente. Le correzioni **RTK** e PPP multi-GNSS sono supportate nel protocollo standard della Commissione radiotecnica per i servizi marittimi (RTCM), per un'unica stazione o rete di riferimento (NTRIP) o PPP.

L'attuazione del servizio **PPP-RTK** nel contesto del protocollo RTCM non è ancora disponibile. Di conseguenza, è stato registrato un forte impulso alla standardizzazione delle correzioni del servizio PPP-

RTK attraverso nuovi messaggi nell'ambito del protocollo RTCM, mentre nel frattempo vari portatori di interessi del settore e iniziative scientifiche hanno proposto altri protocolli o altre norme (ad esempio IGS, Sapcorda, 3GPP, ecc.).

Al fine di superare le sfide relative alla mancanza di disponibilità, qualità, organizzazione, interoperabilità, accessibilità e condivisione delle **informazioni territoriali**, comuni a numerosi settori e a vari livelli di autorità pubblica in Europa, l'UE ha adottato la [direttiva Inspire \(l'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea\)](#). L'Inspire rafforzerà la **condivisione delle informazioni territoriali ambientali** tra le organizzazioni del settore pubblico e faciliterà meglio l'accesso del pubblico alle informazioni ambientali in tutta Europa. La mappatura e il rilevamento topografico, che utilizzano servizi e strumenti di raccolta di geodati, compresi quelli basati su EGNSS, sono direttamente collegati a Inspire.

Su tale base, è essenziale garantire la capacità di combinare dati territoriali e servizi provenienti da fonti diverse (interoperabilità dei dati) in tutta l'UE in modo coerente senza ulteriori sforzi da parte di esseri umani o macchine. L'interoperabilità dei dati all'interno di Inspire è garantita, tra l'altro, **imponendo l'uso di un sistema di coordinate comune, il sistema di riferimento terrestre europeo 1989 (ETRS89)**. Ciò garantisce che i dati geospaziali, derivati da EGNSS, siano pienamente compatibili e integrati nelle applicazioni degli utenti finali, determinando una conseguente accelerazione dell'uso dell'EGNSS.

Il **controllo delle macchine** costituisce una parte importante e in crescita del mercato del rilevamento. Come indicato nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze e sui requisiti degli utenti della mappatura e del rilevamento topografico](#), i mercati di riferimento più importanti sono il settore delle **costruzioni** e quello dell'**estrazione mineraria** (ad esempio, controllo e guida semiautomatica di veicoli in macchine di movimento terra o apparecchiature minerarie) nel contesto dei quali una precisione a livello di centimetro è necessaria al fine di aumentare la produttività e ridurre i costi. Di recente le **operazioni portuali** di interporto sono diventate un nuovo mercato in cui, a differenza degli altri due segmenti in cui il controllo delle macchine è attuato dai costruttori di veicoli, le operazioni portuali sono realizzate dai produttori di gru che integrano l'hardware con il software logistico e di gestione portuale. I suoi principali vantaggi consistono nella gestione del carico delle navi, nella logistica delle attività di carico, nell'aumento della velocità operativa e della sicurezza. Tutto ciò, combinato con il ricorso al GNSS e a diversi sistemi PNT, crea una competenza europea unica.

La [direttiva "Macchine" \(2006/42/CE\)](#), che stabilisce i requisiti per le macchine, i componenti di sicurezza, gli accessori di sollevamento (quali catene e funi) e altri prodotti correlati, è ampiamente utilizzata dai fabbricanti dell'UE per garantire un livello comune di sicurezza nelle macchine immesse sul mercato e per mantenere i diritti di proprietà intellettuale (DPI) all'interno dell'UE.

3.4.12 Misurazione del tempo e sincronizzazione precise (finanza, reti elettriche, comunicazione)

La trasmissione di energia elettrica, il funzionamento delle reti di telecomunicazione, la marcatura temporale delle transazioni finanziarie, i sistemi di gestione del traffico aereo, i sistemi di trasporto, le piattaforme satellitari, i sistemi idrici e di trattamento delle acque reflue, le applicazioni scientifiche (astronomia, fisica delle particelle, geofisica, metrologia), le trasmissioni televisive digitali, le reti LTE a piccole celle (femto, pico e microcelle), l'Internet delle cose (IoT) sono soltanto alcuni esempi della **miriade di applicazioni che si basano su GNSS per fini di misurazione del tempo e sincronizzazione** (ulteriori informazioni sono riportate nella [relazione del GSC sulle esigenze degli utenti della misurazione del tempo e della sincronizzazione](#) (solo in EN) e nella [relazione de GSC sulla tecnologia per gli utenti di GNSS](#) (solo in EN)).

Sebbene relativamente sconosciuta al pubblico, la capacità di **misurazione del tempo e sincronizzazione offerta dai sistemi di navigazione satellitare** è diventata **essenziale per le infrastrutture critiche**. La **solidità e la resilienza nei servizi di misurazione del tempo e sincronizzazione sono fondamentali** per evitare gravi perturbazioni del funzionamento delle infrastrutture critiche. Inoltre, poiché le infrastrutture

in Europa sono altamente interconnesse, l'aumento della resilienza della rete non può essere conseguito da uno Stato membro che agisca da solo.

Galileo, utilizzato come fonte primaria di informazioni di sincronizzazione o come soluzione di ridondanza, **contribuirà** a un **servizio di sincronizzazione GNSS più resiliente** migliorando tanto la disponibilità del servizio di sincronizzazione (portando un'altra costellazione indipendente) quanto fornendo diversi valori aggiunti, quali l'autenticazione, una circostanza questa che aumenta la resilienza allo spoofing.

EGNOS offre informazioni di sincronizzazione ottenute da satelliti GEO o attraverso il servizio EDAS terrestre, consentendo agli utenti di accedere ai dati online in tempo reale e attraverso due canali diversi.

Nell'UE, un passo importante è stata la creazione formale di un [servizio di sincronizzazione di Galileo](#) indipendente nell'ambito della missione di Galileo di seconda generazione, che sfrutta le capacità intrinseche di Galileo come sistema GNSS e apporta funzionalità aggiuntive per soddisfare meglio le esigenze specifiche degli utenti della misurazione del tempo e della sincronizzazione:

- **elevata disponibilità** del servizio di sincronizzazione nel suo complesso;
- **miglioramento della precisione** per tutti i parametri di sincronizzazione;
- **requisiti specifici** per l'ora del sistema Galileo (GST), che lo rendono un riferimento molto efficiente per le applicazioni di sincronizzazione;
- la **funzione di monitoraggio del servizio di sincronizzazione di Galileo**, che rafforzerà in modo significativo la solidità del servizio di sincronizzazione e la fiducia nelle soluzioni di sincronizzazione ottenute tramite Galileo. Grazie alla funzione di monitoraggio, gli utenti saranno informati attraverso specifiche segnalazioni di guasti che potrebbero incidere sulla conformità dei livelli dei servizi di sincronizzazione. Ciò è particolarmente importante per le applicazioni relative alle infrastrutture critiche.

Il concetto di servizio di sincronizzazione di Galileo comprende anche lo sviluppo di una **norma per i ricevitori di sincronizzazione Galileo**. Tale norma garantirà il corretto contributo del ricevitore utente come elemento fondamentale per le prestazioni end-to-end. Comprenderà anche l'attuazione di barriere locali, quali il T-RAIM (RAIM della sincronizzazione), per migliorare ulteriormente la solidità complessiva. Lo sviluppo di tale norma, la prima norma in assoluto in materia di ricevitori di sincronizzazione GNSS, è formalmente in corso in seno al CEN-CENELEC.

Infine la sincronizzazione precisa è fornita anche da tecnologie non GNSS che migliorano ulteriormente o fungono da riserva per i servizi di sincronizzazione basati sul GNSS, quali i sistemi a onde lunghe (appendice A, sezione [5.2.7](#)) e le tecnologie emergenti (appendice A, sezione [5.3](#)). L'offerta di sincronizzazione alternativa è già disponibile in commercio nell'Unione europea, come confermato da uno [studio del 2022](#) condotto dalla Commissione europea. Nel mercato esistono servizi maturi di sincronizzazione alternativa che **distribuiscono** un'ora precisa su lunghe distanze, mentre l'UE dispone di una rete unica distribuita di istituti metrologici nazionali (NMI) che può essere utilizzata per **generare** un tempo preciso sincronizzato rispetto all'UTC(k).

3.4.13 Utenti spaziali

Il **mercato dei GNSS per lo spazio è in rapida evoluzione** nell'ultimo decennio, il che ha portato a un profondo cambiamento di paradigma nell'industria spaziale. Caratterizzato dall'apertura del settore ad attori non governativi e più orientati alle imprese, è emerso un approccio allo spazio dirompente orientato dal punto di vista commerciale, associato a importanti progressi tecnologici, che determina la presenza di numerosi satelliti e servizi spaziali nonché l'aumento del loro numero. Entrando nel terzo millennio, circa 800 satelliti orbitavano attivamente intorno alla Terra. Vent'anni dopo, questo numero supera ora le 3 000 unità e, secondo le previsioni, dovrebbe quadruplicarsi nel prossimo decennio. Sottolineando la democratizzazione dello spazio nella nostra società e la convergenza del settore con attività umane sempre più digitalizzate, lo sviluppo di nuovi sistemi di mega-costellazioni satellitari sulle orbite terrestri basse (LEO) è un indicatore di questa nuova era.

Con satelliti fabbricati in lotti, lanci che si verificano quasi ogni giorno, apparecchiature prodotte in massa e processi industrializzati, l'ambiente spaziale è progressivamente considerato un bene di base e i **ricevitori GNSS spaziali sono sempre più comuni** e rilevanti per gli utenti spaziali, dalle altitudini LEO (ossia 300 km) fino all'orbita di trasferimento alla Luna (MTO, *Moon Transfer Orbit*).

I ricevitori GNSS spaziali **non sono fundamentalmente diversi dai ricevitori GNSS classici**. Svolgono le medesime operazioni e forniscono i medesimi servizi in termini di posizione, velocità e ora, ma devono far fronte ai **vincoli specifici dell'ambiente spaziale** (ad esempio, elevata dinamica, ridotta potenza e visibilità del segnale, radiazioni solari). A seconda della missione prevista dal veicolo spaziale, il ruolo del ricevitore GNSS incorporato varia. Se da un lato possono essere utilizzati come sottosistemi di guida e di controllo della navigazione (ossia per la determinazione dell'orbita, la determinazione dell'assetto o la sincronizzazione precisa), dall'altro possono essere utilizzati anche come uno dei payload che servono direttamente gli obiettivi della missione (ad esempio, misurazioni dell'occultazione radio).

I **vantaggi delle soluzioni basate su GNSS a bordo dei veicoli spaziali** spaziano dalla riduzione della dipendenza dei veicoli spaziali dalle stazioni terrestri al miglioramento delle prestazioni di navigazione. Anche la sicurezza delle infrastrutture spaziali è diventata un fattore trainante per gli sviluppi spaziali, in quanto la minaccia di capacità di offensiva nei confronti di risorse spaziali è in aumento. Al fine di agevolare lo sviluppo, per gli utenti spaziali, di soluzioni GNSS che beneficerebbero dell'uso combinato dei sistemi di navigazione globali e regionali esistenti, il [Comitato internazionale per i sistemi globali di navigazione satellitare \(ICG\)](#) ha pubblicato il documento [The Interoperable GNSS Space Service Volume](#) per sfruttare i vantaggi dei sistemi di navigazione globali e regionali esistenti se utilizzati congiuntamente per fornire capacità migliorate.

Nell'UE, la principale iniziativa volta ad agevolare l'uso di Galileo da parte di utenti spaziali è la definizione formale di un **volume del servizio di radiocomunicazioni spaziali Galileo** nell'ambito della missione **per Galileo di seconda generazione** (cfr. [3.2.1.2](#) per ulteriori informazioni). Ciò garantirà l'attuazione di tutte le attività necessarie per consentire a Galileo di assumere impegni al livello di prestazione che gli utenti spaziali possono conseguire quando utilizzano i segnali Galileo nello spazio. È importante ricordare che i **segnali Galileo sono i più adatti per gli utenti spaziali** tra i sistemi GNSS grazie alle altitudini più elevate dei satelliti Galileo e alle capacità di autenticazione offerte dall'[autenticazione dei messaggi di navigazione del servizio aperto di Galileo](#).

Infine, la **convalida** delle prestazioni **della determinazione precisa dell'orbita a partire dai segnali Galileo** in una configurazione tipica di ricevitori a basso costo è in corso nel quadro della [dimostrazione/convalida in orbita di Orizzonte 2020 \(IOD/IOV\)](#).

Maggiori informazioni sono riportate nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti spaziali](#) (solo in EN).

3.4.14 Sicurezza e difesa

Le **operazioni militari e di sicurezza si basano in larga misura su dati spaziali e su capacità spaziali**, comprese quelle a duplice uso, per fornire servizi sicuri, affidabili e altamente efficienti in un contesto di minacce in evoluzione. La [bussola strategica per la sicurezza e la difesa](#) ha individuato lo spazio come un settore strategico e ha chiesto una [strategia spaziale dell'UE per la sicurezza e la difesa](#), pubblicata nel marzo 2023.

Il [programma dell'UE per la ricerca e l'innovazione in materia di sicurezza](#) e le azioni di ricerca e sviluppo del [polo tematico 3 "Sicurezza civile per la società" di Orizzonte Europa](#) e i suoi predecessori nell'ambito di [Orizzonte 2020](#), del [PQ7](#) e dell'[azione preparatoria per la ricerca in materia di sicurezza \(PASR\)](#), che dal 2004 ha finanziato oltre 700 progetti, promuovono la cooperazione e comprendono lo sviluppo e lo sfruttamento di PNT/GNSS per gli operatori della sicurezza, quali l'applicazione della legge, la gestione delle frontiere, la sicurezza marittima, la protezione delle infrastrutture critiche e la resilienza alle catastrofi. **I progetti di sicurezza del polo tematico 3 di Orizzonte Europa prevedono il ricorso al programma spaziale dell'UE ogniquale si sviluppano capacità PNT pertinenti.**

Le azioni di ricerca e sviluppo del [Fondo europeo per la difesa \(FED\)](#) e dei suoi predecessori, ossia il [programma europeo di sviluppo del settore industriale della difesa \(EDIDP\)](#) e l'[azione preparatoria sulla ricerca in materia di difesa \(PADR\)](#), comprendono lo sviluppo di Galileo e di altre tecnologie PNT per gli utenti militari. Il Fondo europeo per la difesa promuove la cooperazione tra le imprese e attori del settore della ricerca di ogni dimensione e origine geografica nell'UE, ai fini della realizzazione di tecnologia e attrezzature di difesa all'avanguardia e interoperabili. Mira inoltre a migliorare le prestazioni e la resilienza dei sistemi PNT al fine di conseguire l'obiettivo di accesso ininterrotto ai servizi PNT in tutto il mondo.

Tra i numerosi progetti aggiudicati, le seguenti azioni di ricerca e sviluppo sono rilevanti per i servizi PNT:

- [GEODE - Galileo per la difesa dell'UE](#), EDIDP 2019 - metterà a punto prototipi, sottoporrà a prova e qualificherà molteplici soluzioni PNT abilitate al servizio pubblico regolamentato di Galileo per esigenze e applicazioni specifiche nel settore della difesa (7 moduli di sicurezza PRS, 9 ricevitori PRS, 4 antenne con diagramma di radiazione controllato compatibili con il PRS di GPS/Galileo) e un impianto europeo di prova e qualifica dei servizi PNT. Sarà inoltre sviluppata un'infrastruttura PRS per garantire la disponibilità delle risorse di sicurezza necessarie per la prova operativa dei ricevitori. Saranno organizzate prove sul campo operativo militare su piattaforme navali e terrestri, RPAS, sistemi di misurazione del tempo e sincronizzazione in più Stati membri;
- [QUANTAQUEST - Comunicazione e navigazione sicure quantistiche per la difesa europea](#), PADR 2019 - contribuirà all'applicabilità delle tecnologie quantistiche nel settore militare e all'autonomia strategica dell'Europa. La navigazione e la sincronizzazione saranno realizzate mediante un sensore completamente indipendente basato su chip ad atomi freddi e un circuito integrato fotonico che forniscano le prestazioni e la portabilità richieste. La comunicazione sicura sarà migliorata da un nuovo regime di modulazione per attuare la distribuzione quantistica delle chiavi. La compatibilità delle operazioni sul campo sarà garantita con un approccio allo spazio libero. L'interfaccia quantistica sarà attuata come un portale di apertura verso una rete quantistica di sensori;
- [NAVWARD \(Resilienza del PRS di Galileo avanzato per la difesa UE\)](#), FED 2021) rafforzerà la resilienza del PRS di Galileo attraverso nuovi sistemi terrestri e spaziali. Svilupperà una capacità europea NAVWAR che fa affidamento sulla sorveglianza dello spettro GNSS basata su sistemi terrestri e spaziali per rilevare attività illegittime nelle bande di frequenza GNSS e localizzare le loro fonti. Questo progetto provvederà inoltre alla progettazione, allo sviluppo di prototipi e alle prove di un sottosistema di gestione delle informazioni unitamente a un'interfaccia utente per stabilire un quadro di conoscenza situazionale. Cinque diversi ricevitori mobili PRS contribuiranno alla capacità generale NAVWAR insieme a una dimostrazione in orbita di un sistema di potenziamento spaziale del PRS;

- i progetti [AI-ARC \(Sala di controllo virtuale per l'Artico basata sull'intelligenza artificiale\)](#) e [FOLDOUT \(Rilevamento attraverso il fogliame, anche nelle regioni ultraperiferiche dell'UE\)](#) svilupperanno e sfrutteranno le capacità PNT per la sicurezza marittima e la sorveglianza per fini civili.

3.4.15 Esigenze degli utenti di viaggi multimodali

Il GNSS è utilizzato dagli operatori dei trasporti e dai fornitori di servizi su richiesta (*on-demand*) in vari modi, a partire da una gestione più efficiente della flotta, fino a giungere a informazioni precise sui passeggeri. **Le soluzioni basate su GNSS possono consentire altresì un ulteriore sviluppo di tipi di trasporto sostenibili** fungendo da base per la mobilità condivisa, come nel caso dei veicoli condivisi o delle biciclette a flusso libero (*free-floating*).

Sebbene l'attuale utilizzo del GNSS nel trasporto pubblico sia relativamente limitato rispetto ad altri settori, un numero crescente di operatori del trasporto pubblico utilizza applicazioni basate su Galileo nelle sue operazioni quotidiane. Questa **tendenza crescente a utilizzare soluzioni basate su GNSS** non si limita ai trasporti pubblici, ma si riflette anche nelle soluzioni in costante crescita relative alla mobilità come servizio (*mobility-as-a-service*), come descritto nella [relazione dell'EUSPA sulle esigenze degli utenti di trasporti pubblici](#) (solo in EN). Il ricorso a GNSS è importante per fornire informazioni ai passeggeri sulla localizzazione in tempo reale dei veicoli (trasporti pubblici e *on-demand*) e sui ritardi nella programmazione, come richiesto dal [regolamento delegato \(UE\) 2017/1926 della Commissione](#) sui servizi di informazione sulla mobilità multimodale.

Due categorie principali coprono l'aumento di servizi basati su GNSS:

- **mobilità intelligente:** l'efficienza dei trasporti pubblici richiede prestazioni migliori per le soluzioni basate su GNSS. In tale contesto, i ricevitori multiconstellazione multifrequenza saranno in grado di migliorare il posizionamento in ambienti urbani al fine di soddisfare le applicazioni più impegnative, come la prevenzione delle collisioni, il mantenimento della corsia e la frenatura automatica, che richiederanno autenticazione, integrità e solidità. Inoltre la crescente combinazione di diversi modi di trasporto per il medesimo viaggio richiede informazioni in tempo reale sull'ubicazione dei veicoli e sui ritardi;
- le **applicazioni critiche per la sicurezza**, quali la frenata di emergenza per tram o il controllo delle porte per i treni, possono essere attivate grazie ai segnali EGNSS e a servizi specifici (OSNMA e HAS di Galileo).

3.4.16 Trasporto merci e logistica

La trasformazione digitale del settore del trasporto merci e della logistica, compresa l'attuazione del [regolamento \(UE\) 2020/1056 relativo alle informazioni elettroniche sul trasporto merci](#) e i lavori del [Forum per la logistica e il trasporto digitale](#) incentrati sul sistema di informazione sui trasporti e sui corridoi merci senza supporto cartaceo, offrono la possibilità di sviluppare una serie di **servizi nuovi per il trasporto multimodale e la logistica, comprese le tecnologie PNT**.

Esempi di utilizzo del GNSS in questo settore sono:

- il **tracciamento in tempo reale di container** all'interno della catena logistica multimodale e tra i modi e i soggetti della logistica è reso possibile dall'accesso in tempo reale a informazioni in materia di posizionamento, navigazione e sincronizzazione. Ciò consente altresì di utilizzare sistemi di monitoraggio diagnostico a distanza in tempo reale;
- l'uso dei dati PNT che collegano il **trasporto di merci pericolose** ai servizi di emergenza in caso di incidenti, fornendo l'ubicazione in tempo reale del veicolo che trasporta merci pericolose e il contenuto esatto del suo carico;

- il miglioramento dei **servizi di gestione del trasporto merci** da parte dei portatori di interessi, come i fornitori di servizi ferroviari, dovrebbe diventare sempre più incentrato sulle risorse. Gli operatori ferroviari e i gestori dell'infrastruttura beneficiano della digitalizzazione perché migliora la **gestione delle risorse** e la loro manutenzione, riducendo in tal modo i costi operativi. La Commissione europea riconosce le ferrovie come un mezzo di trasporto merci sostenibile, intelligente e sicuro con ricevitori GNSS utilizzati per il trasporto di materiale rotabile (oltre 50 000 carri merci di più imprese ferroviarie dell'UE sono già dotati di soluzioni telematiche basate su GNSS).

Ulteriori informazioni sono disponibili nella [relazione dell'EUSPA sul mercato dei servizi GNSS e dell'osservazione della Terra 2022](#).

3.5 Cooperazione dell'UE in materia di navigazione satellitare

L'UE coopera con diversi paesi e diverse organizzazioni internazionali in materia di navigazione satellitare. Tale cooperazione va dalla partecipazione dei paesi terzi alle componenti del programma spaziale dell'UE alla cooperazione basata su accordi di cooperazione GNSS.

In termini di partecipazione alle componenti del programma spaziale dell'UE:

- la **Norvegia** partecipa a [Galileo](#), [EGNOS](#) e [Copernicus](#) attraverso i meccanismi dello [Spazio economico europeo \(SEE\)](#);
- l'**Islanda** partecipa a [EGNOS](#) e [Copernicus](#) attraverso lo Spazio economico europeo (SEE);
- la **Svizzera** partecipa a [Galileo](#) ed [EGNOS](#) sulla base dell'accordo di cooperazione GNSS firmato nel 2013.

Esistono inoltre i seguenti **accordi di cooperazione GNSS** in materia di GNSS:

- la **Norvegia** ha firmato nel 2009 la sicurezza, il controllo delle esportazioni e la protezione dello spettro radio nonché delle stazioni Galileo ed EGNOS sul territorio norvegese;
- accordo UE-**ASECNA** (Agenzia per la sicurezza della navigazione aerea in Africa), firmato nel 2016, in materia di sviluppo della navigazione satellitare e di fornitura di servizi associati nella zona di competenza dell'ASECNA a beneficio dell'aviazione civile. Ai sensi di tale accordo, l'UE sostiene l'ASECNA nello sviluppo di un sistema di potenziamento basato su satelliti;
- l'UE ha inoltre concluso accordi di cooperazione GNSS con la **Corea del Sud** e il **Marocco** riguardanti la protezione dello spettro radio, le norme, il commercio e la cooperazione scientifica e tecnica.

L'Unione europea e i suoi Stati membri attuano una **cooperazione privilegiata con gli Stati Uniti** nel settore della navigazione satellitare dal 2004, anno in cui le parti hanno firmato un [accordo per la promozione, la fornitura e l'uso dei sistemi di navigazione satellitare GALILEO e GPS e applicazioni correlate](#). Questa cooperazione mira a garantire che i sistemi GPS e Galileo e i sistemi di potenziamento spaziali siano interoperabili a livello di utente a vantaggio degli utenti civili. La cooperazione mira inoltre a mantenere un commercio equo nel mercato globale della navigazione satellitare. L'accordo UE-USA è stato prorogato nel 2022 con [decisione \(UE\) 2022/1089 del Consiglio](#).

L'accordo GPS-Galileo prevede tre gruppi di lavoro per la cooperazione:

- **gruppo di lavoro A (WG-A) Compatibilità e interoperabilità delle radiofrequenze:** questo gruppo di lavoro garantisce, tra l'altro, che Galileo e GPS siano compatibili a livello di radiofrequenza, in parte attraverso il coordinamento dell'IUT, e mirano a rendere interoperabili, per quanto possibile, i rispettivi segnali civili a livello di sistema e di ricevitore. Il gruppo di lavoro A contribuisce inoltre a coordinare le azioni dell'UE e degli USA in altri consessi normativi a vantaggio dei GNSS;
- **gruppo di lavoro B (WG-B) Commercio e applicazioni civili:** questo gruppo di lavoro mira a garantire che nessuna delle due parti crei ostacoli normativi che ostacolano l'uso del GPS o di Galileo e delle loro applicazioni nei rispettivi mercati;

- **gruppo di lavoro C (WG-C) Progettazione e sviluppo dei sistemi di prossima generazione:** questo gruppo di lavoro opera su tre assi di attività attraverso tre sottogruppi dedicati:
 - sottogruppo Evoluzioni: si concentra sui seguenti settori:
 - azioni di ricerca e sviluppo per l'uso dell'ARAIM nel settore dell'aviazione e in altri settori e contributo alla preparazione delle norme ARAIM per l'aviazione;
 - coordinamento delle azioni di ricerca e sviluppo a lungo termine per GPS/WAAS e Galileo/EGNOS;
 - coordinamento sulla definizione di SBAS di prossima generazione per le comunità di utenti diverse dal settore dell'aviazione;
 - sottogruppo Fornitura di servizi: si concentra su aspetti strategici per la fornitura di servizi di navigazione e gli scambi sugli aspetti, sullo stato e sui piani della fornitura dei servizi GNSS in relazione tanto ad EGNOS/Galileo quanto a WAAS/GPS;
 - sottogruppo Resilienza (ResSG): si concentra sul tema chiave della resilienza dei sistemi GNSS nei confronti di vari tipi di minacce. Nell'ambito di questo gruppo vengono elaborati quadri e norme utilizzati dall'ICAO e da altri organismi. Il ResSG mira quindi a rendere il GPS, Galileo, i loro potenziamenti e le loro applicazioni più resilienti in presenza di interferenze dannose. L'obiettivo a lungo termine è sviluppare soluzioni e proporre raccomandazioni che possano essere integrate nei ricevitori, sistemi e servizi futuri.

L'UE partecipa al [Comitato internazionale per i sistemi globali di navigazione satellitare \(ICG\)](#), istituito nel 2005 attraverso l'Ufficio delle Nazioni Unite per gli affari spaziali. L'ICG promuove la cooperazione in materia di PNT per uso civile e applicazioni mondiali della tecnologia di navigazione satellitare. L'ICG incoraggia il coordinamento tra i fornitori di GNSS, sistemi regionali e potenziamenti, al fine di promuovere una maggiore compatibilità, interoperabilità e trasparenza e promuovere l'introduzione e l'utilizzo di tali servizi e i loro miglioramenti futuri, anche nei paesi in via di sviluppo.

L'UE collabora inoltre con gli Stati membri e altri paesi fornitori di GNSS attraverso l'[Unione internazionale delle telecomunicazioni \(ITU\)](#) al fine di garantire che lo spettro radio, utilizzato per Galileo e altri GNSS, sia disponibile e protetto da interferenze e che le norme globali che disciplinano l'uso delle radiofrequenze non incidano sui GNSS. Tale attività si svolge principalmente nell'ambito dei gruppi di lavoro dell'ITU (principalmente il gruppo di lavoro 4C dell'ITU) e delle conferenze mondiali sulle radiocomunicazioni (WRC), che si svolgono ogni quattro anni.

Infine l'UE lavora anche su questioni relative alla navigazione satellitare internazionale attraverso altri organismi multilaterali, tra cui:

- [Organizzazione per l'aviazione civile internazionale \(ICAO\)](#);
- [Organizzazione marittima internazionale \(IMO\)](#).

4 Visione per i PNT dell'UE

Le parti precedenti descrivevano l'ecosistema PNT nell'Unione europea, discutevano dell'importanza di Galileo ed EGNOS in tutti i mercati e del modo in cui vengono costantemente introdotti servizi nuovi. Hanno inoltre evidenziato le limitazioni e le possibili minacce per i servizi PNT, nonché per le tecnologie PNT emergenti, che rispondono ad alcune di queste preoccupazioni.

La presente parte descrive la visione (a medio termine) dell'ecosistema PNT dell'UE. È costruito tenendo conto delle principali tendenze di costellazioni e segnali nuovi, di miglioramenti dell'hardware e degli algoritmi di elaborazione, dell'aumento delle interferenze di radiofrequenza e della connettività globale.

Dal punto di vista dei **segmenti di mercato**, la tendenza evidenziata nella [relazione dell'EUSPA sulla tecnologia per gli utenti di GNSS 2020](#) è per lo più valida; in tale contesto i servizi PNT saranno combinati a livello di utente in un approccio basato sulla fusione di dati di sensori per ottenere le prestazioni richieste:

- il **mercato di massa** utilizzerà hardware a basso costo, ma richiederà sempre più servizi PNT ad alta precisione (a livello di centimetri), in particolare il servizio ad alta precisione gratuito di Galileo per i sistemi di trasporto intelligenti, fondendo servizi GNSS, potenziati dal PPP, dai dati dei sensori e dal 5G. L'uso della configurazione multicostellazione e doppia frequenza sarà generalizzato;
- i **professionisti** richiederanno servizi multicostellazione e multifrequenza (ad esempio tripla) ad alta precisione pienamente integrati in una gestione del flusso di lavoro connessa e automatizzata. L'intelligenza artificiale sarà generalizzata e rivoluzionerà questo segmento di mercato;
- **le applicazioni critiche in termini di responsabilità e per la sicurezza della vita**, tradizionalmente limitate da regolamenti e norme, adotteranno le nuove tecnologie a un ritmo molto più lento. Sebbene siano in corso lavori importanti volti a sviluppare soluzioni standardizzate multicostellazione e a doppia frequenza, le sfide reali consisteranno nello standardizzare soluzioni resilienti, resistenti alle interferenze di radiofrequenza. Inoltre, l'integrità dei servizi ad alta precisione continuerà a essere perseguita per l'aviazione (con e senza equipaggio) e per i veicoli e le navi a guida autonoma;
- l'importanza della sincronizzazione aumenterà in modo esponenziale, dato che le soluzioni di sincronizzazione temporale e distribuzione dell'ora sono essenziali per i settori delle **infrastrutture critiche**, delle telecomunicazioni, dell'energia, della finanza o dei trasporti. La sincronizzazione resiliente diventerà un "must" e i servizi PNT alternativi e di monitoraggio delle interferenze e il RAIM della sincronizzazione multifrequenza e multicostellazione saranno combinati per integrare i GNSS.

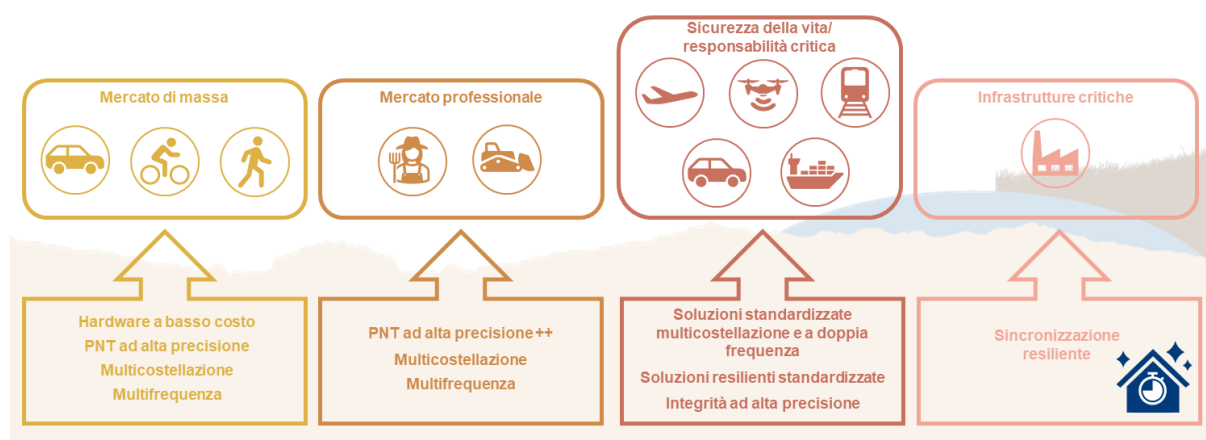


Figura - 19 Visione dei segmenti di mercato per i PNT dell'UE

Dal punto di vista **dell'architettura dei sistemi PNT**, l'ecosistema PNT dell'UE diventerà un [sistema di sistemi PNT](#), con una combinazione di servizi GNSS, convenzionali ed emergenti, tutti sincronizzati rispetto all'UTC(k):

1. il **GNSS europeo** (Galileo ed EGNOS) **insieme al GPS** rimarrà la **spina dorsale dei servizi PNT nell'UE**. I servizi GNSS europei saranno rafforzati e migliorati con servizi nuovi (alta precisione, autenticazione, ecc.), infrastrutture migliorate (Galileo di seconda generazione, EGNOS di seconda generazione) e una capacità di monitoraggio specifica. La Commissione europea continuerà a perseguire la diffusione dei servizi Galileo ed EGNOS con regolamenti nuovi, norme nuove e il finanziamento di progetti a sostegno di applicazioni innovative.

I **servizi GNSS ad alta precisione**, quali il servizio ad alta precisione di Galileo, la RTK o il PPP, saranno **ampiamente adottati** per applicazioni ad alta precisione.

Per applicazioni e mercati specifici possono essere necessarie **soluzioni esclusivamente EGNSS**.

Infine la nuova connettività spaziale sicura proposta dall'UE, la costellazione di satelliti [IRIS²](#), potrebbe fungere anche da piattaforma per servizi PNT complementari, oltre alla sua missione principale di comunicazione;

2. i servizi **PNT emergenti**, in grado di fornire servizi PNT alternativi, indipendenti da GNSS, **continueranno a svilupparsi** e molti di essi raggiungeranno la maturità e diventeranno disponibili sul mercato, rispondendo alle esigenze di mercati specifici (ad esempio ambienti chiusi) o fungendo da riserva di servizi GNSS, in particolare per la fornitura di sincronizzazione alle infrastrutture critiche. L'UE raccomanda lo sviluppo di soluzioni alternative di PNT intersettoriali; per quanto concerne la **sincronizzazione**, l'UE dispone di tecnologia matura per fornire servizi di sincronizzazione altamente precisi, indipendenti dal GNSS. La rete degli istituti metrologici nazionali (NMI) svolgerà un ruolo fondamentale nella generazione della sincronizzazione, mentre le imprese europee offrono soluzioni commerciali per la distribuzione dell'ora. L'UE dovrebbe adoperarsi per sviluppare pienamente l'ecosistema della sincronizzazione e garantire agli utenti interessati una fornitura di sincronizzazione efficiente sotto il profilo dei costi e resiliente (ad esempio in relazione alle infrastrutture critiche).

In materia di **posizionamento/navigazione**, il mercato offre alcune soluzioni commerciali indipendenti dal GNSS, ma attualmente non esistono soluzioni mature offerte da imprese dell'UE. L'UE si adopererà per sostenere l'attuazione della direttiva sulla resilienza dei soggetti critici e della direttiva NIS2 (cfr. sezione [3.4.1](#)) così come per **migliorare** la **resilienza** dell'economia e della società europee. L'UE dovrebbe inoltre prendere in considerazione lo sviluppo di soluzioni dell'UE per coprire i casi d'uso che richiedono un'autonomia strategica;

3. i sistemi **tradizionali PNT**, nonostante i loro svantaggi (ad esempio costi, segnali e progettazione dell'hardware datati) rimarranno in uso per mercati fortemente regolamentati, quali l'aviazione e il trasporto marittimo, e i piani di razionalizzazione saranno attuati soltanto lentamente (anche a causa della lunga durata di vita delle apparecchiature), mentre per i mercati non regolamentati è probabile che scompaiano. Tuttavia alcuni sistemi (come quelli di distribuzioni dell'ora e della frequenza a onde lunghe) possono conservare la loro importanza in quanto offrono una buona resilienza alle interferenze di radiofrequenza, anche se con prestazioni limitate (ad esempio precisione dell'ordine di microsecondi).

In conclusione, dato il ruolo essenziale dei PNT ai fini del buon funzionamento dell'economia e della società dell'UE, disporre di sistemi **PNT RESILIENTI è di fondamentale importanza**. Sostenuti dal GNSS, i servizi PNT devono essere diversificati e integrare una combinazione olistica di tecnologie, terrestri e spaziali, poiché nessuna singola tecnologia, nemmeno il GNSS, fornirà una resilienza sufficiente per gli utenti critici delle informazioni di posizionamento, navigazione e sincronizzazione. Disporre di PNT resilienti richiederà inoltre un sistema di monitoraggio efficiente, anche per le interferenze di radiofrequenza in relazione al GNSS, e le necessarie procedure di coordinamento tra i fornitori di GNSS, le agenzie competenti per le interferenze di radiofrequenza e i governi:

l'ecosistema PNT dell'UE dovrebbe diventare un sistema di sistemi PNT per conseguire servizi PNT resilienti.

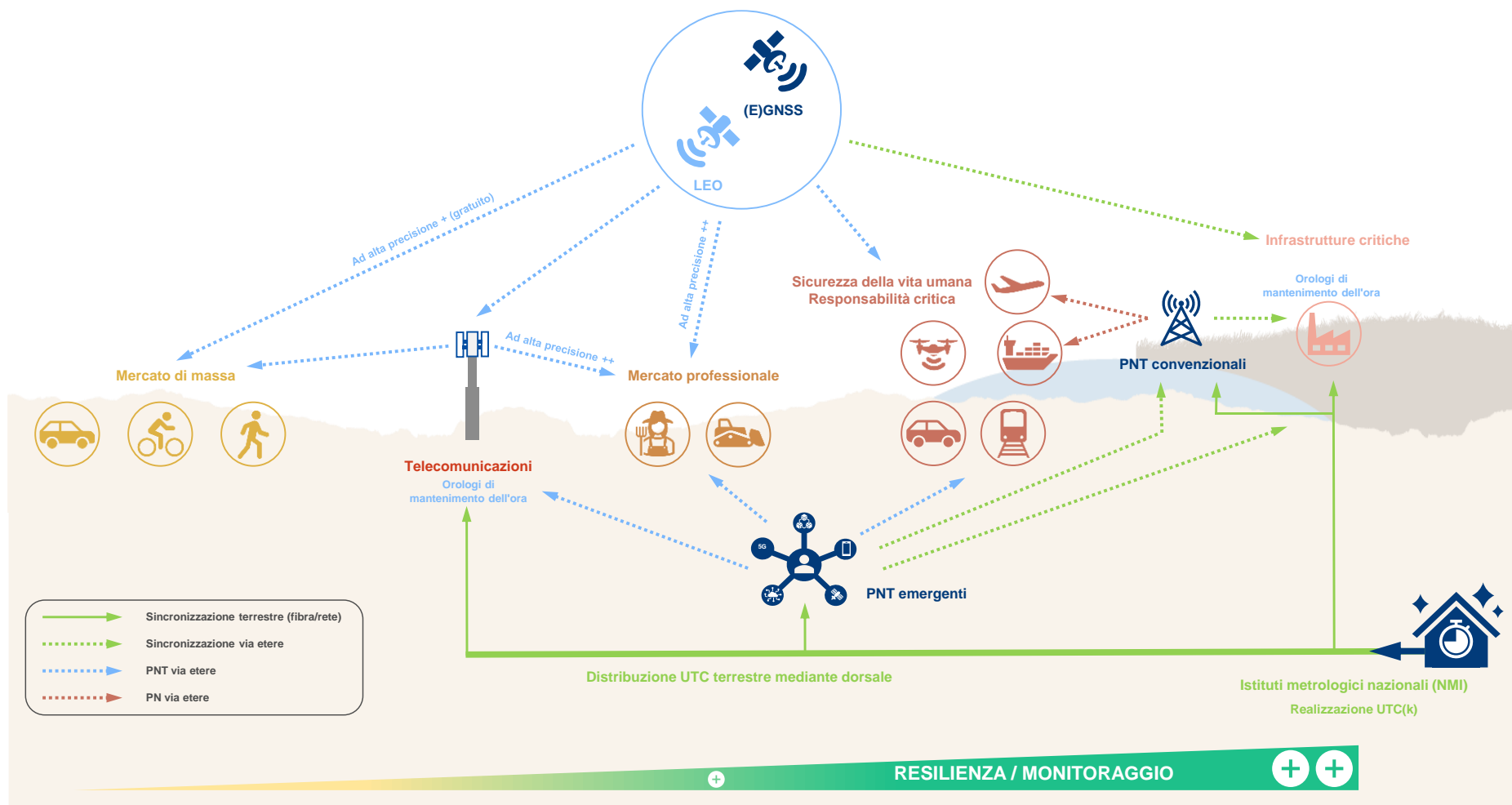


Figura 20 - Visione per i PNT dell'UE

5 APPENDICE A. Sistemi PNT

5.1 Sistemi globali di navigazione satellitare (GNSS)

Con il termine "sistema globale di navigazione satellitare" (GNSS) si fa riferimento a **costellazioni di satelliti che trasmettono segnali dallo spazio e forniscono servizi di posizionamento e sincronizzazione a ricevitori GNSS.**

Tra i **GNSS** figurano sistemi aventi una **copertura globale** quali Galileo in Europa, il sistema di posizionamento globale NAVSTAR (GPS) degli Stati Uniti, il sistema *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (GLONASS) russo e il sistema di navigazione satellitare cinese BeiDou **così come sistemi regionali** quali il sistema di navigazione indiano con costellazione indiana (NavIC), noto anche come sistema regionale di navigazione satellitare (IRNSS), oppure il QZSS giapponese, che presentano una copertura rispettivamente corrispondente alla regione indiana e alla regione dell'Asia-Oceania. Le principali caratteristiche di questi sistemi GNSS sono illustrate nella *Tabella 6*.

Tabella 6 – Costellazioni GNSS (Crediti: relazione dell'EUSPA sulla tecnologia per gli utenti di GNSS)

Costellazioni GNSS				
Parametro	Galileo	GPS	BeiDou	GLONASS
Periodo orbitale (MEO)	14 ore e 04 min	11 ore e 58 min	12 ore e 37 min	11 ore e 15 min
Altezza orbitale (MEO)	23 222 km	22 200 km	21 528 km	19 100 km
Inclinazione (MEO)	56°	55°	55°	64,8°
Numero di piani orbitali (MEO)	3	6	3	3
Quadro di riferimento	GTFR	WGS-84	CGCS 2000	PZ-90
Tempo di riferimento	Ora del sistema Galileo (GST)	Ora del sistema GPS (GPST)	Ora del sistema BeiDou (BDT)	Ora del sistema GLONASS (GLONASST)

Questi sistemi sono progettati per essere **compatibili e interoperabili**, utilizzando segnali trasmessi sulle bande di frequenze E5/L5, L2, E6 e E1/L1 come indicato nella *Figura 21*.

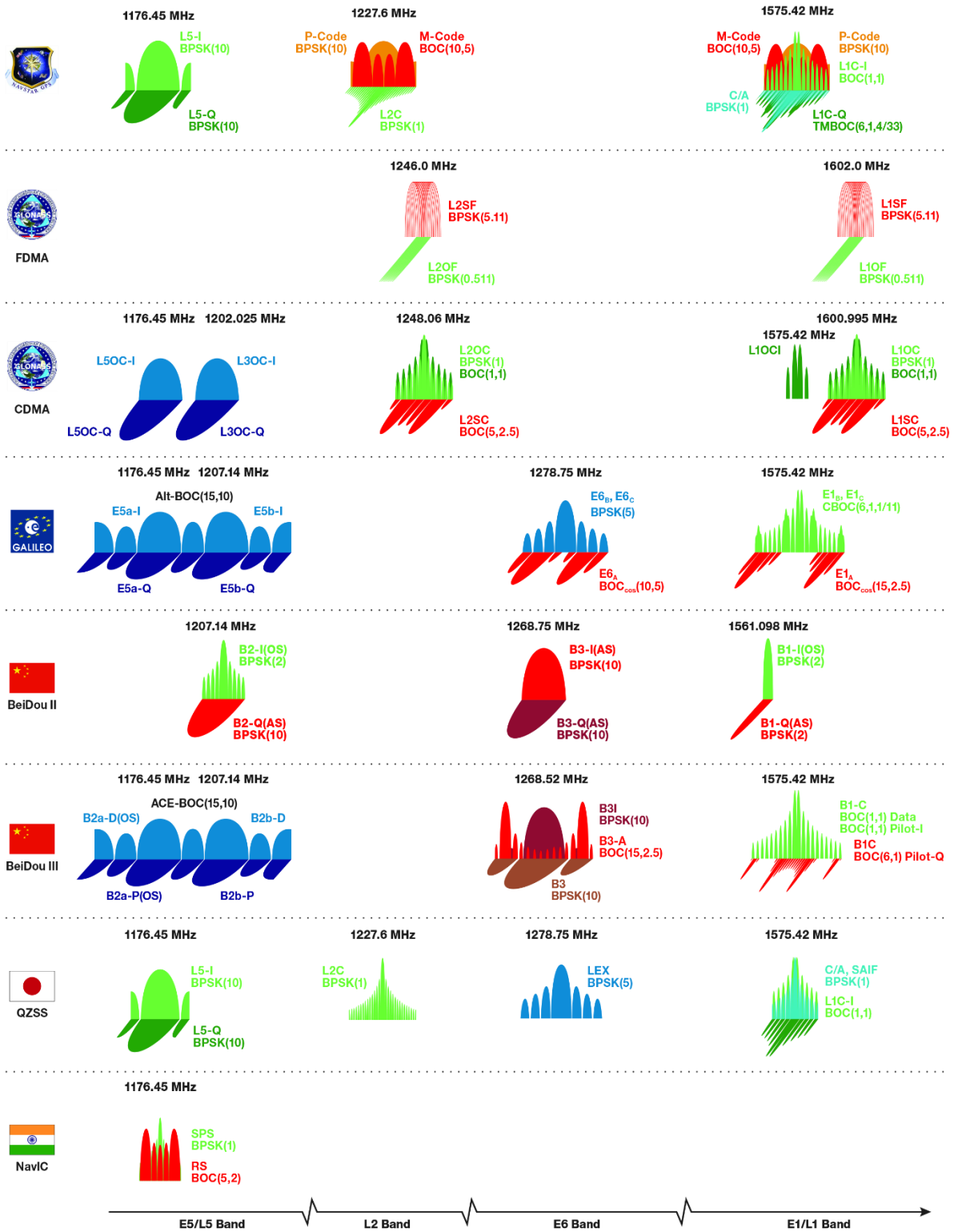


Figura 21 – Frequenze GNSS (Crediti: [Navipedia](#))

La precisione tipica di posizionamento dei sistemi GNSS è dell'ordine di metri, dato che Galileo fornisce le prestazioni migliori, come si può osservare nella [Figura 22](#) per il GNSS con copertura globale nel secondo trimestre del 2022 e nella [figura 23](#) per la precisione nella definizione della distanza nel giugno del 2022 (GAL – Galileo, GLO – GLONASS, BDS - BeiDou).

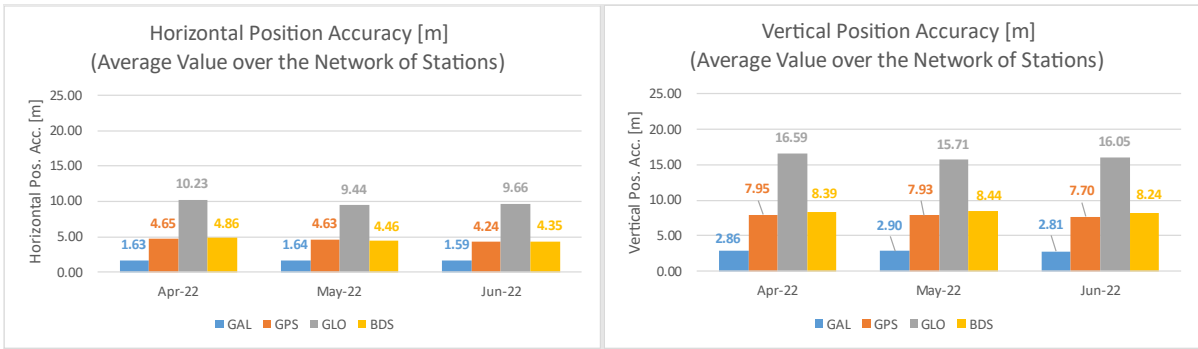


Figura 22 – Prestazioni in termini di precisione orizzontale e verticale dei GNSS (Crediti: EUSPA)

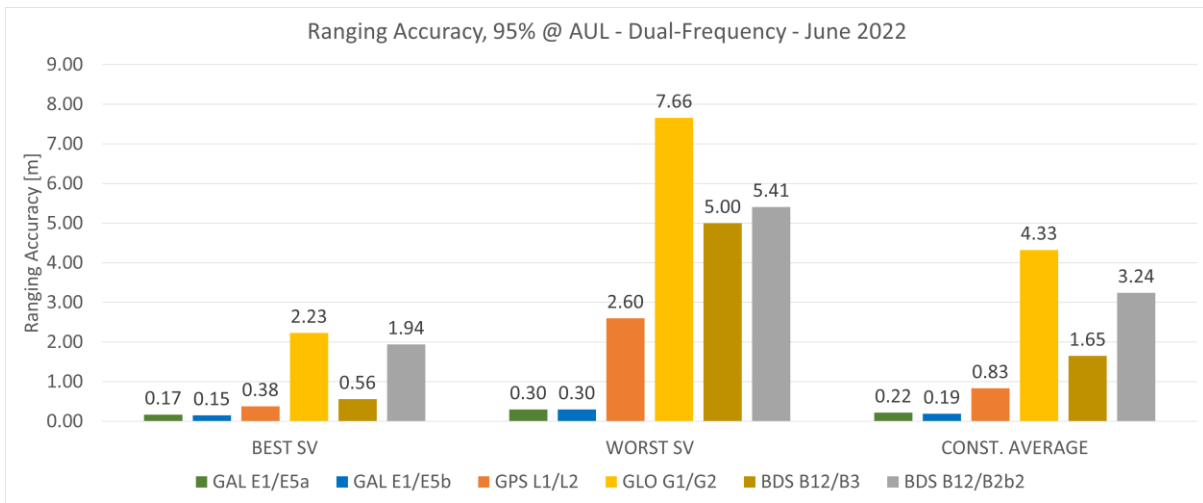


Figura 23 – Precisione della determinazione della distanza dei GNSS pari al 95 % per gli utenti a doppia frequenza di Galileo, GPS, GLONASS e BeiDou

5.1.1 Sistemi di navigazione satellitare – Copertura globale

5.1.1.1 Galileo

Galileo è il sistema globale di navigazione satellitare europeo soggetto a **controllo civile** che fornisce dal **dicembre 2016** un servizio di posizionamento globale e altamente preciso e un servizio di localizzazione di emergenza nella regione europea per finalità di ricerca e salvataggio (SAR). È interoperabile con gli altri sistemi globali di navigazione satellitare.

Galileo è costituito da un segmento spaziale, un segmento terrestre e un segmento utenti.

Il **segmento spaziale di Galileo** è costituito da una costellazione di satelliti in orbita terrestre media. La configurazione di base della costellazione di Galileo è definita come una costellazione Walker 24/3/1: 24 satelliti nominali in orbita terrestre media sono disposti su tre piani orbitali, con i loro nodi ascendenti uniformemente distribuiti a intervalli di 120°, inclinati a 56° rispetto all'equatore. Ogni piano orbitale comprende otto satelliti distribuiti uniformemente all'interno del piano, a intervalli di 45° dell'argomento di latitudine. Lo spostamento angolare tra i satelliti in due piani adiacenti è pari a 15°. La costellazione è integrata da satelliti di riserva che possono essere riposizionati in un qualsiasi determinata fascia nominale all'interno di ciascun piano orbitale in funzione delle esigenze di manutenzione o di evoluzione del servizio.

Il **segmento terrestre di Galileo** comprende le seguenti infrastrutture essenziali:

- due **centri di controllo Galileo (GCC)** situati a Oberpfaffenhofen (Germania) e a Fucino (Italia), con funzioni di "controllo" supportati da un *segmento di controllo a terra (GCS)* e funzioni di "missione" supportate da un *segmento di missione di terra (GMS)* dedicato presso ciascun sito:
 - il segmento di controllo a terra (GCS) si occupa della gestione dei veicoli spaziali e della manutenzione della costellazione attraverso la rete distribuita a livello mondiale di stazioni di telemetria, tracciamento e controllo (TT&C, *Telemetry, Tracking & Control*). Rientrano in tale contesto il controllo e il monitoraggio dei satelliti e del payload, le funzioni di pianificazione e automazione che consentono operazioni sicure e corrette e il sostegno alle operazioni relative al payload;
 - il segmento di missione a terra (GMS) determina la parte dei dati di navigazione e sincronizzazione dei messaggi di navigazione mediante la rete di stazioni di ricezione Galileo (GSS); inoltre il GMS comunica con i satelliti Galileo attraverso la rete di stazioni per il collegamento ascendente Galileo (ULS);
- una rete mondiale di **stazioni di ricezione Galileo (GSS)**, che raccoglie e inoltra le misurazioni e i dati del SIS Galileo ai centri di controllo Galileo in tempo reale;
- una rete mondiale di **stazioni per il collegamento ascendente (ULS) Galileo**, che distribuisce e trasmette ai satelliti i dati della missione alla costellazione Galileo;
- una rete mondiale di stazioni di **telemetria, tracciamento e controllo (stazioni TT&C)**, che raccoglie e inoltra i dati di telemetria generati dai satelliti Galileo e distribuisce e trasmette ai satelliti i comandi di controllo necessari per mantenere i satelliti Galileo e la costellazione in condizioni operative nominali.

Una panoramica del segmento terrestre di Galileo è fornita nella Figura 24 che illustra soltanto la funzionalità del segmento terrestre di Galileo relativa al servizio aperto (OS).

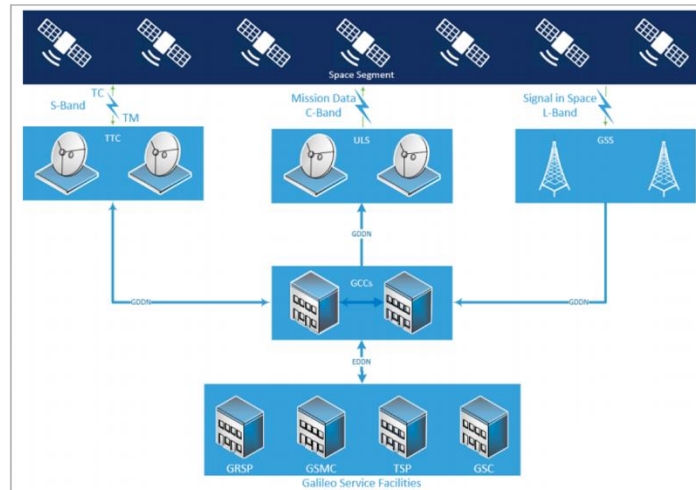


Figura 24 – Sistema di alto livello dell'architettura del segmento terrestre di Galileo

Le **strutture di servizio di Galileo** sono elementi situati al di fuori del perimetro dell'infrastruttura di base di Galileo che sostengono la fornitura dei servizi Galileo.

Le strutture di servizio che contribuiscono alla fornitura del servizio aperto Galileo sono:

- il centro servizi GNSS (GSC) europeo: il GSC costituisce l'interfaccia tra la comunità di utenti del servizio aperto Galileo e il sistema Galileo;
- il prestatore di servizi di riferimento geodetico (GRSP, Geodetic Reference Service Provider): tale soggetto sostiene il GCC nella realizzazione del quadro di riferimento terrestre Galileo (GTRF), coerentemente con il quadro di riferimento terrestre internazionale (ITRF);
- il prestatore di servizi relativi all'ora (TSP, Time Service Provider): tale soggetto sostiene il GCC nella definizione dell'ora del sistema Galileo (GST) e nel suo allineamento al tempo universale coordinato (UTC);
- il centro di monitoraggio della sicurezza Galileo (GSMC, Galileo Security Monitoring Centre): tale struttura è incaricata di monitorare la sicurezza del sistema;
- il fornitore di servizi di dati SAR/Galileo (SGDSP, SAR/Galileo Data Service Provider): tale soggetto è responsabile del coordinamento delle operazioni relative al servizio di ricerca e salvataggio/Galileo;
- il centro di riferimento Galileo (GRC, Galileo Reference Centre): tale soggetto è responsabile del monitoraggio e della valutazione delle prestazioni dei servizi Galileo ed è completamente indipendente dall'infrastruttura di base di Galileo e dalle sue operazioni.

Per il servizio di ricerca e salvataggio di Galileo è necessaria un'infrastruttura supplementare tanto a bordo dei satelliti quanto a terra:

- il **segmento spaziale SAR/Galileo** è composto da satelliti Galileo con ripetitori di ricerca e salvataggio (SARR, *Search and Rescue Repeaters*). I ripetitori SAR di Galileo sono transponder trasparenti del tipo a tubi piegati e comprendono il trasponder SAR e le antenne ricetrasmittenti SAR;
- il **segmento terrestre SAR/Galileo** è costituito da tre terminali per utenti locali MEO (MEOLUT, *MEO Local User Terminals*) situati a Maspalomas (Spagna), Larnaca (Cipro) e Spitzbergen (Norvegia), che forniscono informazioni relative all'identificazione e all'ubicazione dei radiofari e cinque radiofari di riferimento (REFBE, *Reference Beacons*) situati a Maspalomas (Spagna), Larnaca (Cipro), Spitsbergen (Norvegia), Tolosa (Francia) e Santa Maria (Portogallo). Un quarto MEOLUT sarà installato nell'isola della Riunione (Francia) nel 2023.

La figura che segue fornisce una panoramica dell'ubicazione dei vari siti Galileo.

Galileo Sites and Ground Stations

- HQ: Headquarters
- GCC: Galileo Control Centre
- GPMC: Galileo Security Monitoring Centre
- SGSC: SAR/Galileo Service Centre
- GSC: GNSS Service Centre
- GRC: Galileo Reference Centre
- GILSC: Galileo Integrated Logistic Support Centre
- TTCC: Telemetry, Tracking and Command
- ULS: Uplink Station
- GSS: Ground Sensor Station
- MEOLUT: Medium Altitude Earth Orbit Local User Terminal
- REFBE: Galileo/SAR Reference Beacons
- IOT: In-Orbit Testing station



Galileo Sites and Ground Stations status as of September 2021

Figura 25 – Siti Galileo e stazioni terrestri (Crediti: [GSC](#))

Il **segmento utenti di Galileo** è composto da tutti i ricevitori e dispositivi compatibili che raccolgono i segnali Galileo, determinano pseudodistanze (e altri elementi osservabili) e risolvono le equazioni di navigazione al fine di ottenere le loro coordinate e fornire una sincronizzazione temporale precisa.

5.1.1.1.1 Servizi Galileo

I servizi di Galileo sono descritti alla sezione [3.2](#).

5.1.1.1.2 Caratteristiche principali

La [Tabella 7](#) e la [Figura 26](#) mostrano le caratteristiche principali dei segnali Galileo.

Tabella 7 – Caratteristiche principali dei segnali Galileo

E1		
Segnale	E1 OS	E1 PRS
Frequenza (MHz)	1 575,42	1 575,42
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA
Modulazione	CBOC (6,1,1/11)	BOC _{cos} (15,2.5)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 157	
E6		
Segnale	E6 CS	E6 PRS
Frequenza (MHz)	1 278,75	1 278,75
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (5)	BOC _{cos} (10,5)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 155	
E5		
Segnale	E5a	E5b
Frequenza (MHz)	1 176,45	1 207,14
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA
Modulazione	AltBOC (15,10)	AltBOC (15,10)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 155	

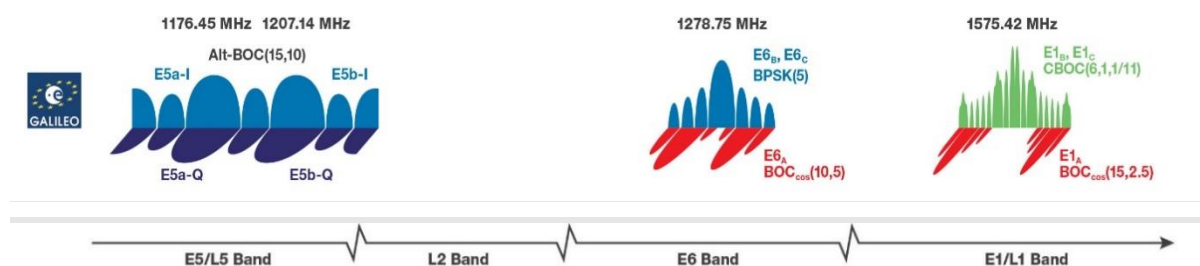


Figura 26 – Segnali di Galileo (Crediti: [Navipedia](#))

5.1.1.1.3 Prestazioni

Il [documento di definizione del servizio per l'OS Galileo](#) definisce i livelli minimi di prestazione del servizio aperto Galileo. La [Tabella 8](#) mostra le prestazioni tipiche del sistema Galileo pienamente attuato.

Tabella 8 – Prestazioni di servizi Galileo una volta pienamente attuato.

	Servizio aperto Galileo (posizionamento e sincronizzazione)	
	Frequenza singola (SF, Single Frequency)	Doppia frequenza (DF, Dual Frequency)
Copertura	Globale	
Precisione (95 %)	Orizzontale: 15 m	Orizzontale: 4 m
	Verticale: 35 m	Verticale: 8 m
Disponibilità	99,5 %	99,5 %
Precisione di sincronizzazione con riferimento a UTC/TAI	30 ns	Precisione di sincronizzazione con riferimento a UTC/TAI

Ulteriori informazioni sulle prestazioni del servizio OS o su altri servizi quali la SAR sono disponibili nell'[SDD per l'OS](#) e nell'[SDD per la SAR](#) (entrambi solo in EN).

5.1.1.1.4 Stato e piani di ammodernamento

Alla fine del 2022 lo **stato del segmento spaziale di Galileo** era il seguente:

- erano stati lanciati 28 satelliti di prima generazione, con 26 satelliti operativi per la ricerca e il salvataggio e 24 satelliti operativi per la navigazione (1 dallo slot di riserva);
- 10 satelliti di prima generazione erano stati prodotti e sono attualmente pronti per il lancio:
 - 4 satelliti consentiranno la piena capacità operativa popolando tutti gli slot nominali + 1 di riserva per ciascun piano per fini di solidità;
 - 6 satelliti supplementari consentiranno di mantenere la costellazione fino all'arrivo dei satelliti di seconda generazione.

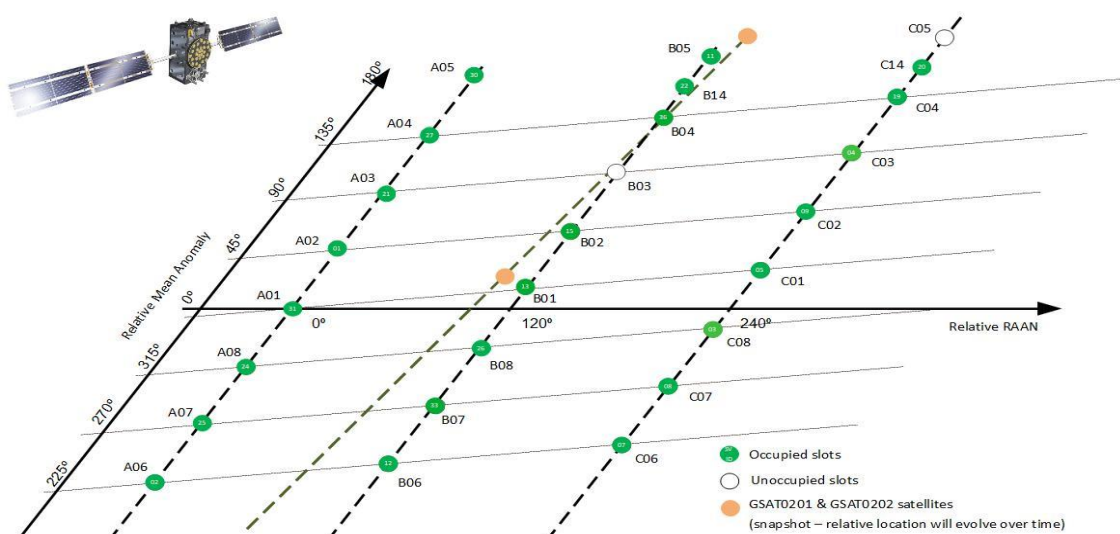


Figura 27 – Segmento spaziale Galileo (stato alla fine del 2022)

I servizi forniti dalla prima generazione di Galileo saranno potenziati dalla nuova generazione di Galileo (il cosiddetto **Galileo di seconda generazione - G2G**), associata alla fornitura di servizi nuovi. Tali servizi sono esplicitamente individuati nell'attuale [regolamento \(UE\) sul programma spaziale dell'Unione](#) e sono stati descritti alla sezione [3.2](#). La figura che segue illustra i vari miglioramenti dei servizi che il G2G apporterà:

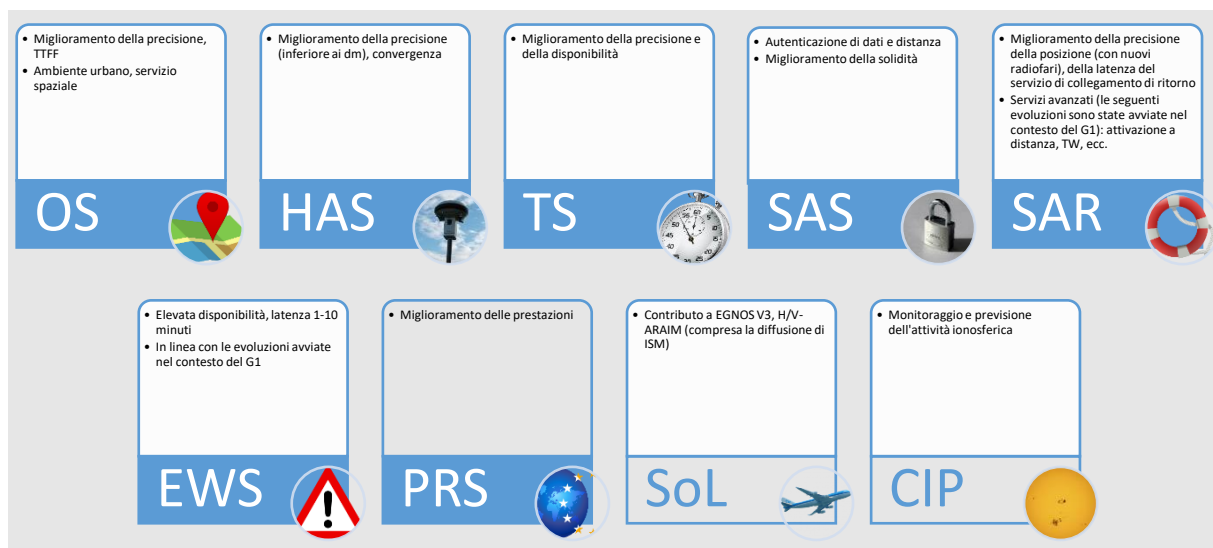


Figura 28 – Miglioramenti dei servizi di seconda generazione di Galileo

I requisiti della **missione** per il G2G sono già stati stabiliti e sono anche formalizzati con la [decisione di esecuzione della Commissione C\(2020\) 8968 final](#).

Questi servizi nuovi e migliorati saranno realizzati grazie a satelliti di nuova generazione e al miglioramento delle capacità del segmento terrestre.

Le nuove tecnologie di bordo comprenderanno la **propulsione elettrica** per spingere i satelliti dall'orbita in cui saranno lanciati alle orbite operative finali, consentendo il lancio contemporaneo di due satelliti nonostante l'aumento della loro massa. I **collegamenti intersatellite** tra i satelliti ridurranno la dipendenza da contatti dagli impianti a terra. I satelliti presenteranno anche **segnali più potenti**, un **payload più flessibile** comprendente una nuova antenna di navigazione, **orologi atomici a bordo più precisi** e un **ciclo di vita più lungo**.

Il **segmento terrestre sarà potenziato** complessivamente, dall'hardware al software e ai collegamenti di comunicazione. Gli algoritmi saranno sviluppati e sarà attuato un monitoraggio supplementare che consentirà di migliorare le prestazioni e la solidità dei servizi già forniti. Saranno aggiunte funzionalità supplementari che consentiranno il controllo delle nuove capacità nei satelliti nonché la fornitura di servizi nuovi.

Ulteriori informazioni sul programma Galileo sono disponibili nei [documenti del programma Galileo](#).

5.1.1.2 GPS

Il sistema di posizionamento globale (GPS) è un sistema di posizionamento, navigazione e sincronizzazione di proprietà del governo degli Stati Uniti (USA) e gestito dalle forze aeree statunitensi. Si tratta di un sistema a duplice uso che fornisce servizi a utenti civili e militari. Il GPS è costituito da un segmento spaziale, un segmento di controllo e un segmento utenti. Funziona trasmettendo diversi segnali a radiofrequenza contenenti informazioni precise sulla sincronizzazione e l'ubicazione provenienti da una costellazione di satelliti. Combinando le informazioni ricevute da almeno quattro satelliti, l'utente riceve una stima della sua posizione e dell'ora nel luogo in cui si trova. **La capacità operativa iniziale del GPS è iniziata nel 1993.** Fornisce una copertura continua e globale, in tutte le condizioni meteorologiche.

Una costellazione di satelliti in orbita terrestre media sotto costituisce il **segmento spaziale del GPS**. Per fornire una copertura globale sono necessari almeno 24 satelliti, anche se il numero effettivo di satelliti in orbita tende a essere maggiore, aumentando le prestazioni del sistema. I satelliti si trovano su sei piani orbitali equamente distanziati, inclinati di 55°, a un'altitudine di 20 200 km. Con questa configurazione di costellazione, ogni punto della superficie terrestre vede sempre almeno quattro satelliti GPS, una circostanza questa necessaria per ottenere le informazioni di posizionamento.

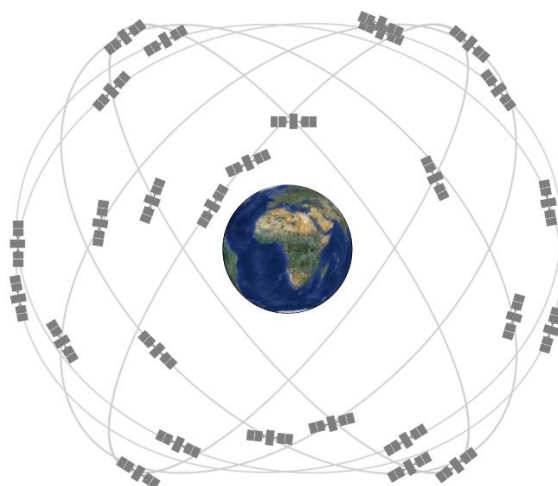


Figura 29 – Costellazione GPS (Crediti: <http://www.gps.gov>)

Dal primo lancio nel 1978, gli Stati Uniti hanno continuato a migliorare le caratteristiche dei satelliti del GPS. Ogni generazione, o blocco, di satelliti trasmette un numero maggiore di segnali, con codici migliorati, in un numero maggiore di frequenze rispetto alla generazione precedente. I satelliti modernizzati comprendono anche componenti e caratteristiche migliori: orologi atomici migliorati, maggiore potenza, maggiore durata prevista, ecc. Da ciò risultano prestazioni migliori e una precisione migliore tanto per gli utenti civili quanto per quelli militari. Questo processo evolutivo continuerà in futuro.

La costellazione GPS è una combinazione di satelliti vecchi e nuovi. La tabella che segue riepiloga le caratteristiche delle generazioni attuali e future di satelliti del GPS, tra cui il blocco IIA (seconda generazione, "Avanzato"), il blocco IIR ("Ricostituzione"), il blocco IIR-M ("Modernizzato"), il blocco IIF ("Seguito"), il GPS III e il GPS IIIIF ("Seguito").

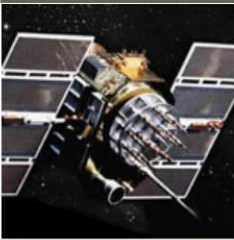
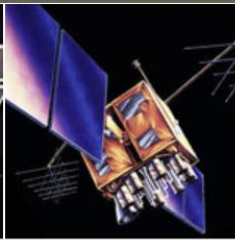
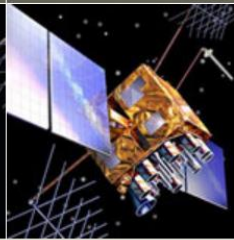
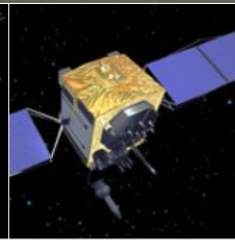
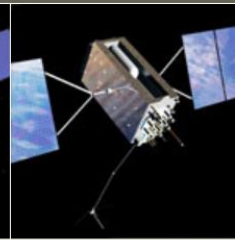
LEGACY SATELLITES		MODERNIZED SATELLITES		
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR-M	BLOCK IIF	GPS III/IIF
0 operational	7 operational	7 operational	12 operational	5 operational
<ul style="list-style-type: none"> Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users Precise P(Y) code on L1 & L2 frequencies for military users 7.5-year design lifespan Launched in 1990-1997 Last one decommissioned in 2019 	<ul style="list-style-type: none"> C/A code on L1 P(Y) code on L1 & L2 On-board clock monitoring 7.5-year design lifespan Launched in 1997-2004 	<ul style="list-style-type: none"> All legacy signals 2nd civil signal on L2 (L2C) LEARN MORE → New military M code signals for enhanced jam resistance Flexible power levels for military signals 7.5-year design lifespan Launched in 2005-2009 	<ul style="list-style-type: none"> All Block IIR-M signals 3rd civil signal on L5 frequency (L5) LEARN MORE → Advanced atomic clocks Improved accuracy, signal strength, and quality 12-year design lifespan Launched in 2010-2016 	<ul style="list-style-type: none"> All Block IIF signals 4th civil signal on L1 (L1C) LEARN MORE → Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity No Selective Availability LEARN MORE → 15-year design lifespan IIF: laser reflectors; search & rescue payload First launch in 2018

Figura 30 – Evoluzione dei satelliti del GPS (Crediti: <http://www.gps.gov>)

Al 26 giugno 2022 la costellazione GPS contava complessivamente 31 satelliti operativi, esclusi quelli di riserva in orbita o dismessi.

Il **segmento di controllo** è costituito da una rete mondiale di strutture a terra che tracciano, controllano e comandano satelliti del GPS. Il segmento di controllo monitora lo stato di salute dei satelliti, risolve ogni possibile anomalia, controlla le orbite dei satelliti e, se necessario, adatta gli orologi di bordo e, in generale, svolge qualsiasi compito necessario per il corretto funzionamento del sistema. È composta da una stazione di controllo principale (base delle forze aeree di Schriever, Colorado), da una stazione di controllo secondaria (base delle forze aeree di Vandenberg, California), da 16 stazioni di monitoraggio (a livello mondiale) e da 11 antenne di comando e controllo. Il segmento di controllo del GPS è collegato alla rete di controllo satellitare delle forze aeree per aumentare la flessibilità e la solidità di tracciamento e comando.

GPS Control Segment

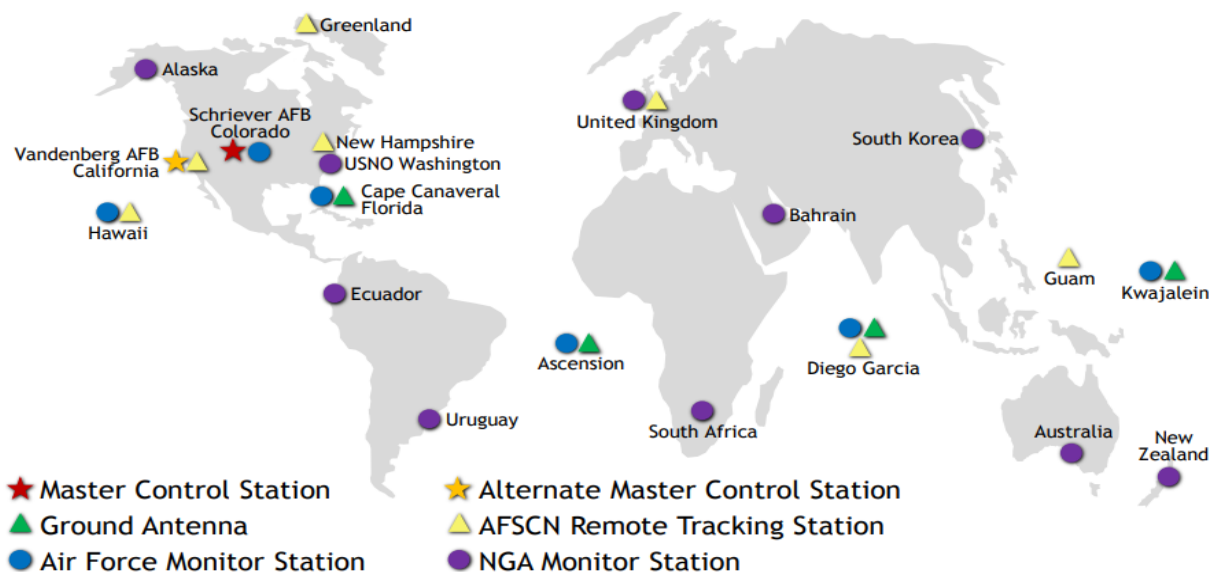


Figura 31 – Segmento di controllo del GPS (Crediti: <http://www.gps.gov>)

Il **segmento utenti** è costituito dai ricevitori utilizzati per ricevere e decodificare i segnali del GPS. Un ricevitore fornisce all'utente informazioni tridimensionali sulla posizione più un segnale di sincronizzazione molto preciso.

5.1.1.2.1 Servizi del GPS

Vi sono due tipi di [servizi di posizionamento del GPS](#):

- il **servizio di posizionamento standard del GPS (GPS SPS, GPS Standard Positioning Service)** senza diritti di utenza diretti, per uso civile, commerciale e scientifico. Rientra nella politica degli Stati Uniti mantenere l'SPS GPS esente da diritti. Per accedere al servizio SPS GPS, gli utenti devono soltanto disporre di un ricevitore GPS adeguato;
- il **servizio di posizionamento di precisione (GPS PPS, GPS Precision Positioning Service)** è riservato al governo statunitense, alle forze armate statunitensi e ai suoi alleati selezionati.

5.1.1.2.2 Caratteristiche principali

Il **volume dei servizi** terrestri della costellazione GPS si estende dalla superficie terrestre fino a un'altitudine di 3 000 km.

La [Tabella 9](#) e la [Figura 32](#) illustrano le caratteristiche principali dei **segnali GPS**.

Tabella 9 – Caratteristiche principali dei segnali GPS

L1				
Segnale	C/A	L1C	P(Y)	M
Frequenza (MHz)	1 575,42	1 575,42	1 575,42	1 575,42
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (1)	TMBOC (6,1,1/11)	BPSK (10)	BOCs _{in} (10,5)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 158,5	- 157	- 161,5	n.d.

L2			
Segnale	L2 C	P(Y)	M
Frequenza (MHz)	1 227,6	1 227,6	1 227,6
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (1)	BPSK (10)	BOCsin (10,5)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 161,5	- 160	n.d.
L5			
Segnale	L5		
Frequenza (MHz)	1 176,45		
Tecnica di accesso	CDMA		
Modulazione	BPSK (10)		
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 157,9		

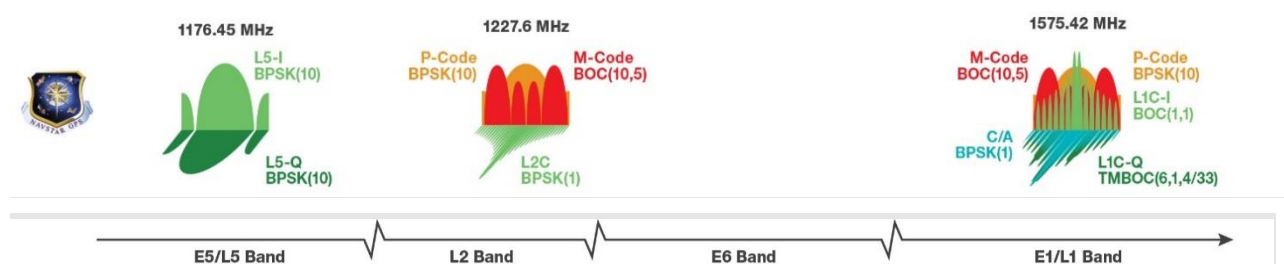


Figura 32 – Segnali GPS (Crediti: [Navipedia](#))

L'errore di posizionamento e sincronizzazione sperimentato dagli utenti dipende dalle caratteristiche dei segnali trasmessi dai satelliti GPS, dalla loro propagazione e dalle prestazioni del ricevitore impiegato. La [Tabella 10](#) illustra le **norme in termini di precisione del posizionamento e della sincronizzazione del servizio GPS SPS** per condizioni rappresentative degli utenti.

Tabella 10 – norme in termini di precisione del posizionamento e della sincronizzazione del servizio GPS SPS

<p>Precisione media globale nel settore del posizionamento:</p> <p>Errore orizzontale (95 %) ≤ 9 m</p> <p>Errore verticale (95 %) ≤ 15 m</p>	<p>Standard basato su un intervallo di misurazione di 24 ore, definito come media rispetto a tutti i punti del volume di servizio.</p>
<p>Precisione peggiore a livello di sito nel settore del posizionamento:</p> <p>Errore orizzontale (95 %) ≤ 17 m</p> <p>Errore verticale (95 %) ≤ 37 m</p>	<p>Standard basato su un intervallo di misurazione di 24 ore per qualsiasi punto del volume di servizio.</p>
<p>Precisione nel settore del trasferimento del segnale orario:</p> <p>Errore di trasferimento del segnale orario (95 %) ≤ 40 ns (solo SIS)</p>	<p>Standard basato su un intervallo di misurazione di 24 ore, definito come media rispetto a tutti i punti del volume di servizio.</p>

La [Tabella 11](#) illustra le **specifiche del servizio GPS SPS per quanto concerne disponibilità, integrità e continuità**.

Tabella 11 – Specifiche del servizio GPS SPS

Disponibilità	99 %
Integrità	$\geq 1 - 1 \times 10^{-5} / h$
Continuità	$\geq 0,9998/h$

Per sfruttare i segnali GPS, gli utenti devono semplicemente disporre di un ricevitore compatibile, il che significa che il sistema GPS può servire contemporaneamente un numero illimitato di utenti.

5.1.1.2.3 Prestazioni

Il governo degli Stati Uniti si è impegnato a mettere a disposizione il GPS alla comunità civile secondo i livelli di prestazione specificati nel documento [GPS Standard Positioning Service \(SPS\) Performance Standard \(PS\)](#).

Nell'ambito di un'[analisi delle prestazioni del servizio GPS SPS per il 2020](#), commissionata dalla Forza spaziale degli Stati Uniti, si conclude che tutte le asserzioni di cui alla norma in materia di prestazioni per il servizio SPS esaminate in tale relazione risultavano soddisfatte nel 2020. Le asserzioni valutate comprendono quelle relative alla precisione, all'integrità, alla continuità e alla disponibilità del segnale nello spazio (SIS) GPS, oltre alle asserzioni relative alla precisione del posizionamento e del trasferimento del segnale orario.

5.1.1.2.4 Stato e piani di ammodernamento

Il programma di modernizzazione del GPS costituisce uno sforzo costante, che impegna vari miliardi di dollari, al fine di migliorare le caratteristiche e le prestazioni complessive del sistema di posizionamento globale. Tra le caratteristiche migliorate figurano segnali GPS civili e militari nuovi.

La modernizzazione del [segmento spaziale](#) è illustrata nella [Figura 30](#).

La modernizzazione del [segmento di controllo](#) comprende gli ammodernamenti necessari per il comando e il controllo dei satelliti GPS più recenti e per il miglioramento della cibersicurezza. Gli ammodernamenti in corso sono:

- [OCX: sistema di controllo operativo di prossima generazione;](#)
- [Cops: operazioni di emergenza GPS III;](#)
- [MCEU: codice M di utilizzo precoce.](#)

Uno degli obiettivi principali del programma di modernizzazione del sistema GPS consiste nell'aggiunta di [segnali di navigazione nuovi](#) alla costellazione di satelliti. Il governo sta implementando tre [segnali nuovi](#) concepiti per uso civile: [L2C](#), [L5](#) e [L1C](#). Il [segnale civile tradizionale](#), denominato [L1 C/A](#) o [C/A a L1](#), continuerà a trasmettere, per un totale di quattro segnali GPS civili. Gli utenti devono ammodernare le loro apparecchiature per beneficiare dei nuovi segnali. I nuovi segnali civili si stanno gradualmente diffondendo man mano che le forze aeree statunitensi lanciano nuovi satelliti GPS in sostituzione di quelli più datati. La maggior parte dei nuovi segnali avrà un uso limitato fino a quando non saranno trasmessi da un numero compreso tra 18 e 24 satelliti.

Il programma di modernizzazione del sistema GPS aggiunge nuovi segnali civili alla costellazione GPS. I nuovi segnali utilizzano un formato di [messaggio di navigazione civile \(CNAV\)](#) modernizzato che è più flessibile rispetto al messaggio di navigazione tradizionale (LNAV) sul segnale civile originale (codice C/A). Il CNAV offre inoltre caratteristiche moderne quali la correzione dell'errore di inoltro. Il CNAV è pienamente definito nelle [specifiche d'interfaccia](#) per i segnali GPS L2C, L5 e L1C.

5.1.1.3 BeiDou

BeiDou è un sistema globale di navigazione satellitare di proprietà delle autorità cinesi e sviluppato dalle stesse. Si tratta di un sistema a duplice uso, che soddisferà le esigenze tanto di utenti civili quanto di utenti governativi, comprese le forze militari.

Il **segmento spaziale** di BeiDou, illustrato nella [Figura 33](#), è progettato per essere formato da 5 satelliti GEO, tre satelliti geostazionari inclinati (ISGO) e 27 satelliti MEO. I satelliti GEO si trovano a 58,75°E, 80,0°E, 110,5°E, 140,0°E e 160,0°E. I satelliti IGSO sono distribuiti uniformemente in un'orbita con un'altitudine di 36 000 km, un'inclinazione di 55° e un punto di intersezione a 118,0°E. I satelliti MEO sono distribuiti uniformemente in orbite circolari su tre piani orbitali, con un'altitudine di 21 500 km e un'inclinazione di 55°.



Il **segmento terrestre** di BeiDou è costituito da una stazione di controllo, da stazioni di caricamento e da una rete di stazioni di monitoraggio. Le stazioni di monitoraggio controllano la qualità dei segnali di navigazione e lo stato dei satelliti e trasmettono tali informazioni al centro di controllo. Il centro di controllo elabora tali informazioni, genera il nuovo messaggio di navigazione e i comandi necessari per il corretto funzionamento dei satelliti. Le stazioni di caricamento trasmettono tali informazioni ai satelliti.

Figura 33 – Costellazione BeiDou

5.1.1.3.1 Servizi BeiDou

BeiDou disporrà di due tipi di servizi:

- il **servizio civile di BeiDou**, il cui accesso è gratuito e illimitato, ed è politica delle autorità cinesi mantenere in essere tali condizioni. Per accedere al servizio pubblico di BeiDou, gli utenti devono soltanto disporre di un ricevitore BeiDou adeguato;
- il **servizio riservato di BeiDou** il cui accesso è limitato alle autorità cinesi.

5.1.1.3.2 Caratteristiche principali

BeiDou presenta una copertura globale sulla superficie terrestre, in tutte le condizioni meteorologiche, fornisce servizi di posizionamento, navigazione e sincronizzazione. La [Figura 33](#) e la [Figura 34](#) mostrano le caratteristiche principali dei segnali BeiDou.

Tabella 12 – Caratteristiche principali dei segnali BeiDou

B1				
Segnale	B1-I(OS)	B1-Q(AS)	B1-C	B1
Frequenza (MHz)	1 561,098	1 561,098	1 575,42	1 575,42
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (2)	BPSK (2)	MBOC (6,1,1/11)	BOC (14,2)
B3				
Segnale	B3-I(AS)	B3-Q(AS)	B3-A(AS)	B3(AS)

Frequenza (MHz)	1 268,52	1 268,52	1 268,52	1 268,52
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (10)	BPSK (10)	BOC (15,2.5)	BPSK (10)
B2				
Segnale	B2-I(OS)	B2-Q(AS)	B2a	B2b
Frequenza (MHz)	1 207,14	1 207,14	1 176,46	1 207,14
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (2)	BPSK (10)	AltBOC (15,10)	AltBOC (15,10)

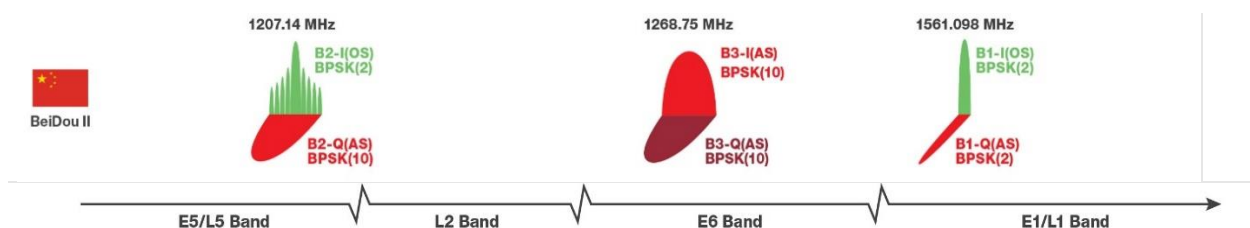


Figura 34 – Segnali BeiDou (Crediti: [Navipedia](#))

5.1.1.3.3 Prestazioni

Nel 2013 l'Ufficio cinese per la navigazione satellitare ha pubblicato il documento "*BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard*". La [Tabella 13](#) riproduce i valori relativi alla precisione in termini di posizionamento, velocità e sincronizzazione.

Tabella 13 – Prestazioni di BeiDou

Precisione orizzontale (95 %)	≤ 10 m	Errore statistico di posizionamento/velocità/sincronizzazione per qualsiasi punto del volume di servizio su un intervallo di 24 ore.
Precisione verticale (95 %)	≤ 10 m	
Precisione in termini di velocità (95 %)	≤ 0,2 m/s	
Precisione in termini di sincronizzazione (95 %)	≤ 50 ns	
Disponibilità del posizionamento	≥ 0,95	

Per sfruttare i segnali BeiDou, gli utenti devono disporre di un ricevitore compatibile e BeiDou può servire contemporaneamente un numero illimitato di utenti.

5.1.1.3.4 Stato e piani di ammodernamento

La [costellazione completa](#) di BeiDou 3 è composta da 24 satelliti MEO, 3 IGSO e 3 GEO ed è stata completata nel 2020. A gennaio del 2022 erano operativi 44 satelliti della costellazione: 7 nell'orbita terrestre geostazionaria, 10 a 55° nell'orbita geosincrona inclinata e 27 nell'orbita terrestre media. Inoltre 5 satelliti (2 nell'orbita terrestre media, 1 nell'orbita terrestre geostazionaria e 2 nell'orbita geosincrona inclinata) sono in fase di collaudo o messa in servizio.

5.1.1.4 GLONASS

GLONASS è un sistema di radionavigazione basato su satelliti di proprietà della Russia e gestito dalla stessa. Si tratta di un sistema a duplice uso che fornisce servizi a utenti civili e militari.

GLONASS è costituito da un segmento spaziale, un segmento di controllo e un segmento utenti. Sono necessari almeno 24 satelliti per fornire una copertura globale. I satelliti si trovano in tre piani orbitali inclinati di 63,8° ad un'altitudine di 19 140 km. Questa configurazione garantisce la copertura globale sulla superficie terrestre ed è adattata alle alte latitudini della Russia.

GLONASS ha **raggiunto la piena capacità operativa** (24 satelliti funzionanti) **nel 1996**, ma nel 2002 la costellazione è scesa ad appena sette satelliti, con solo sei disponibili durante le operazioni di manutenzione. Una costellazione completa di 24 satelliti è stata nuovamente raggiunta l'8 dicembre 2011 ed è stata successivamente più o meno mantenuta (cfr. [5.1.1.4.4](#) per lo stato della costellazione).

Il segmento di controllo di GLONASS è costituito da una rete di stazioni di monitoraggio, antenne di comunicazione da terra ai satelliti e viceversa, stazioni di tracciamento laser e un centro di controllo del sistema. Il segmento di controllo monitora lo stato e le prestazioni dei satelliti, risolve ogni potenziale anomalia che potrebbe presentarsi ([documenti del sistema GLONASS](#)).

5.1.1.4.1 Servizi GLONASS

GLONASS offre due tipi di servizi:

- il **servizio civile GLONASS**, il cui accesso è gratuito e illimitato, ed è politica della Russia mantenere in essere tali condizioni. Per accedere al servizio pubblico di GLONASS, gli utenti devono soltanto disporre di un ricevitore GLONASS adeguato;
- il **servizio riservato di GLONASS** il cui accesso è limitato al governo russo e alle forze armate russe.

5.1.1.4.2 Caratteristiche principali

GLONASS presenta una copertura globale sulla superficie terrestre, in tutte le condizioni meteorologiche, che fornisce servizi di posizionamento, navigazione e sincronizzazione. La [Tabella 14](#) e la [Figura 35](#) mostrano le caratteristiche principali dei segnali GLONASS.

Tabella 14 – Caratteristiche principali dei segnali GLONASS

L1				
Segnale	C/A	P	L1 OC	L1 OCM
Frequenza (MHz)	da 1 598,0625 a 1 605,375	da 1 598,0625 a 1 605,375	1 600,995	1 600,995
Tecnica di accesso	FDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (0,511)	BPSK (5,11)	BPSK (1)	BOC (5,2.5)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 161	n.d.		
L2				
Segnale	C/A	P	L2 OC	L2 OCM
Frequenza (MHz)	da 1 242,9375 a 1 248,625	da 1 242,9375 a 1 248,625	1 248,06	1 248,06
Tecnica di accesso	FDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (0,511)	BPSK (5,11)	BPSK (1)	BOC (5,2.5)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 167	n.d.		

L3	
Segnale	L3 OC
Frequenza (MHz)	1 202,025
Tecnica di accesso	CDMA
Modulazione	QPSK (10)
L5	
Segnale	L5 OC
Frequenza (MHz)	1 176,45
Tecnica di accesso	CDMA
Modulazione	QPSK (10)

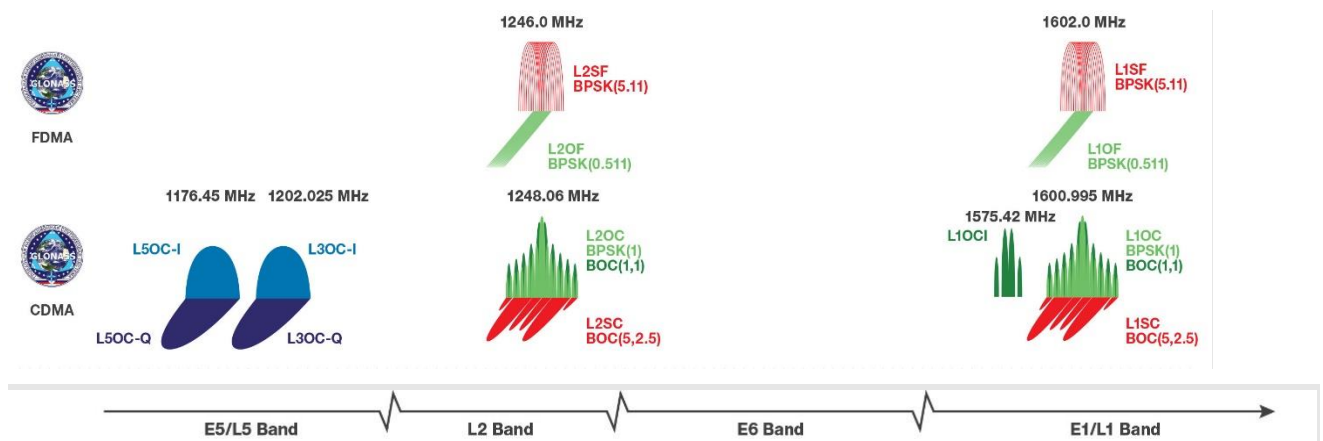


Figura 35 – Segnali GLONASS (Crediti: [Navipedia](#))

5.1.1.4.3 Prestazioni

GLONASS pubblica il sistema di costellazione e le prestazioni per gli utenti sul [sito web ufficiale di GLONASS](#). La precisione per gli utenti del segnale nello spazio (SIS UA, *Signal-in-Space User Accuracy*) e l'errore di determinazione della distanza per il segnale nello spazio (SISRE, *Signal-in-Space Ranging Error*) rilevati nell'agosto del 2022 sono riportati rispettivamente nella [Figura 36](#) e nella [Figura 37](#).

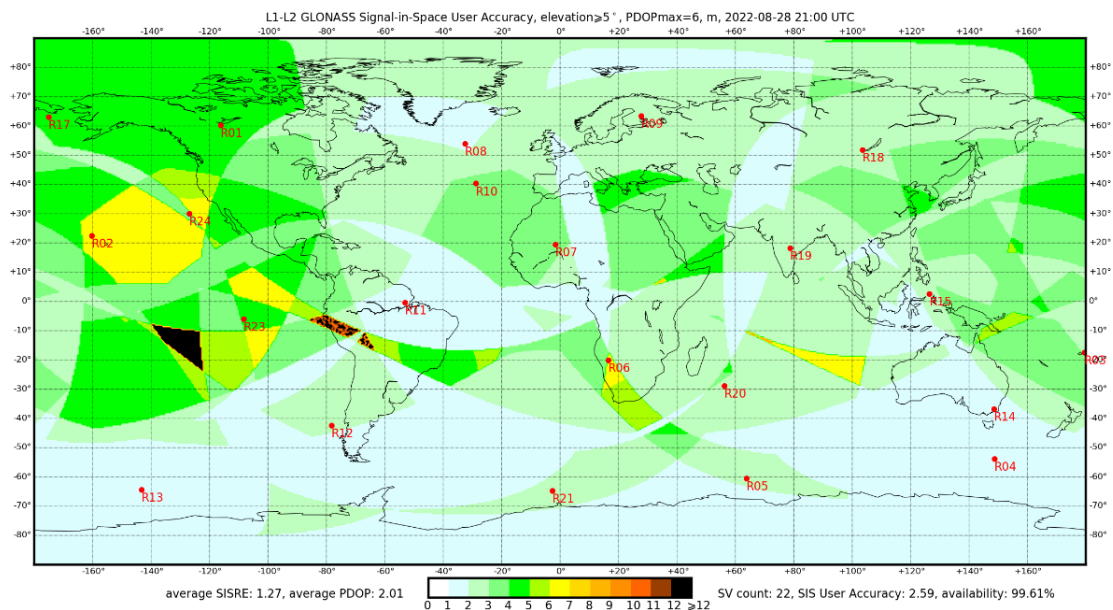


Figura 36 – Prestazioni di GLONASS in termini di precisione per gli utenti del segnale nello spazio (SIS UA)

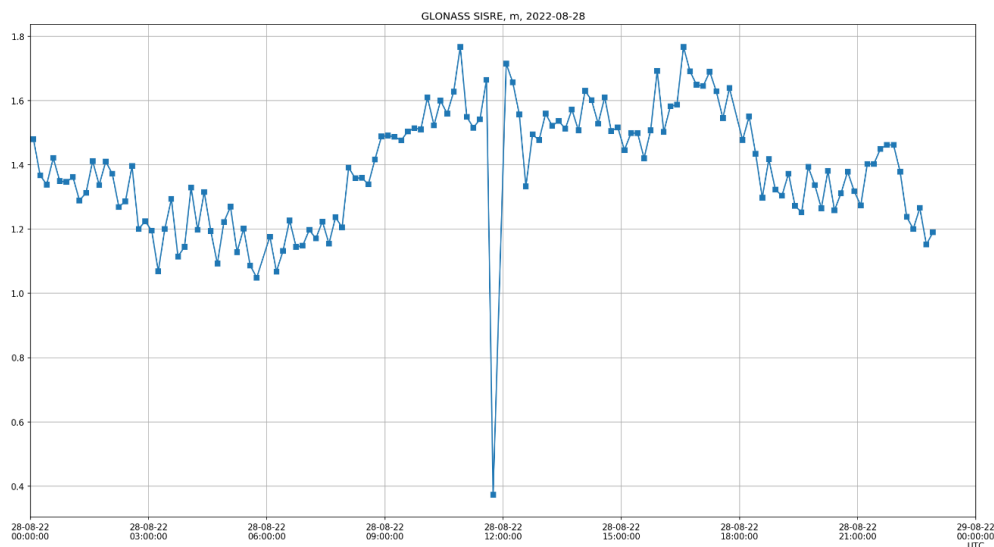


Figura 37 – Prestazioni di GLONASS in termini di errore di determinazione della distanza per il segnale nello spazio (SISRE)

Per sfruttare i segnali GLONASS, gli utenti devono disporre di un ricevitore compatibile e GLONASS può servire contemporaneamente un numero illimitato di utenti.

5.1.1.4.4 Stato e piani di ammodernamento

Nel maggio del 2022 vi erano 22 [satelliti GLONASS operativi](#) in orbita e 3 in fase di manutenzione. Tutti i satelliti appartengono al blocco GLONASS-M, fatta eccezione per due che appartengono al blocco GLONASS-K. Dal 2019 la Russia prevede di ricostituire la costellazione con satelliti GLONASS-K1 e GLONASS-K2 modernizzati. Gli L1 e L2 FDMA hanno raggiunto la piena capacità operativa. Secondo le previsioni, l'L3 CDMA dovrebbe raggiungere la piena capacità operativa nel 2022, l'L2 CDMA nel 2025 e l'L1 CDMA intorno al 2030 ([documenti ufficiali del sistema GLONASS](#)).

Maggiori informazioni sullo stato del sistema e sulla sua modernizzazione sono disponibili sul [sito web di GLONASS](#).

5.1.2 Sistemi di navigazione satellitare – Copertura regionale

5.1.2.1 QZSS

Il sistema satellitare Quasi-Zenith (QZSS), noto anche come Michibiki, è un sistema regionale di potenziamento basato su satelliti sviluppato dal **Giappone** per migliorare le prestazioni a disposizione degli utenti GPS nelle regioni dell'Asia/Oceania. Il sistema è composto da quattro satelliti operativi e da un satellite di riserva con copertura incentrata sul Giappone. I **primi quattro satelliti** erano disponibili nel gennaio del 2018 e sono diventati **operativi nel novembre 2018**.

Il QZSS utilizza un satellite geostazionario e tre satelliti in orbite geosincrone, leggermente ellittiche, altamente inclinate, di tipo tundra. Ciascuna orbita si discosta di 120° dalle altre due. A causa di tale inclinazione, tali satelliti non sono geostazionari; non rimangono nello stesso punto nel cielo. Al contrario, le loro tracce a terra sono diagrammi asimmetrici (analemmi), concepiti per garantire che uno di essi sia sempre quasi direttamente fisso (angolo di elevazione pari a 60° o maggiore) sul Giappone. Ulteriori informazioni sono disponibili sul [sito web di QZSS](#).

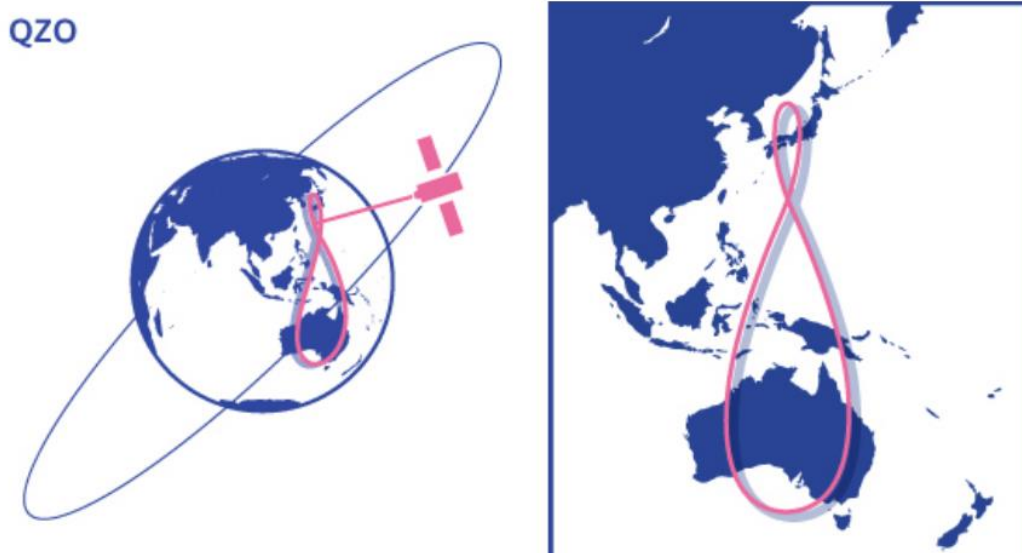


Figura 38 – costellazione QZSS (fonte: [Segretario per la politica spaziale nazionale di QZSS](#))

5.1.2.1.1 Servizi del QZSS

Il QZSS fornisce tre classi di servizio pubblico:

- il **servizio PNT** integra i segnali utilizzati dal sistema GPS, fornendo segnali di aggiuntivi di determinazione della distanza. Il servizio trasmette sulle bande L1C/A, L1C, L2C e L5C, come avviene per il sistema GPS;
- il **servizio SLAS (Sub-metre Level Augmentation, potenziamento a livello inferiore al metro)** fornisce un potenziamento del GNSS per il GPS ed è interoperabile con altri sistemi GPS-SBAS. Tale servizio trasmette con frequenza L1;
- il **servizio CLAS (Centimetre Level Augmentation, potenziamento a livello di centimetro)** fornisce un posizionamento ad alta precisione compatibile con il servizio E6 di maggiore precisione di Galileo. La banda è denominata L6 o LEX, che sta per "sperimentale".

5.1.2.1.2 Caratteristiche principali

I satelliti Quasi-Zenith trasmettono **segnali compatibili con il segnale GPS L1C/A**, nonché con i **segnali GPS** modernizzati L1C, L2C e L5. Rispetto al GPS autonomo, il sistema combinato di GPS e QZSS fornisce migliori prestazioni in termini di posizionamento grazie ai dati di correzione della determinazione della distanza forniti mediante segnali L1-SAIF e LEX che migliorano le prestazioni. Migliora inoltre l'affidabilità attraverso il monitoraggio dei guasti e le notifiche dei dati sulla salute del sistema.

La [Tabella 15](#) e la [Figura 39](#) mostra le caratteristiche principali dei segnali QZSS.

Tabella 15 – Caratteristiche principali dei segnali QZSS

L1			
Segnale	L1 C/A	L1 C/B	L1C
Frequenza (MHz)	1 575,42	1 575,42	1 575,42
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (1)	BOC	BOC/TBOC
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 158,5	- 158,5	L1CD: - 163,0 dBW L1CP: - 158,25 dBW
L2			
Segnale	L2 C		
Frequenza (MHz)	1 227,6		
Tecnica di accesso	CDMA		
Modulazione	BPSK		
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 160,0 (Blocco I) - 157,0 (Blocco II)		
L5			
Segnale	L5		
Frequenza (MHz)	1 176,45		
Tecnica di accesso	CDMA		
Modulazione	QPSK		
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 157,9 (Blocco I) - 157,0 (Blocco II)		
L6			
Segnale	L6		
Frequenza (MHz)	1 278,75		
Tecnica di accesso	CDMA		
Modulazione	BPSK		
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 155,7 (Blocco I) - 156,8 (Blocco II)		

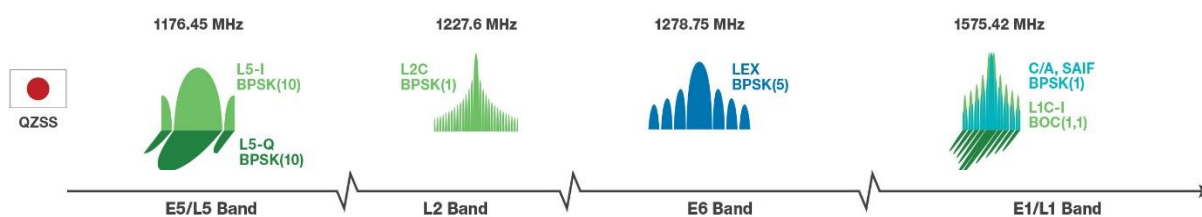


Figura 39 – Segnali QZSS (Crediti: [Navipedia](#))

Per sfruttare i segnali QZSS, gli utenti devono semplicemente disporre di un ricevitore compatibile e il QZSS può servire contemporaneamente un numero illimitato di utenti.

5.1.2.1.3 Prestazioni

Le prestazioni di QZSS sono descritte nelle relazioni tecniche disponibili presso l'[Ufficio di gabinetto del governo giapponese](#). La precisione del segnale nello spazio dei satelliti QZSS nel corso del 2021 è riportata nella [Figura 40](#).

Satellite	NAV Messaggio	Precisione del SIS (95 %) [m]					
		Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
SVN001 (PRN193)	LNAV	0,53	0,55	0,76	0,81	0,57	2,75
	CNAV	0,52	0,55	0,72	0,78	0,57	2,73
SVN002 (PRN194)	LNAV	0,88	1,08	1,06	0,71	0,60	0,47
	CNAV	0,88	1,12	1,08	0,71	0,59	0,48
SVN003 (PRN199)	LNAV	0,74	0,81	0,63	0,71	0,64	0,63
	CNAV	0,75	0,76	0,62	0,65	0,66	0,63
SVN004 (PRN195)	LNAV	0,93	0,83	0,88	0,99	0,88	0,92
	CNAV	0,93	0,81	0,89	0,98	0,89	0,95

Figura 40 – Prestazioni del QZSS

5.1.2.1.4 Stato e piani di ammodernamento

Dopo il successo del lancio del satellite QZS-1R nell'ottobre 2021, il QZSS ha avviato la sostituzione del satellite della costellazione. Il QZSS è entrato in servizio nel novembre del 2018 con quattro satelliti. Tre satelliti aggiuntivi si troveranno nell'orbita geosincrona inclinata, nell'orbita geostazionaria a 90,5° di longitudine est e nell'orbita quasi-geostazionaria a 175° di longitudine ovest. Inoltre due satelliti geostazionari e un satellite quasi-geostazionario completeranno la nuova costellazione. L'Agenzia giapponese per l'esplorazione aerospaziale (JAXA) prevede di avviare un **servizio con una costellazione di sette satelliti entro il 2023** e servizi PPP e di autenticazione entro il 2024.

Ulteriori informazioni sono disponibili anche su [Navipedia](#).

5.1.2.2 IRNSS (NavIC)

Il sistema di navigazione satellitare regionale indiano (IRNSS), che assume la denominazione operativa di NavIC (acronimo derivato dall'inglese *Navigation with Indian Constellation* che significa navigazione tramite costellazione indiana), è un sistema autonomo di navigazione satellitare **regionale** che fornisce servizi precisi di posizionamento e sincronizzazione in tempo reale. Copre la zona dell'**India** e una regione che si estende per 1 500 km (930 mi) intorno a tale paese, con piani di ulteriore espansione. Un'area di servizio estesa è situata tra l'area di servizio principale e un'area rettangolare delimitata dal 30° parallelo a sud al 50° parallelo a nord e dal 30° meridiano ad est fino al 130° meridiano ad est, 1 500-6 000 km oltre i confini.

La costellazione è costituita da 8 satelliti (7 operativi). Tre degli otto satelliti si trovano nell'orbita terrestre geostazionaria a 32,5° E, 83° E e 131,5° E, a circa 36 000 km sopra la superficie terrestre. I restanti cinque satelliti si trovano nell'orbita geosincrona inclinata. Due di essi attraversano l'equatore a 55° E e due a 111,75° E.

5.1.2.2.1 Servizi dell'IRNSS

Il NavIC fornirà due livelli di servizio:

- il **servizio di posizionamento standard (SPS)** che sarà aperto all'uso civile;
- il **servizio riservato (RS)** criptato per gli utenti autorizzati (compresi i militari).

5.1.2.2.2 Caratteristiche principali

Entrambi i servizi NavIC saranno prestati sulla banda L5 (1 176,45 MHz) e sulla banda S (2 492,028 MHz). [54] Il segnale del servizio di posizionamento standard sarà modulato da un segnale BPSK a 1 MHz, mentre il servizio riservato utilizzerà un segnale BOC (5,2). I segnali di navigazione stessi verrebbero trasmessi alla frequenza della banda S (2-4 GHz) e trasmessi attraverso una rete di antenne in fase per mantenere la copertura e l'intensità richieste del segnale.

Tabella 16 – Caratteristiche principali dei segnali IRNSS

L5		
Segnale	L5 SPS	L5 RS
Frequenza (MHz)	1 176,45	1 176,45
Tecnica di accesso	CDMA	CDMA
Modulazione	BPSK (1)	BOC (5,2)
Potenza minima ricevuta [dBW]	- 159,0	- 159,0

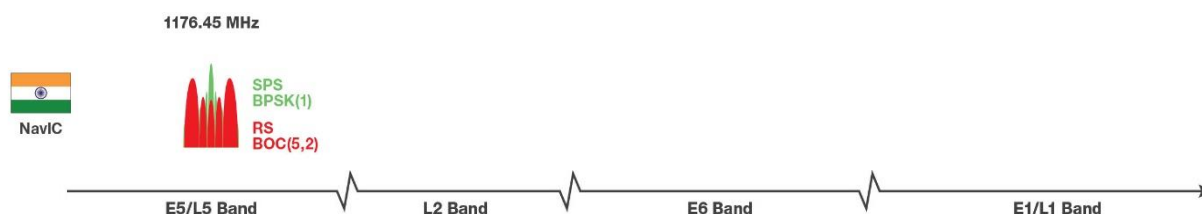


Figura 41 – Segnali IRNSS (Crediti: [Navipedia](#))

Per sfruttare i segnali IRNSS, gli utenti devono semplicemente disporre di un ricevitore compatibile e l'IRNSS può servire contemporaneamente un numero illimitato di utenti.

5.1.2.2.3 Prestazioni

Le prestazioni dell'IRNSS sono descritte nelle relazioni tecniche disponibili sul [sito web del programma IRNSS](#). La precisione della determinazione della distanza per gli utenti dei satelliti QZSS nel corso del 2021 è illustrata nella [Figura 42](#).

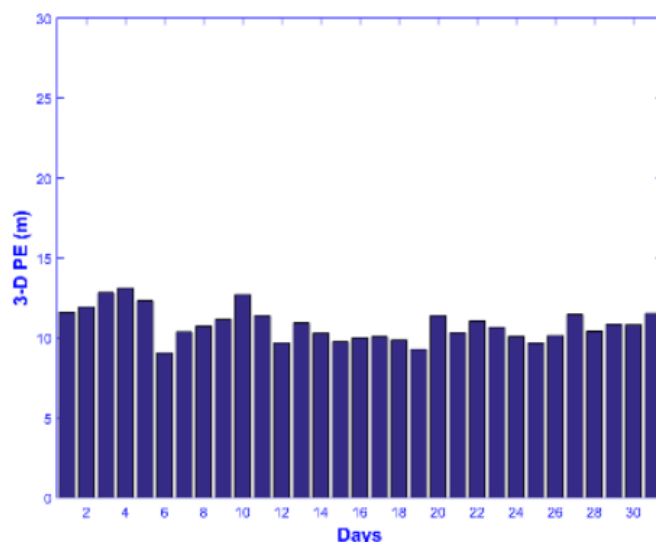


Figura 42 – Precisione della determinazione della distanza per gli utenti dell'IRNSS nel dicembre del 2021
(Fonte: [relazione ufficiale sull'IRNSS Official del quarto trimestre del 2021](#))

5.1.2.2.4 Stato e piani di ammodernamento

Nel suo [dodicesimo piano quinquennale \(2012-2017\)](#), il [dipartimento indiano per lo Spazio](#) ha previsto l'**aumento del numero di satelliti** nella costellazione da 7 a 11 per estendere la copertura. Tali quattro satelliti supplementari saranno lanciati nell'orbita geosincrona con un'inclinazione di 42°.

L'Organizzazione indiana per la ricerca spaziale (ISRO) lancerà cinque satelliti di prossima generazione con payload nuovi e una durata di vita estesa di 12 anni. I nuovi satelliti offriranno funzionalità nella banda L5 e S, introdurranno un **segnale civile interoperabile nuovo nella banda L1** nel payload di navigazione e utilizzeranno lo **standard indiano della frequenza atomica del rubidio**.

Nel 2012, nell'ambito delle iniziative tecnologiche e politiche, sono stati avviati studi e analisi relativi al sistema globale di navigazione indiano (GINS). Si ipotizza che tale sistema avrà una costellazione costituita da 24 satelliti, posizionati a 24 000 km sopra la superficie della Terra. A partire dal 2013 è stata completata la registrazione obbligatoria dello spettro di frequenze delle orbite satellitari del GINS nello spazio internazionale. L'[ISRO e Dipartimento per lo spazio \(DoS\)](#) stanno lavorando all'espansione della copertura del NavIC dal livello regionale a quello mondiale, che sarà indipendente da altri sistemi di questo tipo attualmente operativi, ossia GPS, GLONASS, BeiDou e Galileo, pur rimanendo interoperabile e gratuito per un uso pubblico globale.

5.1.2.3 Sistema di posizionamento coreano (KPS, Korean Positioning System)

Il sistema coreano di posizionamento (KPS) è costituito da una costellazione di satelliti della Corea del Sud che la Corea intende costruire entro il 2035, destinato a fornire segnali di posizionamento e navigazione indipendenti su un'area che si estende su un raggio di 1 000 km dalla capitale del paese, Seoul. Il KPS dovrebbe essere costituito da una costellazione a sette satelliti, con tre satelliti in orbita geosincrona e quattro in orbita geosincrona inclinata sopra alla penisola coreana. Secondo le previsioni, il KPS dovrebbe migliorare la precisione del GPS, passando da 10 metri a meno di un metro.

Il primo satellite sarà lanciato nel 2027, con un servizio di sperimentazione previsto per il 2034 e un servizio a pieno titolo l'anno successivo.

5.1.3 Sistemi di potenziamento

5.1.3.1 Spaziali

I sistemi di potenziamento di GNSS spaziali sono quelli nel contesto dei quali le correzioni GNSS sono trasmesse agli utenti attraverso satelliti e forniscono quindi informazioni di potenziamento su un'area estesa (ossia su scala continentale).

Esistono due tipi di tali sistemi di potenziamento di GNSS: i sistemi di potenziamento basati su satelliti (SBAS) e quelli basati sul posizionamento a punto preciso (PPP).

5.1.3.1.1 Sistemi di potenziamento basati su satelliti (SBAS)

Gli SBAS forniscono **servizi di potenziamento** destinati a migliorare la precisione e garantire l'integrità dei segnali GNSS. I sistemi SBAS possono anche trasmettere segnali GNSS di determinazione della distanza provenienti dal rispettivo segmento spaziale. La **precisione** è migliorata attraverso la trasmissione di correzioni su area estesa agli errori di determinazione della distanza del GNSS, mentre l'**integrità** è garantita dal rapido rilevamento di errori nei segnali satellitari e nella ionosfera e dall'invio di allarmi agli utenti.

Gli SBAS sono costituiti da un **segmento spaziale** (satelliti geostazionari), un **segmento terrestre** (stazioni di riferimento, stazioni centrali e stazioni per il collegamento ascendente), un **segmento utenti** (ricevitori utenti che elaborano i segnali SBAS) e un **segmento di supporto** (per fornire sostegno all'erogazione di servizi SBAS).

Le stazioni di riferimento SBAS sono distribuite principalmente a livello geografico in tutta l'area di servizio SBAS e ricevono segnali GNSS che inoltrano alle stazioni centrali SBAS. Poiché l'ubicazione delle stazioni di riferimento è nota con precisione, le stazioni centrali possono calcolare con precisione le correzioni su area estesa. Tali correzioni sono inviate a stazioni dedicate per la trasmissione da terra ai satelliti SBAS che le trasmettono ai ricevitori GNSS in tutta la zona di copertura SBAS.

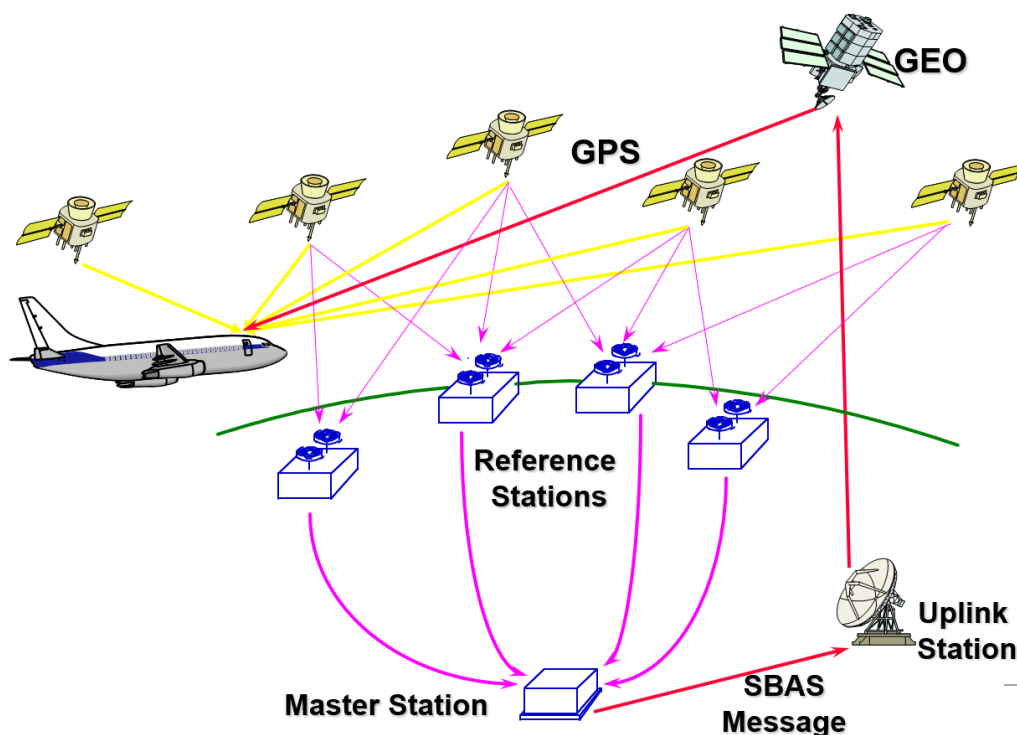


Figura 43 – Architettura SBAS (Fonte: [ICAO](#))

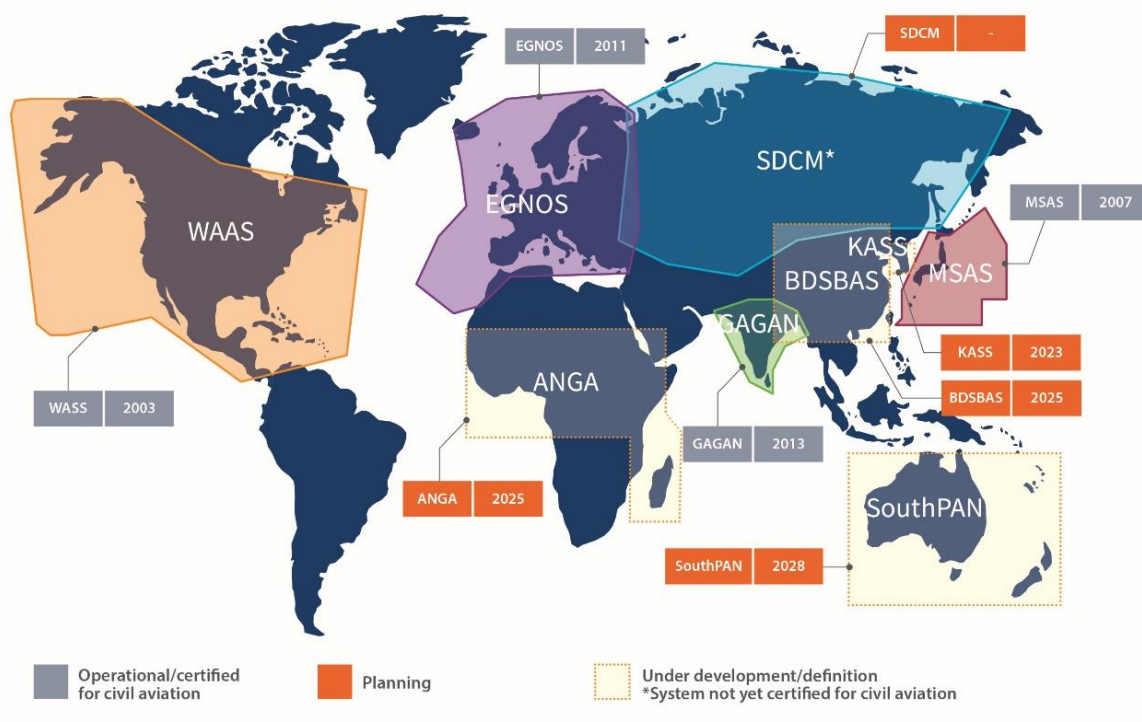
I servizi SBAS sono utilizzati per **applicazioni di sicurezza della vita**, quali l'aviazione. Nel contesto della **navigazione**, gli SBAS consentono avvicinamenti LPV (ossia avvicinamenti di precisione che forniscono una

guida laterale e verticale simile agli avvicinamenti ILS ma senza infrastrutture di terra in loco). Nel contesto della **sorveglianza**, gli SBAS consentono di migliorare la posizione degli aeromobili permettendo di ridurre la separazione tra gli aeromobili e le altre operazioni aeroportuali migliorate. Ulteriori dettagli sui benefici degli SBAS per il settore dell'aviazione sono riportati alla sezione [3.4.3](#).

Esistono diversi sistemi SBAS (per una panoramica cfr. [Figura 44](#)):

- [EGNOS \(servizio europeo di copertura per la navigazione geostazionaria\)](#) è il sistema di potenziamento europeo che migliora la precisione delle posizioni derivate dai segnali GPS (e dai segnali Galileo in futuro) e avverte gli utenti in merito all'affidabilità dei segnali. EGNOS trasmette dati di correzione differenziale per uso pubblico ed è certificato per le applicazioni di sicurezza della vita (servizi operativi dal 2011);
- l'Amministrazione federale dell'aviazione (*Federal Aviation Administration*, FAA) degli Stati Uniti ha sviluppato il [WAAS \(sistema di potenziamento a copertura allargata\)](#), che fornisce correzioni del GPS ed è certificato per il settore dell'aviazione civile dal 2003;
- il [MSAS \(MTSAT Satellite Augmentation System\)](#) (sistema di potenziamento basato su satelliti MTSAT) è uno SBAS che fornisce servizi di potenziamento al Giappone dal 2007;
- il [GAGAN \(GPS Aided Geo Augmented Navigation or GPS and Geo Augmented Navigation system\)](#) (sistema di navigazione potenziato basato su satelliti GEO assistito da GPS o il sistema di navigazione potenziato basato su satelliti GEO e sul GPS) è uno SBAS che dal 2013 sostiene la navigazione aerea sullo spazio aereo indiano;
- dall'ottobre del 2014 l'istituto di ricerca aerospaziale coreano (KARI, *Korea Aerospace Research Institute*) è il principale organismo di ricerca che sviluppa e costruisce il sistema di potenziamento coreano basato su satelliti (SBAS), noto come [KASS \(Korea Augmentation Satellite System\)](#) in conformità all'annesso 10 dell'ICAO. Secondo le previsioni, nel 2024 dovrebbe fornire un servizio di sicurezza della vita APV-1;
- l'[ASECNA-SBAS \(ANGA – Augmented Navigation for Africa\)](#) (navigazione potenziata per l'Africa) è lo SBAS per l'iniziativa di sviluppo dell'Africa e dell'Oceano Indiano. L'ANGA mira a fornire nel 2025 servizi SBAS per operazioni NPA, APV-1 e CAT I. Oltre l'orizzonte del 2028/2030, si prevede la fornitura di servizi DFMC di atterraggio automatico CAT I e, potenzialmente, per altre operazioni;
- il [SouthPAN \(South Positioning Augmentation System\)](#) (sistema di potenziamento del posizionamento meridionale) è lo SBAS operativo dell'Australia e della Nuova Zelanda che si prevede dovrebbe conseguire la piena capacità operativa nel 2025;
- la Repubblica popolare cinese sta sviluppando un sistema SBAS, denominato [BDSBAS \(BeiDou Satellite-Based Augmentation system\)](#) (sistema di potenziamento basato su satelliti di BeiDou) al fine di fornire servizi SBAS in Cina e nelle regioni circostanti. Secondo le previsioni, il BDSBAS dovrebbe fornire servizi nel 2025 ed è integrato nel sistema BeiDou utilizzando satelliti di tipo BDS-3 per trasmettere il segnale SBAS L1/L5, potenziando i sistemi BeiDou e GPS;
- la Russia sta sviluppando l'[SDCM \(System for Differential Corrections and Monitoring\)](#) (sistema di correzione e monitoraggio differenziati) per fornire alla Russia miglioramenti in termini di precisione e monitoraggio dell'integrità per i sistemi di navigazione GLONASS e GPS. L'SDCM fornirà anche servizi di posizionamento a punto preciso (PPP) per i segnali GLONASS L1/L3.

SBAS Indicative Service areas



The picture depicts available information as of September 2022 and may be subject to changes.

Figura 44 – Sistemi SBAS e aree di servizio indicative (Crediti: EUSPA)

5.1.3.1.2 Posizionamento a punto preciso (PPP)

Il **posizionamento a punto preciso** fornisce una precisione a livello di centimetro utilizzando correzioni di segnali di **orbite satellitari e orologi** distribuiti tramite satelliti o internet. Utilizzando un modello di errore molto preciso, questa soluzione richiede un periodo di convergenza per filtrare innanzitutto le osservazioni di codice e portante e, successivamente, stimare l'errore dell'orologio satellitare, il ritardo troposferico allo Zenith (ZTD, *Zenith Tropospheric path Delay*) e le ambiguità di fase flottanti per tutti i satelliti. La precisione e il tempo di convergenza dipendono dalle condizioni ambientali, dalla qualità delle correzioni e dall'applicazione dell'algoritmo EKF (*Extended Kalman Filter*, filtro di Kalman esteso). È possibile anche una posizione meno precisa per il solo codice.

Esistono **diversi fornitori commerciali di servizi PPP**, tra cui [Hexagon Veripos](#), [TerraStar](#), [Trimble OmniSTAR](#), [Fugro Seastar](#), [u-blox PointPerfect](#), [Swift Navigation Skylark](#) e [Deer StarFire](#). Questi fornitori stimano gli errori e le distorsioni di posizione e di orologio satellitari attraverso una rete di stazioni terrestri che raccolgono osservazioni su segnali e costellazioni diversi. Il servizio fornisce correzioni delle componenti di errore stimate e le trasmette agli utenti tramite satelliti o canali terrestri (ad esempio internet). Anche Galileo fornisce un servizio PPP in tempo reale gratuito con una copertura globale attraverso il **servizio ad alta precisione di Galileo** (sezione [3.2.2](#)).

Il posizionamento ad alta precisione **PPP tradizionale** presenta alcuni limiti legati al tempo di convergenza. In effetti il ricevitore può necessitare di diversi minuti per fornire una posizione con una precisione di posizionamento al centimetro. Si tratta di una soluzione utile ampiamente adottata in applicazioni statiche, quali il rilevamento topografico. Le condizioni ambientali potenzialmente difficili per applicazioni dinamiche (ad esempio droni, micromobilità, agricoltura di precisione, automobili a guida autonoma, operazioni automatiche marittime) creano sfide a livello di prestazioni in termini tanto di precisione quanto di tempo di convergenza. In tali casi, al fine di superare le limitazioni generate da errori locali e di fornire

un posizionamento a livello di centimetri, sono necessarie tecniche che integrino sensori locali e mappe digitali.

5.1.3.2 Terrestri

5.1.3.2.1 Sistema di potenziamento a terra (GBAS)

Un sistema di potenziamento a terra (GBAS) è un sistema critico per la sicurezza dell'aviazione civile che sostiene il **potenziamento locale, a livello di aeroporto**, dei segnali di costellazione GNSS. L'obiettivo di un GBAS consiste principalmente nel sostenere le operazioni di avvicinamento di precisione.

Il sistema completo è costituito da un sottosistema di terra GBAS e da un sottosistema (a bordo) aeromobile GBAS. Un sottosistema di terra GBAS può sostenere un numero illimitato di unità aeronautiche all'interno del suo volume di copertura GBAS, fornendo agli aeromobili dati relativi al percorso di avvicinamento e, per ogni satellite in vista, **correzioni differenziali** e informazioni sull'**integrità**. Tali correzioni consentono all'aeromobile di determinare con maggiore precisione la propria posizione rispetto al percorso di avvicinamento, consentendo operazioni più rigorose e guidando l'aeromobile verso la pista in sicurezza.

L'infrastruttura di terra GBAS comprende due o più ricevitori di riferimento GNSS presso l'aeroporto dotato di GBAS che raccolgono pseudodistanze dai satelliti GNSS in vista e calcola e trasmette correzioni differenziali e informazioni relative all'integrità per tali satelliti sulla base della propria posizione rilevata. Tali correzioni differenziali sono trasmesse dal sistema di terra attraverso una trasmissione dati a frequenza altissima (VDB) (*Very High Frequency Data Broadcast*) al ricevitore abilitato GBAS a bordo dell'aeromobile. Le informazioni trasmesse comprendono correzioni di pseudodistanze, parametri di integrità e vari dati pertinenti a livello locale, quali i dati del segmento finale di avvicinamento (*FAS, Final Approach Segment*).

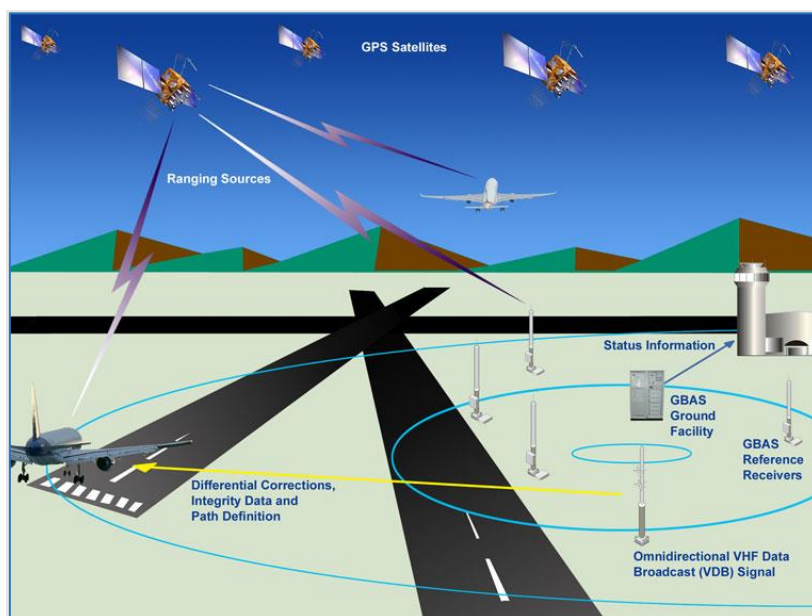


Figura 45 – Architettura GBAS (Crediti: [FAA](#))

Il GBAS fornisce il proprio servizio a tali aeromobili equipaggiati in un'area locale di circa 30 km intorno all'aeroporto. L'aeromobile utilizza le correzioni differenziali per calcolare una posizione migliorata (con integrità) che utilizza per navigare in modo preciso e passare dallo spazio aereo in rotta verso e attraverso lo spazio aereo dell'area del terminale.

Sebbene l'obiettivo principale del GBAS sia fornire una garanzia di integrità, esso aumenta anche la precisione con errori di posizione inferiori a un metro. Solitamente un sistema GBAS è progettato per

soddisfare un avvicinamento di precisione CAT I e molto di recente sono state attivate anche operazioni CAT II (operazioni GBAS CAT II a Francoforte).

Maggiori informazioni sull'architettura e sulle prestazioni del GBAS sono disponibili consultando la voce GBAS su Navipedia.

5.1.3.2.2 *GNSS differenziale, cinematica in tempo reale e posizionamento a punto preciso*

Il sistema **GNSS differenziale (DGNSS)** è un tipo di sistema di potenziamento basato sull'uso di una rete di stazioni di riferimento terrestri che **trasmettono informazioni differenziali** all'utente (in inglese denominato anche "rover") per migliorare la precisione della sua posizione.

Il DGNSS è spesso utilizzato per riferirsi specificamente a sistemi che ritrasmettono le correzioni dei trasmettitori a corto raggio a terra. Ad esempio, la guardia costiera degli Stati Uniti e la guardia costiera canadese gestiscono uno di questi sistemi negli Stati Uniti e in Canada sulle frequenze radio a onde lunghe comprese tra 285 kHz e 325 kHz. Tali frequenze sono comunemente utilizzate per la radio marina e sono trasmesse in prossimità delle principali vie navigabili e di porti importanti. L'Australia gestisce due sistemi DGPS: uno riguarda principalmente la navigazione marittima, gestito dall'*Australian Maritime Safety Authority* (autorità australiana per la sicurezza marittima), che trasmette il suo segnale sulla banda a onde lunghe; l'altro è utilizzato per i rilevamenti topografici e la navigazione terrestre, con correzioni sulla banda radio commerciale FM.

Altre tecniche DGNSS utilizzate da applicazioni di navigazione/rilevamento topografico ad alta precisione, basate sull'uso di misurazioni della fase portante, sono la cinematica in tempo reale (RTK) e l'RTK su area estesa.

La **cinematica in tempo reale (RTK)** è una tecnica di GNSS differenziale che fornisce prestazioni di posizionamento elevate in prossimità di una stazione di base. Una stazione di base RTK copre un'area di servizio che si estende fino a un massimo di 50 km ed è necessario un canale di comunicazione in tempo reale che colleghi la base e l'utente. L'RTK ottiene prestazioni dell'ordine di pochi centimetri.

La tecnica della **WARTK (Wide Area RTK)**, ossia dell'RTK su area estesa, nota anche come RTK di rete, consente di estendere i servizi locali basati sulla risoluzione di ambiguità della fase portante in tempo reale a una scala su area estesa (ossia superiore a 100 km), tanto per gli utenti a doppia frequenza quanto per quelli a tre frequenze. Utilizzando osservazioni delle pseudodistanze e della fase della portante a doppia frequenza o a tripla frequenza, unitamente ai dati di correzione ricevuti, il ricevitore utente è in grado di eseguire un posizionamento preciso assoluto a livello di centimetri. Questa tecnica si basa su una combinazione ottimale di modelli precisi ionosferici e geodetici in una rete permanente di stazioni di riferimento.

Negli ultimi anni questi approcci consolidati per determinare e fornire correzioni GNSS sono stati combinati con il PPP nei servizi di correzione del GNSS **PPP-RTK** (talvolta denominati anche servizi di correzione per la rappresentazione a spazio degli stati (SSR)) che offrono il meglio di entrambe queste realtà: combinando un'inizializzazione rapida e una precisione prossima a quella della RTK con la capacità di operare per un breve periodo senza correzioni, grazie ad algoritmi PPP. Come le soluzioni basate su PPP, i servizi in questione si basano su un modello di errori GNSS di ampia validità geografica e trasmettono i diversi componenti (o stati) di errore GNSS utilizzando una comunicazione a senso unico. I ricevitori GNSS calcolano quindi le correzioni GNSS per la loro posizione specifica.

Si sta registrando un aumento del numero di servizi PPP in tempo reale che vengono diffusi tramite un canale terrestre via internet, pertanto anche i servizi PPP possono essere classificati come una categoria nuova di servizi terrestri.

5.1.3.3 Basati su ricevitori

I ricevitori nelle applicazioni critiche per la sicurezza utilizzano tecniche di [RAIM \(controllo autonomo dell'integrità con ricevitore\)](#) per garantire il livello di sicurezza della soluzione di posizionamento. Il RAIM si basa su un controllo di coerenza tra le misurazioni effettuate da diversi satelliti e avverte l'utente nel caso in cui venga rilevata un'incoerenza. In tal caso il satellite può essere escluso o il servizio di posizionamento può essere interrotto.

Gli sviluppi recenti del [sistema di potenziamento basato su aeromobili \(ABAS\)](#) nel settore dell'aviazione si concentrano sul RAIM avanzato (A-RAIM) per gli utenti a doppia frequenza e multicostellazione. Ulteriori dettagli sono forniti alla sezione [3.2.8](#).

5.2 Sistemi PNT convenzionali

5.2.1 Radiofari non direzionali (NDB)



Un **radiofaro non direzionale (NDB)** è un ausilio alla radionavigazione che **consente alle apparecchiature associate a bordo dell'aeromobile di determinare il corrispondente rilevamento rispetto allo stesso**. Gli NDB sono sistemi molto semplici, composti da un'antenna onnidirezionale che trasmette costantemente un segnale portante a frequenza fissa. Gli aeromobili dotati di un radiogoniometro automatico (ADF, *Automatic Direction Finder*) possono calcolare l'angolo di arrivo di tale segnale (ossia il rilevamento rispetto all'NDB). Al fine di indicare un percorso o una rotta si possono utilizzare più NDB.

Figura 46 – Sito NDB (Crediti: Krd, soggetta a licenza Creative Commons – [Attribution-Share Alike 4.0 International](#))

5.2.1.1 Caratteristiche principali

Gli NDB operano nella banda di frequenza compresa tra 190 kHz e 1 750 kHz e trasmettono in continuo una portante modulata con informazioni di identificazione. I segnali NDB seguono la curvatura della Terra, di conseguenza la copertura può estendersi da 25 NM a 150 NM. La precisione del sistema dipende dall'apparecchiatura ADF installata a bordo dell'aeromobile, ma la **precisione minima ICAO per gli NDB è pari a $\pm 5^\circ$** .

Ogni NDB deve essere identificato individualmente da un codice che sarà trasmesso almeno una volta ogni 30 secondi. Gli NDB devono essere dotati di un sistema di monitoraggio che rilevi il malfunzionamento degli NDB stessi o del dispositivo di monitoraggio stesso. Le specifiche figurano nell'annesso 10, volume I, [Radio Navigation Aids](#), dell'ICAO.

Il sistema NDB non presenta limitazioni di capacità e può servire un numero qualsiasi di aeromobili.

5.2.1.2 Stato e piani di razionalizzazione

Negli ultimi decenni gli NDB hanno fatto parte dell'infrastruttura di terra degli ausili alla navigazione per la gestione del traffico aereo. Tuttavia, a causa dei loro limiti tecnici, della comparsa del GNSS e della trasformazione verso una navigazione basata sulle prestazioni, **si prevede che gli NDB cesseranno di essere utilizzati nel prossimo futuro**, a seguito della proposta di smantellamento inclusa nel [piano generale ATM europeo](#) e al fine di assicurare anche la conformità rispetto al regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni ([regolamento di esecuzione PBN](#)).

Il [piano globale di navigazione aerea \(GANP\) dell'ICAO](#) prevede che gli NDB diventino meno importanti come ausili alla radionavigazione, così come la possibilità di procedere a un loro smantellamento.

Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo [Wikipedia - NDB](#).

5.2.2 Radiofaro omnidirezionale in altissima frequenza (VOR)

Il radiofaro omnidirezionale in altissima frequenza (**VHF Omnidirectional Radio Range, VOR**) è un sistema che consente agli aeromobili con un'unità ricevente di **determinare il rilevamento magnetico della posizione dell'aeromobile rispetto alla stazione** (denominata radiale VOR).

I sistemi VOR utilizzano una serie circolare di antenne, che trasmette due segnali radio. Un segnale (**segnale di riferimento**) irradia in modo omnidirezionale in modo che la sua fase sia uguale in tutte le direzioni. Il secondo segnale (**segnale variabile**) irradia a partire da una serie direzionale. La fase del segnale variabile ricevuta dall'aeromobile dipende dalla radiale su cui si trova il ricevitore rispetto al nord magnetico.



L'apparecchiatura a bordo dell'aeromobile riceve entrambi i segnali e, dalla loro differenza di fase, stima la radiale VOR. Se il VOR è associato a un apparecchio di misurazione della distanza (DME) (cfr. sezione [5.2.3](#)), l'aeromobile è in grado altresì di calcolare la sua distanza rispetto al VOR e stabilire una determinazione della posizione. Questo metodo è denominato navigazione VOR/DME.

Figura 47 – Sito VOR (Crediti: Marc Lambert, soggetta a licenza Creative Commons)

L'intersezione di radiali di due stazioni VOR diverse consente inoltre agli aeromobili di stabilire una determinazione della posizione e di navigare da un punto all'altro.

5.2.2.1 Caratteristiche principali

Il VOR funziona nella banda di frequenza da 108 MHz a 117,975 MHz, con polarizzazione orizzontale. La precisione delle informazioni di rilevamento deve essere pari a $\pm 2^\circ$. La copertura del sistema è limitata dalla portata visiva, fino a un angolo di elevazione di 40° , che va da 25 NM a 130 NM. **Il VOR deve disporre di un'unità di monitoraggio** che genera un segnale di avvertimento e rimuove il contenuto di navigazione dalla portante o disattiva la potenza irradiata se non sono soddisfatte determinate condizioni di fornitura del servizio. Lo stesso vale in caso di guasto dell'unità di monitoraggio stessa.

Il sistema VOR soddisfa adeguatamente la precisione necessaria per sostenere la specifica RNAV 5. Considerando un VOR Doppler, la distanza massima alla quale il VOR può soddisfare una prestazione di 1 NM è pari a 23 NM dal VOR, e pertanto non fornisce il livello di precisione per supportare specifiche di navigazione più rigorose su una distanza più lunga. Le specifiche figurano nell'annesso 10, volume I, [Radio Navigation Aids](#), dell'ICAO.

Il sistema VOR non presenta limitazioni di capacità e può servire un numero qualsiasi di aeromobili.

5.2.2.2 Stato e piani di razionalizzazione

Negli ultimi decenni i VOR hanno fatto parte dell'infrastruttura di terra degli ausili alla navigazione per la gestione del traffico aereo. Tuttavia, in ragione delle loro limitazioni tecniche, della comparsa del GNSS e della transizione verso una navigazione basata sulle prestazioni, prevediamo che i VOR diventino meno importanti nei prossimi anni. Il piano generale ATM europeo **prevede di ridurre il numero di VOR a una rete operativa minima** che fornirebbe alcune **capacità di navigazione limitate in caso di interruzione temporanea del GNSS**, come indicato nel [regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni](#).

Il [piano globale di navigazione aerea \(GANP\) dell'ICAO](#) prevede che i VOR diventino meno importanti come ausili alla radionavigazione, così come la possibilità di procedere a un loro smantellamento.

Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo: [Wikipedia - VOR](#).

5.2.3 Apparecchio di misurazione della distanza (DME)

Un apparecchio di misurazione della distanza (**DME, Distance Measuring Equipment**) è un sistema che fornisce la **distanza obliqua tra un aeromobile e la corrispondente struttura a terra**. I DME sono costituiti da due elementi: interrogatore e transponder. L'interrogatore è situato a bordo dell'aeromobile, mentre il transponder è situato a terra. L'interrogatore trasmette un segnale radio (una coppia di impulsi gaussiani) che il transponder riceve ed elabora. Dopo un determinato lasso di tempo, il transponder risponde con un altro segnale. Il tempo di andata e ritorno serve a calcolare la distanza obliqua tra l'aeromobile e la stazione di terra. Il ricorso a distanze DME rispetto a due diverse stazioni di terra consente agli aeromobili di conoscere la loro posizione e di navigare da un punto all'altro. Questo metodo, denominato DME/DME, è ben consolidato in tutto il mondo.



Figura 48 – Sito VOR/DME (DME in torre) (Crediti: Hans-Peter Scholz, soggetta a licenza [Creative Commons](#))

5.2.3.1 Caratteristiche principali

I DME operano nella banda di frequenza da 960 MHz a 1 215 MHz, con polarizzazione verticale. Solitamente i DEM per la navigazione convenzionale sono associati a VOR o ILS. Quando sostengono applicazioni di navigazione basata sulle prestazioni è possibile utilizzare installazioni DME indipendenti. In associazione a un VOR, la copertura di un DME deve essere almeno pari a quella del VOR. In associazione a un ILS, la copertura del DME deve essere almeno pari a quella dei settori di guida dell'angolo azimutale dell'ILS. Il transponder del DME deve disporre di un'unità di monitoraggio che genera un segnale di avvertimento e spegne la potenza irradiata se non sono soddisfatte determinate condizioni di fornitura del servizio o anche se l'unità di monitoraggio stessa non funziona. Ciò deve avvenire in meno di 10 secondi dall'inizio del guasto. Le specifiche figurano nell'annesso 10, volume I, [Radio Navigation Aids](#), dell'ICAO.

La precisione di posizionamento DME/DME è dell'ordine di poche centinaia di metri, il che determina **precisioni** della posizione dell'aeromobile **non superiori a 0,3 NM** (con la migliore geometria, ossia un angolo di taglio di 90°) che potrebbero non essere sufficienti per le specifiche di navigazione più rigorose. Il ricorso a distanze DME rispetto a stazioni multiple è una delle soluzioni che miglioreranno la precisione e l'integrità del posizionamento. Il **DME potenziato (eDme)** utilizza una combinazione di metodi unidirezionali e bidirezionali ed è proposto per migliorare la precisione delle misurazioni della distanza e l'uso dello spettro.

I moderni sistemi DME **possono servire fino a 200 aeromobili**.

5.2.3.2 Stato e piani di ottimizzazione

I DME fanno parte dell'infrastruttura di terra degli ausili alla navigazione per la gestione del traffico aereo. Una rete ottimizzata o ampliata sosterrà la navigazione basata sulle prestazioni. **Le navigazioni DME/DME supportano le specifiche di navigazione RNAV 5, RNAV 2, RNAV 1 e, a determinate condizioni, le specifiche di navigazione RNP 1 e A-RNP**. I DME possono costituire un'infrastruttura complementare in caso di guasto del GNSS. Il [piano generale ATM europeo](#) propone di ottimizzare la rete DME, anche per conformarsi al [regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni](#).

Il [piano globale di navigazione aerea \(GANP\) dell'ICAO](#) considera i DME una soluzione di riserva adeguata rispetto al GNSS per la navigazione basata sulle prestazioni. Per un buon servizio in caso di indisponibilità del GNSS, potrebbe essere necessario ampliare la rete dei DME.

Inoltre si prevede che l'apparecchiatura **eDME sosterrà specifiche più rigorose in materia di prestazioni di navigazione richieste e migliorerà l'efficienza dello spettro**, riducendo la congestione sulla banda L. Anticipa l'attuazione principalmente attraverso aggiornamenti del software e modifiche minime all'hardware di bordo e a terra, garantendo nel contempo che la capacità aggiuntiva sia pienamente

compatibile con le soluzioni precedenti al fine di sostenere un'attuazione senza soluzione di continuità. Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo: [Wikipedia - DME](#).

5.2.4 Sistema di atterraggio strumentale (ILS)

Il **sistema di atterraggio strumentale (ILS)** è un **sistema di avvicinamento e atterraggio di precisione** che fornisce agli aeromobili una guida orizzontale e verticale a corto raggio immediatamente prima e durante l'atterraggio e, in determinati punti fissi, indica la distanza dal punto di riferimento dell'atterraggio.



Figura 49 – ILS (LOC) (Crediti: Super Dominicano, soggetto a [licenza GNU Free Documentation License](#))

Un ILS è costituito da:

- **localizzatore:** sistema di guida orizzontale incorporato nell'ILS che indica la deviazione orizzontale dell'aeromobile rispetto al suo percorso ottimale di discesa lungo l'asse della pista;
- **apparecchiatura per la traiettoria di discesa:** sistema di guida verticale incorporato nel sistema di atterraggio strumentale che indica la deviazione verticale dell'aeromobile rispetto al suo percorso ottimale di discesa;
- **radiofari verticali.** trasmettitori del servizio di radionavigazione aeronautica che irradiano verticalmente un diagramma distintivo per fornire informazioni sulla posizione all'aeromobile.

Nell'attuale annesso 10, il radiofaro verticale è stato sostituito da un sistema che consente di effettuare verifiche dell'altitudine e pertanto non è più parte integrante dell'ILS. Nella maggior parte degli aeroporti europei, i sistemi per la verifica dell'altitudine forniti sono il DME, un sostituto e un miglioramento rispetto al radiofaro verticale.

5.2.4.1 Caratteristiche principali

Il localizzatore funziona nella banda di frequenza da 108 MHz a 111,975 MHz. I segnali sono modulati in frequenza AM con un tono di 90 Hz e 150 Hz, ciascuno dei quali predomina su un lato della rotta e polarizzati orizzontalmente.

L'apparecchiatura per la traiettoria di discesa funziona nella banda di frequenza da 328,6 MHz a 335,4 MHz. La radiazione è modulata in ampiezza da un tono di 90 Hz e 150 Hz e polarizzata orizzontalmente.

I **radiofari verticali** devono funzionare a 75 MHz e i loro segnali sono polarizzati orizzontalmente. In ogni installazione ci devono essere due radiofari verticali per indicare la distanza predeterminata. Solitamente il primo radiofaro verticale (l'antenna esterna o "*outer marker*") si trova a circa 5 NM dal punto di contatto sulla pista, mentre il secondo radiofaro verticale (l'antenna centrale o "*middle marker*") si trova a circa

1 NM dal punto di contatto sulla pista. In quasi tutte le installazioni ILS europee, i radiofari verticali ad altissima frequenza (VHF, *Very High Frequency*) sono sostituiti da DME co-ubicati con l'ILS, che garantiscono al pilota una determinazione continua della distanza orizzontale rispetto alla pista.

Gli avvicinamenti ILS sono classificati in base alla loro categoria e possono essere condotti fino a una determinata visibilità di pista (RVR, *Runway visual range*) e quota di decisione (DH, *Decision Height*) da piloti qualificati che pilotano aeromobili adeguatamente equipaggiati su piste adeguatamente equipaggiate senza acquisire riferimenti visivi, come segue:

- la categoria CAT I consente una DH non inferiore a 200 ft e una RVR non inferiore a 500 m;
- la categoria CAT II consente una DH non inferiore a 100 ft e una RVR non inferiore a 300 m;
- la categoria CAT IIIA consente una DH inferiore a 100 ft e una RVR non inferiore a 200 m;
- la categoria CAT IIIB consente una DH inferiore a 50 ft e una RVR non inferiore a 50 m;
- la categoria CAT IIIC⁹ è un atterraggio interamente automatico con guida "roll-out" lungo la linea mediana della pista e non si applicano limitazioni DH o RVR. Questa categoria non è attualmente disponibile regolarmente.

Un'unità di monitoraggio automatica deve trasmettere un segnale di avvertimento qualora rilevi un guasto del sistema. Le specifiche figurano nell'annesso 10, volume I, [Radio Navigation Aids](#), dell'ICAO. L'ILS non presenta limitazioni di capacità.

5.2.4.2 Stato e piani di ottimizzazione

Attualmente l'ILS è il sistema più esteso per l'avvicinamento e l'atterraggio di precisione. Tuttavia, poiché i sistemi di potenziamento basati su satelliti e a terra (SBAS e GBAS) consentono operazioni di avvicinamento di precisione, è previsto che l'infrastruttura ILS sia razionalizzata in Europa. Il [piano generale ATM europeo](#) rispecchia la necessità di **razionalizzare la rete ILS CAT I e in particolare l'infrastruttura ILS CAT I** nell'orizzonte temporale fino al 2030 per conformarsi al [regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni](#) che consente operazioni ILS CAT I soltanto in situazioni di emergenza (ossia in caso di perdita dei servizi di navigazione basata sulle prestazioni richiesti dal regolamento di esecuzione sulla navigazione basata sulle prestazioni).

Inoltre il [piano globale di navigazione aerea \(GANP\) dell'ICAO](#) identifica nell'ILS un ausilio adeguato alla navigazione per l'avvicinamento e l'atterraggio di precisione. Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo: [Wikipedia - Sistema di atterraggio strumentale](#).

⁹ Si noti che l'ICAO eliminerà le sottocategorie CAT IIIABC e le sostituirà con il concetto di criteri minimi operativi di aeroporto basati sulle prestazioni (PBAOM, *Performance Based Aerodrome Operating Minima*).

5.2.5 TACAN

Un **sistema di navigazione aerea tattica (TACAN)** è un sistema di radionavigazione utilizzato principalmente dalla NATO e da altre forze militari che fornisce a un aeromobile militare informazioni di rilevamento e distanza (distanza obliqua) da una struttura a terra, da una nave o da un aeromobile adeguatamente equipaggiato. In generale, può essere descritto come il **sistema militare equivalente al**



sistema VOR/DME per fini di navigazione. La parte DME del sistema TACAN può essere considerata per uso civile. Il TACAN è utilizzato in modalità aria-superficie e/o aria-aria. Nel contesto della prima modalità, gli aeromobili dotati di TACAN possono utilizzare il sistema per la navigazione in rotta e per avvicinamenti non di precisione. Il TACAN può essere co-ubicato presso stazioni VOR (strutture VORTAC).

Figura 50 – Sito TACAN (Crediti: Nbonfanti soggetto a licenza Creative Commons [Attribution-Share Alike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

5.2.5.1 Caratteristiche principali

Il TACAN funziona nella banda di frequenze compresa nell'intervallo 960-1 215 MHz. L'unità di rilevamento del TACAN è più precisa di un VOR standard, in quanto utilizza un principio a due frequenze, con componenti a 15 Hz e a 135 Hz, e dato che le trasmissioni in UHF sono meno soggette a deformazione del segnale rispetto a quelle in VHF.

La portata del TACAN è pari a circa 200 NM. La precisione del componente azimutale a 135 Hz è pari a $\pm 1^\circ$ o ± 63 m a 3,75 km. La precisione della porzione DME deve essere pari a 926 m (0,500 NM) o al 3 % della distanza obliqua, a seconda di quale valore sia maggiore. Le specifiche sono illustrate in maniera dettagliata nel documento [FAA 9840.1 1982](https://www.faa.gov/regulations_policies/advisories/index.cfm?id=1982).

Il TACAN è uno dei sistemi militari riconosciuti autorizzati per la navigazione e per alcuni aeromobili costituisce l'unico sistema autorizzato. Si tratta di un'utilità dimostrata in tempo di pace e in situazioni di crisi. **Una sfida potenziale è costituita dalla sicurezza del servizio fornito dal TACAN in termini di resilienza e vulnerabilità.** Pertanto il TACAN potrebbe essere sostituito a lungo termine da un sistema che abbia una maggiore resilienza alle minacce alla sicurezza.

5.2.5.2 Stato e piani di razionalizzazione

Il posizionamento basato su DME/DME è stato identificato come una capacità essenziale a breve termine per sostenere le operazioni di navigazione basata sulle prestazioni. **L'uso delle strutture TACAN** per operazioni in rotta e presso i terminali è fondamentale affinché gli operatori di aeromobili di Stato aumentino la flessibilità dello spazio aereo nello svolgimento di operazioni GAT e **potrebbe superare le potenziali limitazioni di copertura della rete DME europea utilizzando la componente DME del TACAN.** Il riutilizzo dei sistemi militari dovrebbe offrire conformità e sostenere livelli di prestazione adeguati a garanzia del rispetto delle specifiche in materia di navigazione basata sulle prestazioni.

Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo: [Wikipedia – TACAN](https://en.wikipedia.org/wiki/TACAN).

5.2.6 Loran

Il sistema di **navigazione a lungo raggio (Loran)** è un sistema di navigazione iperbolica, sviluppato inizialmente negli anni Cinquanta. Funziona **confrontando l'ora di arrivo dei segnali provenienti da coppie di trasmettitori sincronizzati**. Ricevendo i segnali da una coppia di trasmettitori e conoscendone le posizioni, l'utente può limitare la propria posizione all'interno di una linea iperbolica. La ricezione dei segnali provenienti da due coppie supplementari di trasmettitori limita la posizione a una seconda e a una terza linea iperbolica. L'intersezione delle linee iperboliche individua la posizione del ricevitore.

Le diverse evoluzioni del sistema Loran ricevono nomi diversi (LORAN, Loran-A, Loran-B, Loran-C, ecc.). Il Chayka è un sistema russo quasi identico al Loran. I ricevitori sono solitamente compatibili con entrambi i sistemi di navigazione.

Maggiori informazioni sono disponibili all'indirizzo [Wikipedia – Loran](#) e a quello dell'[International Loran Association](#).

5.2.6.1 Loran-C/Chayka

Il Loran-C è stato la versione più estesa di Loran.

5.2.6.1.1 Caratteristiche principali

Il Loran-C opera nella banda di frequenza da 90 kHz a 110 kHz, con una potenza di uscita compresa tra 100 kilowatt e diversi megawatt. I trasmettitori Loran-C sono raggruppati in catene. Ciascuna catena ha una stazione principale e almeno due stazioni secondarie. La stazione principale trasmette nove impulsi a intervalli predefiniti. Ogni stazione secondaria, dopo aver ricevuto tali impulsi, attende un ritardo specifico e trasmette otto impulsi. Gli impulsi sono codificati in modo che il ricevitore possa individuare le emissioni diverse. L'ubicazione della stazione principale e delle stazioni secondarie, l'intervallo di ripetizione della stazione principale e i ritardi di trasmissione secondaria sono tutti valori noti. Di conseguenza quando un utente riceve tutti questi impulsi, può stimare il tempo di propagazione tra la sua posizione e le diverse stazioni. Da queste informazioni è possibile stimare l'ubicazione del ricevitore.



Figura 51 – Trasmettitore LORAN-C (Crediti: Bin im Garten, soggetta a licenza Creative Commons - Attribution-Share Alike 3.0 Unported)

La **trasmissione di frequenze molto basse a potenze molto elevate** richiede antenne di trasmissione che hanno un'altezza di poche centinaia di metri. Il diagramma di radiazione di queste antenne è omnidirezionale. Le trasmissioni Loran-C devono essere sincronizzate in maniera accurata. A tal fine, ogni trasmettitore comprende fino a tre orologi atomici. **Il Loran-C ha una precisione superiore a 460 metri e una disponibilità del 99,7 %**. Ogni trasmettitore ha una **copertura tipica fino a diverse centinaia di chilometri**. La copertura dipende da fattori quali le condizioni diurne/notturne, le condizioni meteorologiche e la trasmissione via terra o mare.

Informazioni dettagliate sulle specifiche Loran-C sono disponibili sul [sito web di introduzione al Loran-C](#). Non sono mai state scritte norme ICAO su questo sistema e pertanto non è preso in considerazione per fini del settore dell'aviazione.

Il Loran-C non presenta limitazioni di capacità.

5.2.6.1.2 Stato e piani di razionalizzazione

Lo sviluppo di sistemi di navigazione satellitare ha ridotto notevolmente il numero di utenti di Loran-C. Il Loran-C è ancora operativo presso il servizio di radionavigazione dell'Estremo oriente (FERNS, *Far East Radionavigation Service*) gestito dalla Russia, dalla Cina e dalla Repubblica di Corea, ma numerosi

trasmettitori sono stati chiusi nel tempo. **In Europa il Loran-C non è utilizzato** in quanto Spagna, Norvegia, Islanda, Italia, Francia e Germania hanno cessato le loro trasmissioni Loran-C intorno al 2015.

5.2.6.2 eLoran

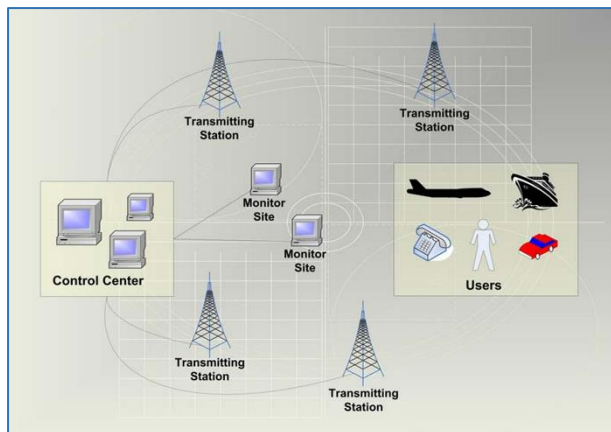
Il **Loran potenziato (eLoran)** è un sistema di radionavigazione terrestre a bassa frequenza a lungo raggio, in grado di fornire un servizio di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT) destinato ad essere utilizzato da numerosi modi di trasporto in piena indipendenza dal GNSS.

L'eLoran trasmette segnali a onde di superficie pulsate con una frequenza centrale di 100 kHz, il che conferisce ai segnali la loro capacità di navigazione a lungo raggio da trasmettitori posti a notevole distanza tra loro. La posizione del ricevitore è determinata dalla misurazione degli orari di arrivo (o delle pseudodistanze) di tali impulsi. **Al fine di determinare una soluzione di posizione orizzontale mediante trilaterazione occorre misurare le pseudodistanze da almeno tre trasmettitori.** Poiché i trasmettitori sono collocati sulla superficie terrestre, non è possibile determinare l'altitudine del ricevitore. La misurazione di più di tre trasmissioni (preferibilmente cinque) fornisce all'utente una capacità RAIM (controllo autonomo dell'integrità con ricevitore) oltre alla precisione di posizionamento.

5.2.6.2.1 Caratteristiche principali

L'eLoran fornisce un servizio di tipo Loran **con una precisione maggiore (dell'ordine di 20 m) nonché una disponibilità e un'integrità maggiori.** La principale differenza rispetto a un sistema LORAN-C è l'aggiunta nell'eLoran di uno o più canali dati, trasmessi insieme al segnale Loran, che servono a trasmettere le correzioni differenziali eLORAN e/o DGPS e le informazioni sull'integrità, migliorando le prestazioni (precisione, integrità, disponibilità e continuità) rispetto al sistema Loran, ma a parità di copertura. Consente inoltre la trasmissione di dati aggiuntivi, compresi i messaggi di navigazione. Tali miglioramenti richiedono una rete terrestre secondaria dedicata di stazioni di riferimento, distanti tra loro fino a 50 km.

Il sistema eLoran è composto da stazioni di trasmissione, siti di monitoraggio e un centro di controllo. I siti di monitoraggio verificano la precisione della sincronizzazione dei segnali trasmessi e inviano correzioni al



centro di controllo che raccoglie tali osservazioni, le elabora e produce i dati di correzione e integrità che devono essere trasmessi dalle stazioni di trasmissione. Tali stazioni trasmettono le correzioni utilizzando il canale dati. Le stazioni di trasmissione eLoran sono dotate di orologi atomici e le trasmissioni sono sincronizzate in maniera precisa rispetto all'UTC. Per localizzare un ricevitore sono necessari segnali provenienti da almeno tre stazioni di trasmissione.

Figura 52 – Sistema eLoran (Crediti: [documento di definizione dell'eLoran](#))

Le precisioni di posizionamento e sincronizzazione dell'eLoran possono variare notevolmente all'interno dell'area di copertura e sono inferiori a quelle messe a disposizione dai GNSS. Tuttavia i segnali eLoran sono trasmessi con una potenza molto elevata e con una frequenza molto bassa (ciò che richiede infrastrutture complesse, comprese antenne che possono essere alte fino a 200 metri), il che significa che effettuare attacchi di jamming ai danni di ricevitori eLoran diventa molto difficile senza essere individuati. Inoltre i segnali a bassa frequenza utilizzati penetrano negli edifici e in altre aree in cui non sono disponibili segnali GNSS.

5.2.6.2.2 Stato e piani di ammodernamento

I servizi eLoran non sono forniti in Europa. Nel dicembre 2015 la GLA (Autorità generali per la segnalazione marittima) ha annunciato la cessazione del servizio prototipo di eLoran nel Regno Unito e in Irlanda. Tuttavia le conoscenze in merito a questo sistema sono a un livello per cui un servizio eLoran può essere dispiegato in tempi relativamente rapidi.

5.2.6.3 DLoran (eLoran differenziale)

L'eLoran differenziale, DLoran, è un **sistema locale di potenziamento che migliora le prestazioni dell'eLoran** in un'area specifica.

5.2.6.3.1 Caratteristiche principali

Il **principio di funzionamento è analogo a quello del DGNSS**. Nell'area di interesse sono installate diverse stazioni di riferimento DLoran. Tali stazioni, la cui posizione esatta è nota, comprendono un ricevitore eLoran e un collegamento di comunicazione con un centro di controllo DLoran. Le stazioni di riferimento utilizzano l'eLoran per stimare le loro posizioni e trasmettono tali informazioni al centro di controllo DLoran, che calcola gli errori rispetto alle posizioni effettive. Di conseguenza il centro di controllo conosce le prestazioni dell'eLoran nell'area di interesse e calcola le **correzioni differenziali** per l'area di copertura.

Un utente di DLoran necessita di un ricevitore eLoran e di un collegamento di comunicazione senza fili al centro di controllo DLoran. L'utente acquisisce la sua posizione con l'eLoran e la invia al centro di controllo DLoran. Il centro di controllo calcola le

correzioni differenziali ottimali per tale posizione e le rinvia all'utente. Infine **l'utente applica tali correzioni e ottiene informazioni migliori in termini di posizionamento, navigazione e sincronizzazione**. Il collegamento di comunicazione tra gli utenti e il centro di controllo DLoran utilizza la rete pubblica di telefonia mobile (3G/4G).

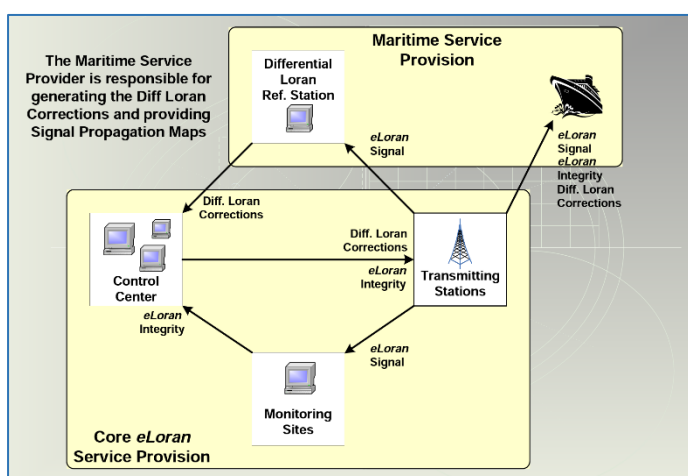


Figura 53 – Esempio di fornitura di un servizio DLoran per gli utenti marittimi (Crediti: [documento di definizione dell'eLoran](#))

L'infrastruttura DLoran (stazioni di riferimento e centro di controllo) è indipendente dal sistema eLoran.

Dalle prove dinamiche effettuate presso il porto di Rotterdam è emersa una **precisione superiore a ± 5 metri**.

5.2.6.3.2 Stato e piani di ammodernamento

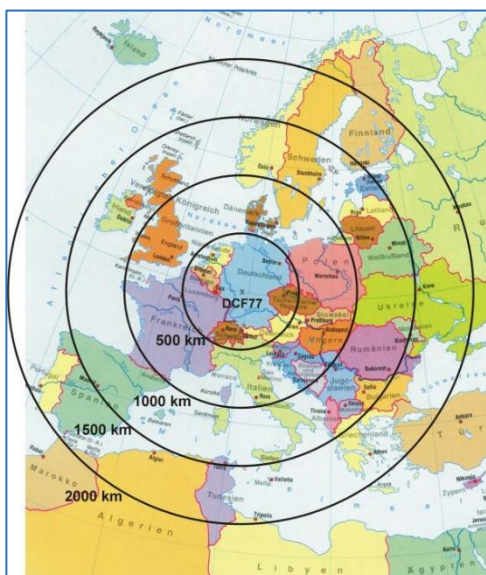
Il DLoran è un sistema locale di potenziamento per l'eLoran. Poiché le trasmissioni Loran-C ed eLoran sono cessate in Europa nel 2015, **i servizi DLoran non vengono forniti**.

5.2.7 Sistemi di distribuzione di ora e frequenza a onde lunghe

I sistemi a onde lunghe (ad esempio [DCF77 in Germania](#), [MSF nel Regno Unito](#) e [ALS162 in Francia](#)) sono utilizzati da decenni in Europa **per diffondere l'ora legale e la frequenza standard**. Impiegano frequenze molto basse e una potenza elevata per raggiungere distanze fino a migliaia di chilometri. Di seguito si riporta una descrizione delle caratteristiche del sistema DCF77. Tali sistemi sono difficili da attaccare via spoofing o jamming e le minacce cui sono esposti e le debolezze che presentano differiscono radicalmente da quelle dei GNSS.

5.2.7.1 Caratteristiche principali

Il DCF77 è uno dei metodi utilizzati dal PTB (*Physikalisch-Technische Bundesanstalt*, istituto metrologico nazionale della Germania) per diffondere l'ora legale e lo standard di frequenza in Germania. Utilizza tre orologi atomici per generare una frequenza portante di 77,5 kHz. Un'antenna omnidirezionale avente un'altezza di 150 metri trasmette il segnale a una potenza isotropica equivalente irradiata pari a 35 KW. L'antenna si trova a Mainflingen e fornisce una **copertura di circa 2 000 km**, il che significa che la maggior parte degli Stati in Europa (alcune aree quali l'Islanda, il nord della Norvegia, il nord della Svezia, il nord della Finlandia, Cipro, le isole Canarie, le isole Azzorre, le isole di Madera e Creta sono fuori portata).



La portante è modulata in termini di ampiezza per trasmettere le informazioni relative ad ora e data. Ogni secondo, l'ampiezza della portante è ridotta al 15 % del suo valore originario. Il sistema trasmette uno "0" binario se la riduzione in termini di ampiezza dura 0,1 secondi. Il sistema trasmette un "1" binario se la riduzione in termini di ampiezza dura 0,2 secondi. Di conseguenza il sistema può trasmettere 60 bit al minuto, il che significa che l'utente riceve ogni minuto informazioni relative all'anno, al mese, al giorno della settimana, al giorno del mese, all'ora e al minuto. Il secondo si ottiene considerando quante riduzioni in termini di ampiezza si sono verificate dall'inizio del minuto.

Figura 54 – Diffusione dei segnali DCF77 in Europa (Crediti: PTB)

La frequenza della portante presenta una **deviazione media inferiore a 2×10^{-12} in un giorno** presso il luogo di trasmissione. L'attraversamento dello zero del **segnale** della portante è **mantenuto entro $5,5 \pm 0,3$ microsecondi rispetto alla realizzazione dell'UTC** presso PTB.

Il trasmettitore di segnali francese ALS162 (162 kHz), gestito da TDF (*Télédiffusion de France*), è situato ad Allouis (Cher). Utilizza orologi termici al cesio ed è collegato mediante viste GPS comuni alla scala del tempo UTC(OP), generata da LNE-SYRTE presso l'*Observatoire de Paris*.

5.2.7.2 Stato e piani di ammodernamento

Il DCF77 è **operativo dal 1959** ed è ancora utilizzato per sincronizzare i sistemi di mantenimento dell'ora presso le stazioni ferroviarie tedesche, dalle società di radiodiffusione televisiva e radiofonica, nel settore dell'energia e delle telecomunicazioni, per calibrare i generatori di frequenza, così come da privati in possesso di orologi radiocontrollati. Un vantaggio del DCF77 rispetto ai GNSS è la sua capacità di **penetrare all'interno degli edifici** e in ambienti difficili. La **disponibilità** dell'DCF77 nel 2016 è stata **del 99,79 %**, escluse le disconnessioni per meno di due minuti. È inoltre possibile **ammodernare** il segmento utenti, con strumenti radio definiti da software.

5.2.8 Orologi atomici

Un orologio atomico **misura il tempo monitorando la frequenza delle radiazioni degli atomi**. Gli stati elettronici dell'atomo presentano livelli di energia diversi e, nelle transizioni tra tali stati, producono una frequenza molto specifica di radiazioni elettromagnetiche. Misurare tali stati consente di ottenere letture precise di ora e frequenza.

Gli orologi atomici sono utilizzati come **standard primari per servizi che richiedono una distribuzione precisa di ora e frequenza**, come le telecomunicazioni ad alta velocità, le trasmissioni televisive e i sistemi GNSS. I **GNSS richiedono orologi atomici ad altissima precisione** tanto a bordo dei satelliti quanto nel segmento terrestre per calcolare un'ora di riferimento molto precisa e stabile e informazioni di navigazione molto precise. Gli orologi atomici più piccoli sono utilizzati in altri tipi di satelliti che orbitano intorno alla Terra (LEO, MEO, GEO) e in sonde per l'esplorazione dello spazio profondo.

Gli standard relativi alla frequenza atomica ad altissima prestazione (orologi a fontana di cesio e di rubidio e orologi atomici ottici) sono utilizzati anche dagli **istituti metrologici nazionali (INM)**, che svolgono un ruolo cruciale non soltanto nell'attuazione della frequenza e dell'ora UTC, ma anche nello sviluppo di standard avanzati in materia di frequenza atomica e metodi di misurazione. Gli istituti metrologici nazionali mantengono scale del tempo di qualità elevata e numerosi distribuiscono ora e frequenza via internet, mentre alcuni forniscono anche segnali radio VLF (a frequenza bassissima) come nel caso di WWV.

Ulteriori informazioni sono disponibili all'indirizzo [Wikipedia – orologio atomico](#) e all'indirizzo [The Science of Timekeeping](#).

5.2.8.1 Caratteristiche principali

Le prestazioni degli orologi possono essere descritte in termini di precisione e stabilità:

- la **precisione** è la misura del grado di corrispondenza tra il dispositivo e il riferimento ideale. Nella maggior parte delle applicazioni di posizionamento, navigazione e sincronizzazione ciò corrisponde al grado di precisione con cui l'orologio segue l'UTC;
- la **stabilità** stabilisce quanto il dispositivo mantiene la sua frequenza rispetto a quella standard (ossia, nell'ipotesi che l'unico obiettivo sia che la frequenza rimanga la medesima). Il comportamento caratteristico non segue una distribuzione normale indipendente da misurazione/tempo/intervallo (rumore bianco casuale), per cui la **varianza standard di Allan** è utilizzata per stimare la stabilità casuale della frequenza, ossia la differenza frazionaria quadratica media tra i valori misurati in un determinato arco di tempo, dopo aver eliminato qualsiasi deriva sistematica. Dato che la varianza standard di Allan, che è priva di dimensione, è una funzione dell'intervallo di tempo di misurazione, è possibile utilizzarla per distinguere una stabilità a breve, a medio e a lungo termine.

La stabilità a breve termine è determinata (dominata) per lo più da componenti dell'orologio, quella a medio termine da perturbazioni ambientali (principalmente dalla temperatura, ma anche da pressione, umidità, campi magnetici e analoghi) e quella a lungo termine dall'invecchiamento (proprietà fisiche dell'hardware).

Esistono principalmente tre tipi di orologi atomici, in ordine di costo e di precisione:

- gli [standard del rubidio](#) (Rb) presentano una buona stabilità a breve termine ma una precisione nell'ordine da un microsecondo rispetto all'UTC fino a un giorno, sulla base di fattori esterni;
- gli [standard del cesio](#) (Cs) presentano una precisione migliore (da un microsecondo fino a una settimana) e una stabilità a medio termine, ma che risentono di piccole fluttuazioni a breve termine (la stabilità giornaliera è peggiore rispetto a quella dello standard del rubidio).

Tanto l'orologio atomico al rubidio quanto quello al cesio soffrono di rumore rosa a medio termine e di invecchiamento a lungo termine. Inoltre la fonte di cesio si esaurisce nel tempo e la sua durata utile di 10 anni è più breve rispetto a quella del rubidio;

- i [maser ad idrogeno](#) (maser H) presentano la precisione e la stabilità migliori e un effetto di invecchiamento limitato nel lungo periodo (devono comunque essere calibrati per compensare la frequenza).

Poiché il sistema terrestre GNSS è in grado di calibrare tanto i maser al rubidio quanto quelli a idrogeno nello spazio, spesso i satelliti GNSS impiegano maser al rubidio combinati con maser ad idrogeno passivi compensati dagli orologi delle stazioni terrestri.

5.2.8.2 Orologio atomico miniaturizzato in scala di microprocessore (CSAC, Chip Scale Atomic Clock)

Negli ultimi 30 anni la ricerca si è concentrata anche sulla miniaturizzazione degli orologi atomici che ha portato allo sviluppo dell'**orologio atomico miniaturizzato in scala di microprocessore**. Si tratta di dispositivi compatti e a basso consumo di energia che utilizzano sistemi microelettromeccanici (MEMS, *microelectromechanical systems*) e che, come sorgente luminosa, incorporano un laser a semiconduttore a bassa potenza. Questi tipi di orologi attualmente in commercio hanno dimensioni inferiori a 17 cm³, un peso di 35 g e una potenza inferiore a 120 mW, e operano in un intervallo di temperatura relativamente ampio (da - 40 °C a 85 °C). Mantengono una precisione di 10⁻⁷ nell'arco di un giorno.

Tali caratteristiche consentono un'ampia serie di operazioni nei settori spaziale, della difesa e civile. I veicoli a guida autonoma, i droni, i dispositivi PNT tattici e i satelliti LEO sono tra i mercati più promettenti.

Praticamente qualsiasi applicazione PNT beneficia dell'aumento della qualità degli orologi.

5.2.8.3 Stato e piani di ottimizzazione

Guardando al futuro, l'attuale lavoro di **ricerca** si concentra sui seguenti aspetti:

- miglioramenti del consumo di energia e dell'hardware, ad esempio migliorando i laser per sostituire la lampada a scarica negli orologi a rubidio;
- orologi ad atomi freddi per applicazioni spaziali, con prove promettenti effettuate dall'ESA e dalla Cina, che dimostrino la capacità di tali sistemi;
- sviluppo di orologi ottici (o di orologi a reticolo ottico) per missioni spaziali. Sebbene alcune componenti siano state oggetto di ampie ricerche, la tecnologia complessiva non è ancora matura per far fronte alle sfide legate alla produzione e ai notevoli requisiti in termini di dimensioni e potenza. La maggior parte degli esperimenti attuali si concentra su esperimenti fisici fondamentali. Ciò nonostante le prestazioni in termini di precisione e stabilità di questi orologi li hanno messi in condizione di sostituire in futuro gli standard temporali attuali. Ulteriori informazioni sulla tecnologia quantistica sono disponibili alla sezione [5.3.11](#).

5.3 Tecnologie emergenti

Questa sezione elenca e descrive le **tecnologie emergenti in materia di posizionamento, navigazione e sincronizzazione** che presentano la maturità e l'importanza percepita più elevate. Data la natura della descrizione, è stata necessaria una semplificazione dei concetti, che ha portato a un raggruppamento delle tecnologie basate sulla somiglianza dell'hardware. La presente appendice comprende:

- tecnologie basate su trasmissioni radio, terrestri (pseudoliti) o spaziali (satelliti LEO);
- tecnologie che forniscono servizi maturi di sincronizzazione con prestazioni elevate;
- la navigazione mobile, che in una certa misura è indipendente dall'hardware ma dipende fortemente dalla fusione di dati di sensori, dall'apprendimento automatico e dai server back-end, ed è una tecnologia di primo piano per il mercato di massa;
- le tecnologie non basate su trasmissioni radio, come i sistemi inerziali e i sensori magnetici;
- le tecnologie basate su tecniche visive, LiDAR o radar che, pur non fornendo rigorosamente servizi PNT, sono importanti per la fusione di dati di sensori;
- le tecnologie quantistiche e le pulsar, che potrebbero offrire prestazioni molto interessanti in futuro.

Inoltre nella presente sezione è discusso, ma in modo non dettagliato, l'uso di concetti avanzati quali il segnale di opportunità o la fusione di dati di sensori.

È interessante notare che la maggior parte delle tecnologie mature selezionate sul mercato offre una distribuzione dell'ora. La necessità di una determinazione alternativa dell'ora è stata menzionata di recente dal [decreto presidenziale statunitense n. 13905](#) e dal [programma del centro nazionale di sincronizzazione del Regno Unito](#). La **distribuzione dell'ora è sviluppata attivamente nell'UE**, potenziata dalla rete unica degli istituti metrologici nazionali. Poiché tali istituti svolgono un ruolo importante nella realizzazione dell'UTC e della frequenza e nello sviluppo di standard avanzati di frequenza atomica, è naturale che un ecosistema di imprese incentrato sulla distribuzione dell'ora si espanda intorno ad essi. I sistemi orari ad onda lunga, l'eLoran e gli orologi atomici sono tecnologie descritte nell'appendice precedente che sono in grado di fornire (e mantenere) la determinazione dell'ora dell'UTC.

Dalla ricerca relativa alla letteratura e dalla [campagna di prove alternative in materia di posizionamento, navigazione e sincronizzazione condotta presso il JRC](#) emerge che le tecnologie che forniscono **servizi PNT completi sono molto difficili e costose da portare a maturità pronta per il mercato**. Le tecnologie descritte nella presente sezione beneficiano di anni di esperienza esistente (ad esempio Silicon Valley o centro di ricerca australiano) e di anni di investimenti. È difficile eguagliare tale vantaggio, in quanto il mercato dei servizi è limitato. A questo proposito, vale la pena menzionare l'eLoran, descritto nell'appendice precedente.

Le **tecnologie emergenti** in questione si distinguono dalle altre, descritte nelle appendici precedenti, perché:

- sono progettate come parte dell'offerta combinata o dell'approccio di fusione di dati di sensori;
- non forniscono soltanto una posizione, ma creano anche una distribuzione dell'ora efficiente, anche se alcune tecnologie potrebbero necessitare di un collegamento con l'UTC;
- adottano pratiche moderne di sviluppo di hardware e software, che portano a un rapido sviluppo e ad aggiornamenti via etere. Ciò significa anche che tutte le unità sono collegate e di solito non necessitano di interventi manuali dopo l'installazione;
- dispongono di capacità di monitoraggio, segnalazione e identificazione dei guasti gestite dalle tecnologie stesse;
- hanno migliorato la cibersicurezza, l'integrazione con altri sistemi, l'esperienza degli utenti e la flessibilità.

Informazioni dettagliate su tali tecnologie, compresa la descrizione degli algoritmi discussi in questa sezione, sono reperibili nel documento: [Y. J. Morton, F. S. T. Van Diggelen, J. J. Spilker e B. W. Parkinson, Position, navigation, and timing technologies in the 21st century: Integrated satellite navigation, sensor systems, and civil applications, Wiley/IEEE Press.](#)

5.3.1 White Rabbit (WR)

Il profilo EEE-1588-2019 a precisione elevata (HA, *High Accuracy*), ampiamente noto come protocollo [White Rabbit](#), è un **protocollo di distribuzione dell'ora e della frequenza**, sviluppato dal CERN, che combina pacchetti PTP con la base di frequenza dell'Ethernet sincrono (SyncE, *Synchronous Ethernet*) per fornire una **precisione di trasferimento del segnale orario inferiore al nanosecondo**. Una nuova versione 2.1 del protocollo PTP include il protocollo White Rabbit generalizzato come suo profilo a precisione elevata.

Questa tecnologia è sviluppata da società commerciali che offrono hardware e software come soluzione TaaS (*Time-as-a-Service*, ora come servizio). Offrono inoltre capacità di monitoraggio e resilienza, concentrandosi in particolare sui seguenti aspetti:

- commutazione senza soluzione di continuità tra sorgenti dell'ora diverse in caso di guasto;
- rilevamento e invio di allarme nel caso in cui una sorgente dell'ora si discosti dalle specifiche, consentendo il passaggio a una sorgente dell'ora valida.

5.3.1.1 Caratteristiche principali

Questa tecnologia richiede almeno due sorgenti dell'ora (GNSS, orologio atomico, istituto metrologico nazionale, ecc.) in una rete in fibra ininterrotta. Tali sorgenti fungono da riserva l'una all'altra al fine di garantire il trasferimento del segnale orario e della frequenza con precisione inferiore al nanosecondo e precisione al picosecondo in caso di guasto di una delle sorgenti dell'ora. Le prove di laboratorio basate sul JRC hanno dimostrato una precisione di picco di circa 60-90 picosecondi a livello di picco.

Le reti WR esistenti, quali [GEANT](#), sono state sviluppate per sostenere gli sforzi scientifici in tutta Europa con la tecnologia adottata da diversi istituti di ricerca quali il CERN e il GSI per la fisica delle alte energie (acceleratori di particelle) e anche piattaforme astronomiche distribuite quali HISCORE, CTA, SKA, KM3Net, ecc. Altri utenti attivi sono i centri dati, le società di telecomunicazioni e le istituzioni finanziarie, quali [Equinix](#) o [Deutsche Börse](#).

5.3.1.2 Stato e piani di ottimizzazione

La **tecnologia è matura**, mentre vengono condotte ulteriori ricerche in due settori:

- estendere il WR affinché funga da servizio di monitoraggio via etere (OTA). In questa modalità il sistema monitora e corregge altri dispositivi, con una sorgente di ora derivante, utilizzando il segnale radio trasmesso. I risultati delle [prove condotte dal JRC](#) hanno dimostrato che i dispositivi esterni possono essere mantenuti entro limiti pari a ± 200 nanosecondi;
- lavori sull'utilizzo del White Rabbit via etere (WR OTA), *White Rabbit over-the-air*, studiati come opzione per fornire servizi completi di posizionamento, navigazione e sincronizzazione. Ciò richiede una fitta infrastruttura di sincronizzazione, che non è ancora disponibile. Un [progetto pilota SuperGPS dell'Università tecnica di Delft](#) dovrebbe essere in grado di ottenere una precisione di posizionamento a livello di 10 cm sulla base della sincronizzazione temporale di rete prevista al livello 100 ps. Questo concetto potrebbe fornire una posizione in ambienti all'esterno e in ambienti chiusi. È destinato ad applicazioni di trasporto intelligenti, comprese zone urbane dense e gallerie per il mantenimento della linea di automobili a guida autonoma.

5.3.2 Distribuzione dell'ora tramite reti informatiche

Una delle opzioni per la **distribuzione dell'ora tramite reti informatiche** è la modalità di trasferimento sincrono dinamico (DTM), che comprende la funzione di moltiplicazione a divisione di tempo e una tecnologia di rete ottica a commutazione di circuito. Concepita per fornire una qualità garantita di servizio per i servizi di trasmissione video in streaming, questa tecnologia può essere utilizzata anche per servizi basati su pacchetti. L'architettura DTM è stata standardizzata dall'Istituto europeo delle norme di telecomunicazione (ETSI) nel 2001.

Questa tecnologia è utilizzata da diverse imprese per distribuire l'ora in rete. Le imprese utilizzano gli standard DTM, anche se alcune hanno creato un protocollo temporale supplementare per aumentare l'integrità delle informazioni trasmesse in merito all'ora (NTP STS). Il monitoraggio della rete consente di registrare l'ora e di migliorare la cibernsicurezza. Nel complesso, sono offerti due tipi di servizi:

- installazione hardware e successiva manutenzione (monitoraggio) della rete mentre la rete stessa è gestita dal cliente;
- soluzione TaaS (ora come servizio), quando la società gestisce essa stessa la rete, offrendo una soluzione chiavi in mano al cliente.

Una rete esistente è utilizzata con l'unico hardware aggiuntivo dei box di rete (nodi) che ridistribuiscono l'ora, utilizzando il DTM, a tutti gli elementi limitrofi. I box interconnettono direttamente o tramite collegamenti WAN disponibili in commercio, compresi i collegamenti in fibra ottica, WDM, MPLS e microonde. La rete aggiornata offre ridondanza e resilienza della rete ai guasti del percorso o dei nodi. Questa attuazione può essere estesa a tutto il paese, con backup degli orologi atomici e comprende la sorgente dell'ora (tradizionalmente GNSS ma sono possibili anche altri mezzi).

5.3.2.1 Caratteristiche principali

La **precisione dipende dall'asimmetria del jitter e della rete**. Il primo fattore è direttamente correlato all'intensità dell'altro, e non al traffico. Tale fenomeno può essere attenuato aumentando la frequenza dei pacchetti per sondare più spesso il ritardo, una circostanza questa che richiede una quantità garantita di larghezza di banda. L'esperienza pratica indica che richiedere la giusta qualità alla rete MPLS costituisce il requisito fondamentale e sufficiente per ottenere una precisione inferiore al microsecondo, anche se ciò può essere costoso.

Il secondo fattore **richiede la calibrazione di ogni nuovo percorso**. Ciò richiede a sua volta una progettazione attenta del margine di errore e un equilibrio del numero di nodi installati. Ciascun nodo fornisce il monitoraggio e la calibrazione automatica di collegamenti sovrapposti. Tenuto conto dei costi, gli sforzi per mantenere la precisione potrebbero concentrarsi sulle dorsali principali con altri collegamenti gestiti sulla base dello "sforzo migliore", a condizione che tali collegamenti non siano troppo lunghi (una circostanza questa che limita tanto il numero di percorsi possibili quanto l'effetto del traffico). I risultati delle sperimentazioni condotte dal JRC suggeriscono inoltre che la calibrazione sulla "rete del miglior sforzo" che utilizza il GNSS come sorgente dell'ora non è sufficiente per mantenere un servizio affidabile.

5.3.2.2 Stato e piani di ottimizzazione

Gli standard DTM sono concepiti per i servizi di trasmissione video in streaming, pertanto l'applicazione dell'ora richiede costi fissi in termini di hardware che potrebbero non essere necessari. Sarebbe logico ipotizzare che in futuro si possano utilizzare protocolli e hardware semplificati solo in termini di gestione dell'ora. Alcune delle attuali offerte utilizzano collegamenti a microonde e si prevede che tale fenomeno aumenterà, limitando i costi infrastrutturali.

Le reti commerciali basate su questa tecnologia sono installate per oltre 15 trasmissioni DVB-T/DAB nazionali o regionali. Le attuali attività di sviluppo si concentrano sugli aggiornamenti in termini di dimensioni, interfacce e scalabilità, al fine di creare un prodotto più specializzato adattato a un particolare

mercato su diversi tipi di collegamenti. Gli operatori adottano separatamente mezzi non GNSS per trasferire e mantenere il riferimento orario UTC.

5.3.3 Pseudoliti

Gli pseudoliti sono una **tecnologia di posizionamento terrestre** che utilizza una **rete di trasmettitori terrestri** che forniscono un segnale di radioposizionamento robusto in un'area specifica.

Il primo prototipo noto è stato la prova del concetto di GPS presso lo Yuma Proving Ground all'inizio degli anni Settanta. Il segnale è stato trasmesso utilizzando trasmettitori terrestri e rover trasportati a bordo di un aeromobile, ossia in modo inverso rispetto a quello in cui il sistema è attualmente utilizzato. Il codice GPS Gold PRN 33-37 era riservato all'uso terrestre, ma con l'aumento della disponibilità di satelliti l'attenzione si è spostata dalla disponibilità e dalla precisione all'integrità e alle preoccupazioni concernenti la trasmissione di altri segnali nella frequenza GPS. Attualmente gli pseudoliti potrebbero ancora utilizzare il codice Gold ma tendono a utilizzare frequenze diverse, principalmente per evitare eventuali restrizioni future. Due esempi recenti sono le frequenze WiFi e la banda dedicata 921,8845-927,0000 MHz con potenza di trasmissione variabile, 23 dBm per la prima e 30 Watt per la seconda, che richiede autorizzazioni specifiche.

La rete è sincronizzata a livello di nanosecondo per **fornire posizionamento e sincronizzazione**. Esistono due soluzioni: l'uso di oscillatori precisi (ad esempio orologi atomici) o la sincronizzazione interna (utilizzando l'allineamento della frequenza).

Gli pseudoliti sono comunemente utilizzati in modo indipendente o come potenziamento di GNSS e tendono a basarsi su hardware GNSS che consente il riutilizzo dell'hardware e dei correlatori dei ricevitori GNSS. In ragione delle diverse frequenze, i ricevitori integrati tendono a essere di fatto due ricevitori.

5.3.3.1 Caratteristiche principali

Qualsiasi tecnologia di posizionamento terrestre deve far fronte a situazioni multipercorso, all'effetto vicino-lontano e al ritardo troposferico, tra gli altri fattori limitanti. Le misure di mitigazione per ottenere una precisione a livello di centimetri possono includere l'accesso multiplo a divisione di codice in time hopping/a sequenza diretta (TH/DSCDMA), un segnale separato spaziale e di frequenza, uno schema particolare di impulsi e un'antenna resistente al multipercorso per la formazione del fascio. La progettazione dell'hardware tende a seguire i ricevitori GNSS e comprende orologi OXCO.

L'**intervallo operativo**, limitato dall'orizzonte prossimo, dall'effetto vicino-lontano e dalle norme vigenti in materia di spettro radio, è di 5-15 km. Le applicazioni di sincronizzazione e frequenza di precisione richiedono un solo trasmettitore in vista, mentre il posizionamento e la navigazione richiedono segnali provenienti da tre o più posizioni trasmettitore. La densità della rete dipende dalla visibilità e in tale contesto un ambiente urbano denso di oggetti richiede la densità più elevata. Ipotizzando una distanza tipica del trasmettitore in un ambiente suburbano denso di oggetti, occorre disporre di circa quattro radiofari per 100 km² (10 x 10 km). Gli studi specifici dei siti devono tenere conto delle esigenze degli utenti e della disponibilità dei segnali, il che aumenterà il numero di trasmettitori.

Una considerazione importante è una leggera differenza di altezza che rende il sistema molto più preciso a livello planare piuttosto che a livello orizzontale. Una soluzione a entrambi i problemi potrebbe essere l'uso di sistemi di piattaforma ad alta altitudine (HAPS), che viaggiano ad altitudini fino a 20 km. Si tratta di piattaforme di sensori e fornitori di servizi di comunicazione, destinati ad abbandonare un'area specifica per lunghi periodi utilizzando l'energia solare ed eolica. I vincoli energetici limitano il loro payload. Attualmente, il loro scopo principale è una rapida diffusione della comunicazione con un'infrastruttura minima di rete terrestre, ad esempio per sostenere le reti terrestri danneggiate da catastrofi. Le loro caratteristiche costituiscono un potenziamento ideale per un sistema pseudolite, ma sarebbe necessario modificare il correlatore (parte del front-end del ricevitore) per consentire l'adattamento al movimento. Alcuni fabbricanti impiegano sensori di pressione per attenuare questioni legate all'altezza. Si tratta di

soluzioni a **sistemi basati su codice** che offrono una **precisione di 5-10 m**, ma non quella che utilizza una risoluzione ambigua **basata sulla portante** con **precisione in millimetri**.

Tramite la sperimentazione condotta il JRC ha dimostrato le seguenti prestazioni:

- trasferimento del segnale orario interno ed esterno (in relazione a UTC) 0,2-15 ns;
- posizione cinematica 2D in ambienti aperti e chiusi con utilizzo del codice 10-15 m e con utilizzo di un'antenna Vray e portante 5-11 mm;
- trasferimento del segnale orario multi-hop (multitratta) via etere su 106 km, con una precisione di 0,7 ns da picco a picco.

5.3.3.2 Stato e piani di ottimizzazione

Queste tecnologie sono sottoposte a prova e attualmente utilizzate nelle attività minerarie, nelle prove automobilistiche, nella logistica in ambienti chiusi e nelle operazioni di interporto. Date le prestazioni offerte, questa tecnologia è presa in considerazione per i sistemi di trasporto intelligenti e per il decollo e l'atterraggio verticali, ma non è stata effettuata alcuna attuazione.

Lo sviluppo tecnologico si concentra sulle prestazioni dei correlatori e sulle caratteristiche delle antenne. Con l'aumento dei volumi di unità spedite, alcuni produttori indicano la miniaturizzazione come fase successiva.

Un'altra tecnologia interessante è la tecnologia **UWB (Ultra Wideband, banda ultralarga)** utilizzata per trasmettere impulsi ad alta frequenza a piccole distanze. Trasmettendo su un'ampia larghezza di banda, questa tecnologia risulta essere, in una certa misura, resiliente al multipercorso e adatta a offrire servizi di posizionamento in ambienti chiusi senza visibilità diretta. Le unità commerciali sono state oggetto di dimostrazione per i servizi di emergenza, ma purtroppo due fattori ne hanno limitato l'attrattiva commerciale:

- [portata limitata in ambienti aperti](#);
- [requisiti in materia di autorizzazioni](#).

L'idea è stata di recente riveduta con l'ingresso sul mercato di dispositivi a bassa potenza, che offrono comunque una precisione del livello di decimetri, e di recente Apple ha introdotto questa tecnologia nei suoi dispositivi mobili. Tuttavia la tendenza generale sembra limitare l'utilizzo della banda ultralarga agli ambienti chiusi e ai dispositivi mobili.

5.3.4 5G e reti cellulari basate su PNT

Nel 2012 il settore delle radiocomunicazioni dell'Unione internazionale delle telecomunicazioni (ITU-R) ha avviato il [programma "IMT per il 2020 e oltre"](#), con l'obiettivo di definire la quinta generazione di sistemi di comunicazioni mobili, comunemente denominati 5G. Nel giugno 2016 il gruppo di lavoro ITU-R 5D ha pubblicato un calendario per l'IMT-2020, illustrato nella [Figura 55](#). Da allora portatori di interessi dell'industria e del mondo accademico hanno collaborato attraverso vari consessi internazionali, quali il 3GPP, il forum DECT, il Korea IMT-2020, il Cina IMT-2020, ecc.

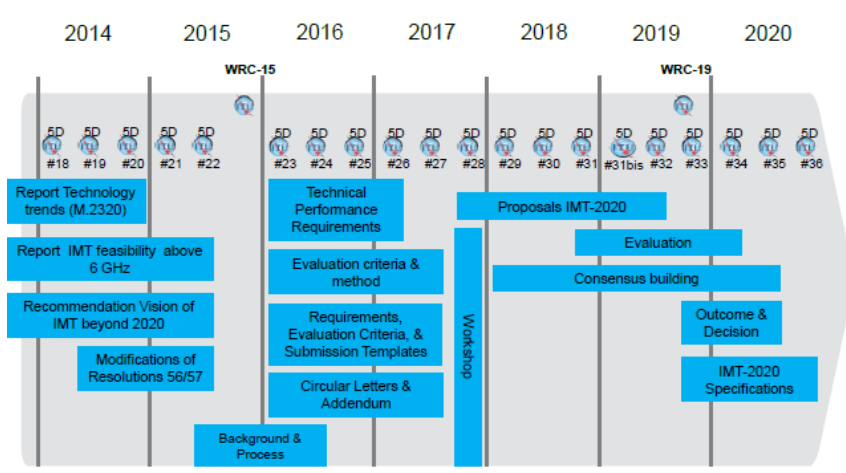


Figura 55 - Calendario e processo per l'IMT-2020 (fonte: ITU-R)

Dall'ottobre 2017 al giugno 2019 sono state presentate tecnologie candidate e quattro tecnologie sono state ufficialmente considerate conformi alle specifiche IMT-2020:

- le tecnologie 3GPP 5G-SRIT (insieme di tecnologie di interfaccia radio) e 3GPP 5G-RIT (tecnologia di interfaccia radio) rappresentano i modelli ben noti di diffusione del 5G indipendente (SA) e non indipendente della tecnologia di comunicazione cellulare del progetto di partenariato di terza generazione (3GPP);
- la tecnologia 5Gi è stata sviluppata da TSDSI (Telecommunications Standards Development Society India, organizzazione riconosciuta per lo sviluppo di standard di telecomunicazioni in India); La tecnologia 5Gi è una versione aggiornata della 3GPP 5G-RIT, concepita principalmente per migliorare la copertura rurale;
- la tecnologia DECT 5G-SRIT è stata concepita come una tecnologia non cellulare, autonoma e decentrata a sostegno di una serie di casi d'uso, dalla telefonia senza fili e dallo streaming audio alle applicazioni industriali dell'Internet delle cose (IoT), in particolare nelle città intelligenti.

Delle quattro tecnologie di cui sopra, la tecnologia **3GPP 5G (nelle sue modalità di funzionamento indipendente e non indipendente)** è la tecnologia IMT-2020 **più popolare e ampiamente diffusa** a livello mondiale.

L'infrastruttura di rete per trasmettere voce e dati tra gli utenti finali e internet è comunemente denominata "rete di accesso radio", "rete di trasporto" e "rete centrale". Il **sostegno all'ubicazione degli utenti nell'infrastruttura di rete è un requisito fondamentale per il normale funzionamento delle reti cellulari**, in particolare durante procedure di paging (ricezione di una chiamata/un flusso di dati in entrata) e di trasferimento (transizione tra stazioni di base vicine in ragione della mobilità degli utenti). Poiché attualmente nel mondo vi sono più dispositivi mobili in uso rispetto agli esseri umani, le capacità di comunicazione e posizionamento delle reti e dei dispositivi mobili commerciali sono molto importanti.

5.3.4.1 Caratteristiche principali

La [Figura 56](#) illustra l'**architettura di posizionamento 5G NR (New Radio)**. Il processo di posizionamento inizia quando un client esterno invia una richiesta per ottenere la posizione dell'apparecchiatura utente. Una funzione di gestione dell'ubicazione (**LMF, Location Management Function**) elabora la richiesta e riceve informazioni di misurazione e assistenza dalla rete di accesso radio di prossima generazione (**NG-RAN**) e dall'apparecchiatura utente. La LMF stima la posizione dell'apparecchiatura utente e invia la posizione stimata al client che ha generato la richiesta. Diversamente dal 4G, il posizionamento dell'apparecchiatura utente può essere stimato anche sull'apparecchiatura utente stessa non soltanto dalla rete. Un'altra caratteristica interessante del 5G è che la richiesta di posizionamento ha origine e viene finalizzata nel client LCS, che può corrispondere o meno al dispositivo dell'apparecchiatura utente.

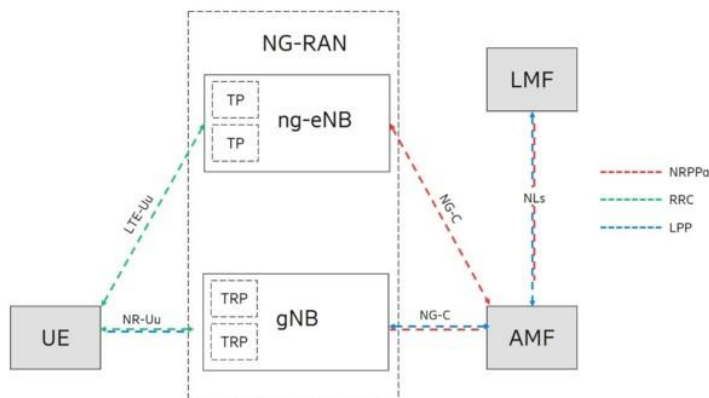


Figura 56 – Architettura di posizionamento 5G (Crediti: [Ericsson](#))

La stima più elementare dell'ubicazione dell'utente consiste nell'individuare la stazione di base che serve il telefono cellulare e conoscerne l'ubicazione e l'area di copertura. Per migliorare le prestazioni è possibile effettuare una triangolazione utilizzando il segnale (distanza) proveniente da tre o più stazioni di base adiacenti. Anche le reti LTE supportano il posizionamento basato sulla differenza osservata dell'ora di arrivo, che è un approccio analogo all'eLoran descritto alla sezione precedente.

5.3.4.2 Stato e piani di ottimizzazione

L'**evoluzione** delle reti di comunicazione mobile, con **celle più piccole, velocità di trasmissione dati più elevate, frequenze più elevate e fasci più stretti** determinerà un aumento della precisione della soluzione di posizionamento. La prima versione delle reti 5G è già operativa in Europa, in particolare la rete non indipendente (NSA, *non-standalone*), che opera fondamentalmente su una rete centrale 4G LTE preesistente. Ciò limita le capacità NSA rispetto alla rete 5G indipendente (SA, *standalone*) pura. Ad esempio, l'NSA sostiene il posizionamento LTE piuttosto che il posizionamento 5G NR nativo. Questa piattaforma consente l'uso di una soluzione ibrida che combina segnali GNSS e 5G sincronizzati in termini temporali per soddisfare i requisiti di posizionamento imposti dalla FCC nell'ambito del sistema E-911.

La tecnologia indipendente è più matura e i progressi tecnologici consentiranno di beneficiare appieno delle capacità 5G, quali un'ampia larghezza di banda per una migliore risoluzione temporale, nuove bande di frequenza nella gamma delle onde millimetriche (mmWave) e il massive MIMO (*massive Multiple-Input Multiple-Output*) per una misurazione precisa dell'angolo.

In tutto il mondo un numero crescente di banchi di prova 5G, basati sulla tecnologia indipendente, risulta essere operativo. Ad esempio, in occasione del Mobile World Congress (MWC) tenutosi nel 2022, Qualcomm Technologies ha mostrato un [posizionamento preciso utilizzando lo spettro mmWave](#), per impieghi in ambienti chiusi e all'aperto, quali quelli rilevati nelle fabbriche intelligenti. [Rohde & Schwarz ha dimostrato un sistema di riserva per GNSS basato sulla tecnologia di trasmissione 5G¹⁰](#). I segnali di riferimento di posizionamento sono trasmessi insieme alle informazioni sull'ubicazione dei trasmettitori. Tale infrastruttura terrestre che utilizza torri di trasmissione 5G funge da riserva per i GNSS. Questa soluzione fornisce il medesimo segnale a una moltitudine di ricevitori mobili e fissi contemporaneamente, quali smartphone, tablet, automobili e dispositivi indossabili e consegue una precisione a livello di metro. Inoltre i contenuti trasmessi dai trasmettitori 5G possono essere potenziati con correzioni RTK e PPP per riportare la precisione al livello di centimetro.

¹⁰ La trasmissione 5G si basa sulla tecnologia 3GPP utilizzata per le reti cellulari 4G e 5G che riutilizzano applicazioni di trasmissione già consolidate (ad esempio radio, TV, ecc.). Consente la ricezione mobile di contenuti audiovisivi utilizzando una modalità di trasmissione altamente efficiente.

5.3.5 Ranging mode (R-Mode)

Il Ranging mode (R-Mode) è un sistema di posizionamento terrestre che **utilizza le bande di frequenza dell'infrastruttura radio marittima esistente per fornire segnali di sincronizzazione**. Per eseguire il posizionamento basato su R-Mode è necessaria la ricezione di segnali provenienti da almeno tre trasmettitori indipendenti. Attualmente i banchi di prova R-Mode in Europa, Asia e Nord America utilizzano:

- la banda a media frequenza (MF) del sistema di radiofari per la trasmissione radio marittima; o
- le bande marittime ad altissima frequenza (VHF) del sistema di scambio di dati ad altissima frequenza (VDES).

Il sistema di radionavigazione è costituito da **tre componenti**:

- il trasmettitore R-Mode che utilizza l'infrastruttura radio marittima esistente, che è ammodernata per consentire la trasmissione di segnali modificati in caso di MF o di messaggi specifici nel caso di VHF (*Guideline 1158* dell'IALA) oltre al servizio preesistente di tale infrastruttura;
- le unità di monitoraggio R-Mode, attuati come campo prossimo o campo distante, nelle aree di servizio dei lati del trasmettitore. Tali unità monitorano le prestazioni e la disponibilità del servizio R-Mode e generano informazioni supplementari per aumentare le prestazioni del servizio R-Mode;
- un centro di comando e controllo, non ancora attuato nei banchi di prova.



Figura 57 – Ranging mode (Crediti: [R-Mode Baltic](#))

Il sistema R-Mode può inoltre sostenere una piccola regione come un porto e fungere da riserva per l'avvicinamento al porto. In tal caso, devono essere installati almeno tre trasmettitori e il servizio R-Mode sarà disponibile nell'area di servizio comune sovrapposta. Per ampliare l'area di servizio R-Mode è necessario che i trasmettitori MF e VDE trasmettano in R-Mode. Le stazioni MF e VDES hanno portate e proprietà diverse dei trasmettitori. Una combinazione è ideale per trarne beneficio e ottenere una buona geometria.

In generale un'attuazione a livello di UE o mondiale dovrebbe mirare a sostenere le navi, agendo da riserva, quando si trovano in zone costiere durante lo spostamento da ormeggio a ormeggio, ad esclusione della zona in prossimità della costa. In questo caso, la cooperazione dei fornitori di servizi R-Mode dei diversi paesi è necessaria per consentire all'utente marittimo di utilizzare contemporaneamente i segnali dei diversi fornitori.

Un'attuazione su vasta scala sarebbe vantaggiosa per gli utenti marittimi, in particolare durante le fasi critiche del percorso di navigazione. Per sviluppare appieno il potenziale del sistema R-Mode sarebbe necessario armonizzare il sistema e il servizio R-Mode dei diversi fornitori di servizi marittimi nazionali al fine di consentire il sostegno dell'R-Mode nelle zone tra i diversi paesi. Sarebbe quindi necessario disporre

di un quadro di norme e orientamenti per l'R-Mode e di un gruppo internazionale di coordinamento R-Mode.

5.3.5.1 *Caratteristiche principali*

L'analisi teorica, le simulazioni e le campagne di misurazione indicano che, a seconda della distanza, dell'intensità del segnale (o del rapporto segnale/rumore) e della geometria dei siti di utenti mobili e trasmettitori, il sistema può offrire una **precisione di posizionamento** notevolmente **migliore rispetto a 100 m**, anche se non è in grado di funzionare in modo così efficace durante la notte. Le ottimizzazioni della rete trasmessa aumenterebbero tali prestazioni, ma non è chiaro se sia possibile ottenere una precisione di 10 m (si noti che le prestazioni di posizionamento orizzontale proposte per una soluzione di riserva ai GNSS sono di 10 m per l'avvicinamento al porto e le acque soggette a restrizioni e di 100 m per le acque costiere - [raccomandazione R-129 dell'IALA sulle misure di vulnerabilità e mitigazione dei GNSS](#)).

Di conseguenza l'R-Mode è progettato per la **copertura nelle acque costiere e soggette a restrizioni** nelle quali si prevede il rischio più elevato di degradazione dei segnali GNSS dovuto a interferenze intenzionali e non intenzionali. A differenza dei GNSS, aventi copertura globale, il sistema R-Mode non può raggiungere una copertura globale a causa della portata limitata dei segnali MF e VHF. Per l'R-Mode basato su segnali MF il problema dell'interferenza delle onde riflesse, che degrada le prestazioni del sistema durante la notte, resta ancora irrisolto. Una sfida per l'R-Mode VDES è il carico del canale causato dal numero di trasmettitori in un'area. Inoltre è necessario risolvere la collocazione tra l'R-Mode VDES e gli impianti AIS esistenti.

5.3.5.2 *Stato e piani di ottimizzazione*

Il sistema R-Mode si trova in una **fase iniziale di sviluppo di tecnologie** e hardware **fondamentali** su diversi banchi di prova permanenti o temporanei in Europa, America settentrionale e Asia. Nello stesso contesto sono stati sviluppati prototipi per le apparecchiature di trasmettitori in R-Mode che sono utilizzati nei banchi di prova per tale sistema che presentano attualmente un livello di maturità tecnologica pari a 4-5. Per il lato nave, le attività sono condotte con piattaforme di ricerca. I progetti di ricevitori R-Mode sono stati sviluppati, ma sono necessarie ulteriori attività per consentire il posizionamento basato sull'R-Mode.

Come nel caso dei GNSS, questo sistema può fornire una posizione assoluta, anche se con una precisione e una disponibilità spaziale inferiori, limitate a circa **250 km dalla costa**. Si prevede che l'R-Mode funga da candidato per il componente terrestre desiderato descritto nella norma IMO MSC.401 (Norma sulle prestazioni per ricevitori di radionavigazione a bordo di navi multi-sistema) e successive modifiche.

Il sistema R-Mode dipende attualmente dai GNSS per la sincronizzazione. Piani futuri prendono in considerazione l'inclusione di orologi atomici per il mantenimento dell'ora a breve termine ed eventualmente di sorgenti alternative di riserva dell'ora, sebbene tale attuazione sia impegnativa.

La **standardizzazione dell'R-Mode è in corso**. Con il riconoscimento dei requisiti per l'R-Mode nella nuova norma VDES (raccomandazione ITU-R M.2092-1) e nel documento dell'IALA *Guideline 1158* relativo all'R-Mode VDES sono disponibili i primi documenti. Sono in corso ulteriori lavori presso l'IALA per quanto riguarda gli orientamenti per l'attuazione dell'R-Mode utilizzando trasmissioni nelle bande di frequenza MF e VHF. Inoltre sono in fase di sviluppo i messaggi di navigazione, che dovrebbero diventare parte integrante dei messaggi dati RTCM. Secondo una tabella di marcia concordata a livello internazionale, si prevede che la normazione non si concluderà prima del 2027.

5.3.6 Navigazione a vista

La navigazione a vista (o la navigazione basata su immagini) sta diventando sempre più rilevante in quanto l'hardware sta diventando meno costoso (le telecamere per telefoni cellulari costano meno di 1 EUR) e gli algoritmi maturano. Questa sezione riguarderà tanto la **navigazione basata su immagini** quanto quella **basata su LiDAR**, in quanto sono entrambe molto popolari, innanzitutto nei dispositivi mobili e successivamente nelle automobili a guida autonoma. Pur funzionando molto bene tanto **in ambienti chiusi quanto in ambienti all'aperto**, questa tecnica **non** fornisce alcuna **informazione di sincronizzazione**, di conseguenza si prevede che interverrà nell'ambito della fusione di dati di sensori, probabilmente in combinazione con GNSS e IMU.

5.3.6.1 Caratteristiche principali

Un'immagine è una proiezione 2D di un mondo 3D, il che significa che, a differenza del caso LiDAR discusso in seguito, mancano informazioni approfondite. Per risolvere questa dimensione mancante, lo stesso punto deve essere identificato su più immagini (creando così una base di riferimento mobile avente una lunghezza nota), come indicato nella [Figura 58](#).

L'identificazione e l'abbinamento delle stesse caratteristiche da immagine a immagine, senza tener conto dei cambiamenti di luce e delle dinamiche della fotocamera, rappresentano la sfida principale per questo tipo di navigazione. Ciò può rappresentare una sfida per l'aviazione. Nello scenario terrestre e pedonale, il problema è semplificato a causa del limitato movimento e della rotazione nell'asse dell'altezza ed è stato dimostrato che forniscono risultati affidabili. Se si utilizza un semplice algoritmo di movimento, possiamo utilizzare di fatto qualsiasi elemento ben illuminato o persino diagramma ripetuto. Nel caso del settore dell'aviazione, le informazioni IMU sono essenziali.

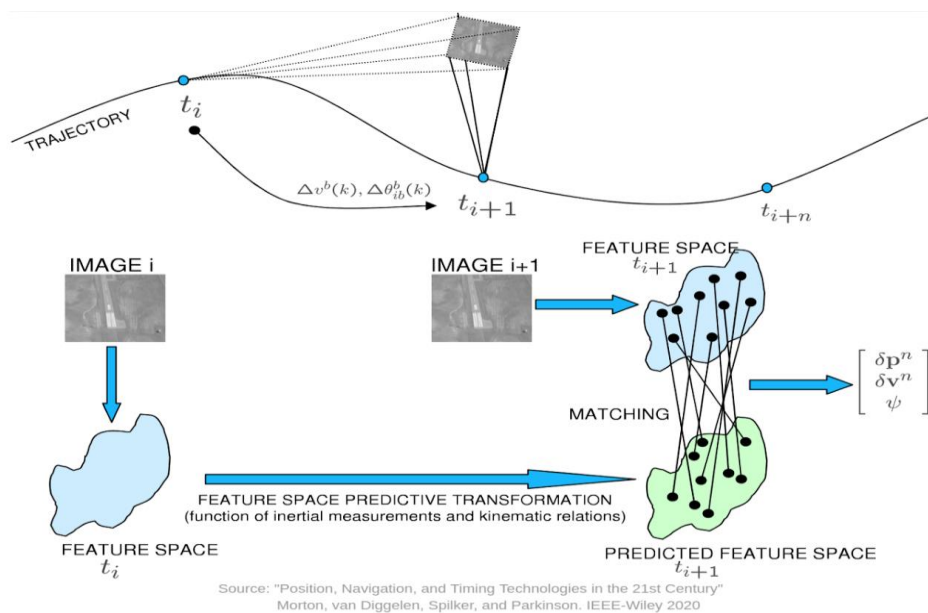


Figura 58 – Panoramica della fusione di dati di sensori assistita da immagini con IMU (Crediti: pnt21book.com)

Il **LIDAR** un metodo per determinare la distanza dall'oggetto misurando il tempo di ritorno della luce riflessa al ricevitore. È comunemente utilizzato per creare modelli e mappe ad alta risoluzione. **Può essere utilizzato** altresì **per la navigazione**, utilizzando uno dei due approcci:

- **approccio senza elementi distintivi** quando la distribuzione spaziale delle misurazioni (nuvola di punti) è utilizzata direttamente per un confronto con i dati esistenti. La sfida algoritmica qui è la sottoselezione dei punti per l'abbinamento (identificazione dell'area di sovrapposizione). La selezione viene quindi utilizzata per individuare l'abbinamento migliore nei dati di riferimento e ottimizzata (rotazione) per ridurre al minimo la funzione di costo (errore di adattamento).

L'identificazione dell'area da confrontare è fondamentale per ottimizzare la ricerca. La posizione e l'orientamento noti iniziali sono molto utili;

- **approccio basato su elementi distintivi** quando innanzitutto si individuano gli elementi e li si estrae quindi dai dati (nuvola di punti). La navigazione si basa quindi sulla loro identificazione e sul loro utilizzo per la stima della posizione. Tali elementi sono generalmente molto più semplici rispetto ad oggetti antropici descrittivi e tendono a essere punti o semplici elementi geometrici. Una volta estratti, il movimento percepito tra loro e lo scanner (utente) può essere utilizzato per stimare il movimento, l'orientamento e la posizione.

5.3.6.2 Stato e piani di ottimizzazione

È possibile meccanizzare il supporto alla **navigazione basata su LiDAR** (integrazione) utilizzando un contachilometri o un'unità di misura inerziale (IMU). Si ricorre spesso a questa soluzione durante [la localizzazione e la mappatura simultanee \(SLAM\)](#) quando i dati raccolti possono essere utilizzati per migliorare le mappe esistenti. Il LiDAR può essere utilizzato per la navigazione basata su veicoli o pedoni. I **metodi ottici** presentano caratteristiche analoghe.

Un algoritmo SLAM ricorsivo è molto popolare per la sua velocità ed efficienza. La posizione è stimata come relativa, ma se alcuni degli elementi hanno posizioni note, anche il movimento degli oggetti può essere mappato nel quadro di riferimento globale. In caso di nuova visita presso lo stesso luogo (ciclo chiuso), la precisione della posizione può essere stimata e, se necessario, la stima precedente può essere corretta.

Un approccio alternativo è il [metodo Monte Carlo sequenziale](#) che utilizza un approccio probabilistico per stimare la posizione, in quanto l'oggetto si muove fino a quando la posizione può essere fornita con sufficiente affidabilità.

Vi sono diverse considerazioni per la navigazione a vista:

- si producono grandi volumi di dati e quindi, innanzitutto, i dati vengono ridotti, individuando aree di interesse specifiche, mediante sottocampionamento. Figura in tale contesto l'eliminazione delle indisponibilità, come veicoli o pedoni in movimento. In secondo luogo, la maggior parte degli algoritmi utilizza l'iterazione per giungere ai criteri minimi locali;
- è diverso differenziare l'incertezza dell'osservazione nelle misurazioni della distanza e dell'angolo. Nel caso del LiDAR, ciò dipende dall'angolo e dalla superficie riflessa, per un'immagine si riferisce alle lenti e alle condizioni di luce;
- l'integrazione con altri sensori richiede un'attenta preparazione, compresa la stima e la stabilità del braccio di leva.

Un'applicazione spaziale di questi principi è rappresentata dal [sensore stellare](#) e dal [sensore solare](#). Entrambi i dispositivi utilizzano una **navigazione astronomica** per confrontare le viste note delle stelle utilizzando fotocellule o una fotocamera. Questo metodo richiede una visibilità nitida delle stelle, ossia un cielo notturno per un utente terrestre ed è utilizzato prevalentemente dalle piattaforme spaziali, che offrono tanto la posizione quanto l'orientamento se combinati con l'IMU.

Questa tecnologia è utilizzata praticamente in tutte le missioni spaziali. Solitamente una missione utilizza tanto sensori stellari quanto sensori solari. Innanzitutto questi ultimi sono utilizzati per la determinazione dell'assetto approssimativo, solitamente dopo la separazione del veicolo di lancio dei veicoli spaziali. Il sensore stellare è utilizzato per la determinazione dell'assetto preciso e la lettura dell'IMU per l'approccio di fusione di dati di sensori al fine di ottenere un orientamento e una posizione regolari.

La precisione del sensore solare è pari a $3^{\circ}-0,005^{\circ}$ e quella del sensore stellare è pari a $0,01^{\circ}-0,0003^{\circ}$. Il sensore può essere un sensore di movimento o uno scanner, adatto per i veicoli spaziali a rotazione rapida (*spinning*). Il metodo richiede il prefiltraggio per eliminare il rumore, ad esempio luce incagliata o riflessi, evitare l'accecamento causato dal sole o dalla luna e richiedere la stabilizzazione della lettura (per la quale si usa l'IMU).

In ragione dell'aumento della qualità e della riduzione delle dimensioni dei componenti, la tecnologia semplificata è [utilizzata per i satelliti LEO](#) ed è oggetto di indagine per le missioni CubeSat. Oltre alle offerte commerciali, esiste [un algoritmo open source](#), utilizzato per le piattaforme CubeSat. Le misurazioni sono effettuate nel [sistema di riferimento celeste](#), che richiederebbe una trasformazione secondo il quadro di riferimento terrestre internazionale dei GNSS o quadri analoghi.

5.3.7 Navigazione basata su dispositivi mobili

Attualmente lo smartphone costituisce la fonte principale di navigazione, che sostituisce dispositivi di navigazione dedicati prodotti da TomTom o Garmin, nonché le mappe cartacee. Nel 2020 vi erano più di [4 miliardi di smartphone con funzionalità GNSS](#). È quindi interessante notare che la capacità GNSS di tali dispositivi sia stata realizzata quasi accidentalmente. [Nel 1999 la Commissione federale delle comunicazioni \(FCC\) ha imposto l'obbligo di determinazione della posizione nel contesto dell'E-911](#). La triangolazione della rete delle torri di telefonia mobile non era sufficientemente precisa. È stato piuttosto suggerito un posizionamento con chipset GPS.

Un **telefono cellulare non è concepito come un ricevitore GNSS/GPS**. È dotato di un semplice monopolio a F invertito, un'antenna polarizzata linearmente con basso guadagno e sospensione del rumore. Dispone di un orologio di scarsa qualità ed è soggetto ad autointerferenze a causa della collocazione dei componenti. Perché quindi sono importanti? La posizione secondo il GNSS si basa sulla differenza di ora tra il satellite (per cui è importante un oscillatore locale stabile) utilizzando un segnale di potenza molto bassa, spesso al di sotto del livello del rumore di base (per cui è essenziale disporre di buone antenne). Di per sé **gli smartphone presentano scarse prestazioni come ricevitori GNSS**.

Il **GPS assistito (A-GPS)** elimina tali difetti aumentando la sensibilità e il tempo per la prima determinazione della posizione (TTFF), con i dati assistiti che riducono lo spazio di ricerca in frequenza ma non lo spazio di ritardo. Ciò cambia anche l'architettura del chipset, che si basa su una massiccia capacità di ricerca parallela. Poiché il principale fattore limitante dei chipset è la dimensione della memoria del chip, per ridurre al minimo tutte le ipotesi parallele, i fabbricanti stanno effettuando una ricerca innanzitutto su una costellazione GNSS (di norma GPS con codici brevi) e, una volta acquisita, il chipset effettuerà una ricerca ristretta e puntuale per altri codici GNSS più lunghi. Per Galileo, il chipset traccia la componente dati di Galileo (E1B-OS-NMA) solo all'inizio della richiesta di localizzazione; una volta ottenuti i dati, il chipset inizia a tracciare il codice pilota. Dettagli tecnici sono riportati nel documento [F. van Diggelen, A-GPS: Assisted GPS, GNSS, and SBAS](#). Artech House, 2009.

5.3.7.1 Caratteristiche principali

La capacità GNSS è fornita dall'architettura A-GPS (A-GNSS). Inoltre è opportuno rilevare due progressi recenti, entrambi descritti dal punto di vista Android, dato che l'approccio Apple non è ben documentato.

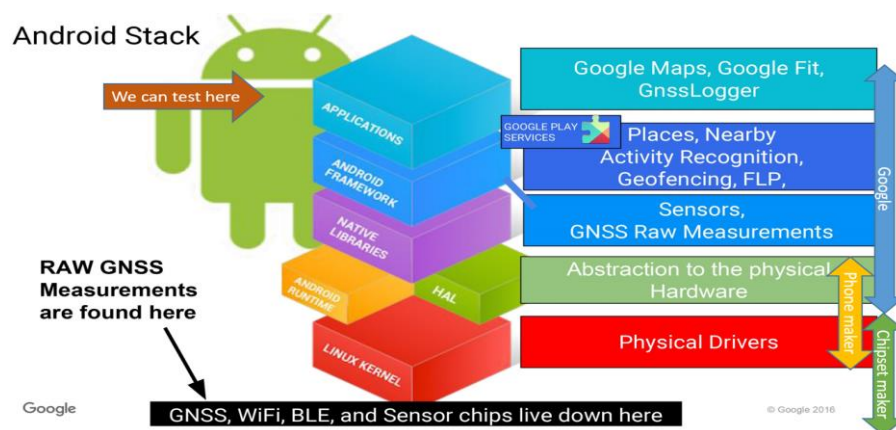


Figura 59 – Panoramica del controllo dello stack dei portatori di interessi Android, adottato secondo Google (Crediti: Google)

Servizi di Google Play per Android

Il telefono moderno è un ecosistema molto complesso che contiene molteplici sensori, tra cui sensori inerziali, WiFi e Bluetooth, ed è gestito dal sistema operativo. Tale ecosistema è utilizzato da Android attraverso l'incapsulamento dell'interfaccia API (interfaccia per programmi applicativi) di localizzazione dei servizi Google Play. Si occupa di tutto dal geofencing e dalle attività di rilevamento fino all'individuazione di luoghi nelle vicinanze. Il suo elemento più importante è l'API *Fused Location Provider* (FLP), che consente una localizzazione intelligente e un risparmio della batteria. Ciò offre la possibilità di navigare all'interno di spazi chiusi utilizzando la forza del punto di accesso Wi-Fi più vicino e delle mappe interne per rilevare l'impronta (identificare) l'ubicazione dell'utente. In combinazione con l'apprendimento automatico, tutto ciò è utilizzato dal [servizio di localizzazione di emergenza di Android](#). Tale servizio si attiva quando viene effettuata una chiamata di emergenza e fornisce un'ubicazione precisa ai servizi di emergenza, compresa la quota e il piano esatto. Questo servizio richiede accordi separati con gli operatori telefonici ed è attivato in alcuni paesi dell'UE.

Misurazioni grezze

Dal 2016 l'[API di localizzazione di Android](#) fornisce un accesso diretto al chipset GNSS (bypassando alcuni strati dello stack). Tali **osservazioni GNSS sono note come misurazioni grezze**. Il chipset del telefono basato sull'A-GPS acquisisce le osservazioni prima che l'ora sia sincronizzata con precisione, una circostanza questa che porta a osservazioni in un formato più grezzo rispetto a quelle dei tipici ricevitori GNSS.

L'accesso alle misurazioni grezze spiana la strada a tecniche di elaborazione GNSS più avanzate che finora sono state limitate a ricevitori GNSS più professionali. È possibile utilizzare nuovi segnali (frequenze E1/L1 e E5/L5), osservazioni differenziali e altri algoritmi avanzati. Tali elementi sono alla base di applicazioni quali l'ora garantita, il monitoraggio atmosferico o il rilevamento di interferenze.

Nonostante un **telefono cellulare** presenti **diversi limitazioni**, come ad esempio non gestire correttamente le dinamiche o il multipercorso, si tratta di un dispositivo che può utilizzare **algoritmi più avanzati**, ad esempio soluzioni differenziali. Una presentazione durante un evento della [task force per le misurazioni grezze dell'EUSPA](#) ha mostrato i risultati post-trattamento dei dati raccolti durante un passaggio lento sulle lettere di GOOGLE. Da sinistra a destra, vediamo: il semplice algoritmo di misurazione grezzo; poi un algoritmo del filtro di Kalman con pseudodistanze, simile all'API FLP; e l'ultima immagine mostra il miglioramento con l'utilizzo della fase portante, una funzionalità non possibile per l'API FLP. È opportuno rilevare che, nella fase attuale, è difficile superare le prestazioni dell'API FLP se non in un ambiente aperto.

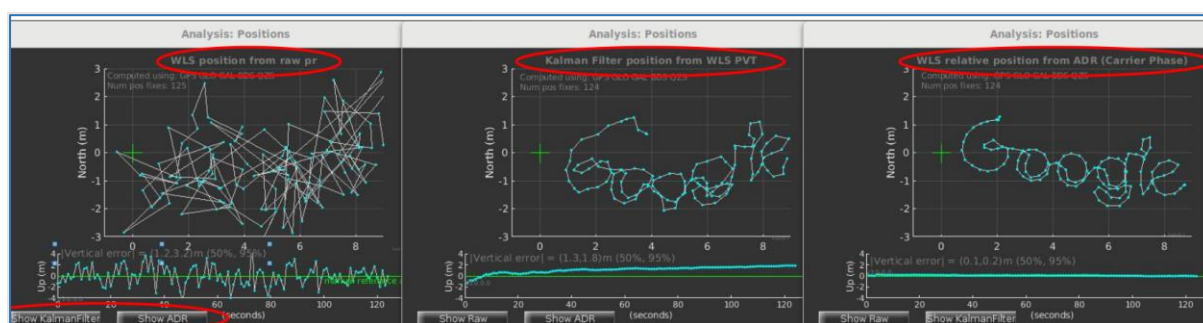


Figura 60 – Miglioramento del posizionamento utilizzando misurazioni grezze (Crediti: Frank van Diggelen)

Maggiori dettagli sono riportati nel [Libro bianco dell'EUSPA sull'uso delle misurazioni grezze di GNSS su dispositivi Android](#) (solo in EN).

5.3.7.2 Stato e piani di ottimizzazione

[Un nuovo algoritmo proposto da Google e destinato all'uso da parte dei pedoni](#) mira a contrastare il problema del multipercorso. Innanzitutto questo algoritmo stima l'ubicazione dell'utente; idealmente identificando il lato della strada su cui si trova l'utente, sulla base di modelli fotorealistici degli edifici.

Successivamente fornisce tali informazioni al chipset ai fini del miglioramento diretto della posizione GNSS. I modelli di dati coprono tutte le città europee e la maggior parte di quelle mondiali. L'algoritmo si concentra sulla serie Pixel di Google (a partire dalla versione 5G del modello 5) con una prevista diffusione su altri cellulari Android.

Lo strato API comunica ora direttamente con il chipset GNSS fornendo correzioni e lo stack Android è attualmente un canale di comunicazione bidirezionale. In breve, **un telefono cellulare può essere utilizzato come ricevitore GNSS moderno.**

5.3.8 Navigazione stimata IMU

La navigazione stimata è il processo di calcolo della posizione di un oggetto in movimento mediante una posizione determinata e quindi comprendente stime della velocità, della direzione di marcia e del tempo trascorso in movimento. Sebbene esistano diverse tecnologie che utilizzano questa stima, ci concentreremo sui sistemi inerziali, comuni nel settore dell'aviazione e dei trasporti.

Un'unità di misura inerziale (IMU) è un dispositivo elettronico che misura e segnala la forza specifica, la velocità angolare e talvolta l'orientamento di un corpo. Le IMU sono costituite da tre giroscopi e tre accelerometri e solitamente comprendono magnetometri e determinano l'orientamento su tre assi di un corpo in movimento. Per determinare la posizione assoluta rispetto al quadro di riferimento occorre conoscere la posizione di partenza, la velocità e l'orientamento del corpo. Se la precisione dei giroscopi è decisamente inferiore alla rotazione della terra (15°/h), l'assetto può essere stimato sulla base della gravità e della rotazione della terra.

Il costo dell'hardware varia a seconda della qualità dei componenti, come rilevato nella Tabella 17. Solitamente un sistema microelettromeccanico (MEMS) a basso costo utilizzato nei dispositivi mobili non può essere utilizzato da solo e richiede la fusione di dati di sensori (si tratta principalmente di GNSS, Bluetooth e WiFi), mentre il giroscopio ottico (che misura la differenza di frequenza della luce in due direzioni) è la soluzione più costosa e che presenta le prestazioni migliori.

Tabella 17 – Panoramica dei sistemi di navigazione stimata

Tipo	<u>Giroscopi ottici</u>	<u>Giroscopi a fibre ottiche</u>	<u>MEMS</u>	<u>MEMS a basso costo</u>
Costo [EUR]	100 000	20 000	< 2 000	< 1 000
Deriva giroscopica	0,003 °/h	1 °/h	360 °/h	3 600 °/h
Deriva di 1 m	~ 2 min	~ 30 s	~ 5 s	< 5 s

Si noti che i valori riportati nella tabella seguono una dinamica a velocità costante.

5.3.8.1 Caratteristiche principali

La navigazione inerziale funziona **integrando** nel tempo **le misurazioni dei sensori** in un processo noto come deriva. Le unità di fascia alta possono determinare la rotazione della terra e funzionare in modo indipendente, ma nella maggior parte dei casi sono utilizzate in combinazione con ricevitori GNSS.

Man mano che gli errori crescono nel corso del tempo, l'approccio ideale è la combinazione delle misurazioni dei sensori dell'IMU con i riferimenti fissi di posizione GNSS in un filtro di Kalman che orienta la posizione del corpo verso le correzioni di posizione GNSS di buona qualità, pur presentando un tasso di aggiornamento elevato nel frattempo. Un esempio è il sistema di navigazione inerziale (INS, *Inertial Navigation System*) che ottiene la posizione, l'orientamento e la velocità del corpo senza la necessità di riferimenti esterni. Tale sistema può colmare le indisponibilità GNSS brevi, favorire la risoluzione dell'ambiguità RTK e fornire assistenza in relazione al rilevamento e alla mitigazione dello slittamento del

ciclo. In caso di soluzione strettamente accoppiata, ciò significa anche che la posizione può essere ottenuta con meno di tre satelliti in vista.

Dettagli tecnici relativi all'IMU, alla meccanizzazione e alla fusione di dati di sensori sono riportati anche nella pubblicazione P. Groves, *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*, Artech House, 2013.

5.3.8.2 Stato e piani di ottimizzazione

Con la prima IMU utilizzabile prodotta negli anni Cinquanta e la tecnologia maturata intorno agli anni Ottanta, da allora lo sviluppo si è concentrato sulla miniaturizzazione e sullo sviluppo del sistema di misurazione inerziale (in modo libero, stretto e accoppiato, nonché tramite filtro di Kalman). **Le IMU sono ormai diffuse; inoltre IMU a basso costo alimentano i telefoni cellulari.** Lo sviluppo attuale consiste nel ridurre le dimensioni e i costi ed aumentare le prestazioni utilizzando materiali nuovi. La sezione dedicata alle tecnologie quantistiche descrive lo sviluppo di un nuovo approccio all'hardware molto promettente.

5.3.9 Navigazione magnetica

L'uso di mappe magnetiche per la navigazione risale alla navigazione missilistica negli anni Sessanta, dove **sono state utilizzate variazioni del terreno per identificare la posizione dell'utente**, confrontando le letture continue con la mappa morfologica registrata. Affinché siano utili alla navigazione, tali osservazioni devono essere stabili nel tempo e fornire una differenza sufficiente per distinguere un'area dall'altra.

5.3.9.1 Caratteristiche principali

La **navigazione magnetica** è una delle forme di navigazione più antiche. Il nucleo magnetico terrestre è stato utilizzato per determinare il nord e mantenere costante l'azimut. L'approccio moderno si concentra invece sulle anomalie, che sono stabili nel tempo. La lettura magnetica consiste nella sovrapposizione di tutte le sorgenti magnetiche, ossia il nucleo della Terra, il campo crostale della Terra e gli effetti meteorologici antropici e spaziali.

Il **nucleo della Terra** (95-99 % dell'intera forza magnetica), pur essendo ben descritto dai modelli esistenti ed essendo misurabile dallo spazio, presenta ampie lunghezze d'onda spaziali e natura variabile nel tempo, una circostanza questa che lo rende inadatto alla navigazione basata su mappe. Il **campo magnetico crostale della Terra** (15 % dell'effetto magnetico totale) è molto stabile e mostra differenze locali. Questo campo magnetico varia in tutto il mondo e si estende sotto gli oceani, coprendo l'intera superficie terrestre. Gli **effetti antropici** possono essere suddivisi in effetti statici ed effetti variabili nel tempo. Soltanto la prima categoria è utile per la navigazione e molti elementi antropici lunghi possono essere utili per determinare la posizione. In questo contesto, gli **effetti meteorologici spaziali** introducono l'equivalente del rumore di misurazione.

Le **anomalie magnetiche** (ossia le variazioni locali del campo magnetico terrestre) sono difficili da misurare. Inoltre le misurazioni magnetiche devono essere propagate verso l'alto per altitudini più elevate, in quanto la potenza del campo magnetico segue la legge dell'inverso del quadrato.

La forza magnetica è misurata da due tipi di **strumenti**. Quelli scalari misurano l'intensità del campo e quelli vettoriali, come i magnetometri fluxgate, misurano tre componenti ortogonali. Questi ultimi, pur essendo meno precisi, sono in grado di eliminare gli errori comuni (dovuti a effetti antropici o spaziali) e fornire ulteriori informazioni territoriali. Purtroppo, le mappe a gradiente sono meno comuni rispetto a quelle anomale.

Poiché le mappe non sono precise, la posizione è una stima probabilistica (una funzione della probabilità), che richiede informazioni iniziali a priori. Nell'ambito di questo approccio, un'unica posizione statica crea più posizioni possibili. Quando l'utente si muove, la stima viene aggiornata utilizzando il metodo Monte Carlo sequenziale per creare una convergenza, con il tempo, verso un'unica posizione corretta.

5.3.9.2 Stato e piani di ottimizzazione

I risultati pratici per la navigazione magnetica indicano che, mentre **la precisione in ambienti chiusi è inferiore al metro** e può persino raggiungere il livello di decimetri, le **prestazioni all'aperto** variano da **metri a centinaia di metri**, una circostanza questa che richiede una fusione con altri sensori. Analogamente, dimostrazioni di volo basate sulla lettura magnetica e sull'IMU hanno dimostrato di essere efficienti e la principale limitazione in tale contesto è data dalla quota di volo (da pochi metri a dieci metri di precisione al di sotto di 1 km di altitudine, ma a un'altitudine di 10 km la precisione peggiora salendo a centinaia di metri). Sono quindi essenziali mappe precise e accurate delle anomalie all'altitudine di volo o al di sotto di essa.

La tecnologia magnetica è **in rapida maturazione**. Imprese commerciali offrono servizi di localizzazione e navigazione, limitati ad aree specifiche, utilizzando dati magnetici con altri sensori (WiFi e Bluetooth e ubicazioni premappate). Altre imprese propongono tali servizi per applicazioni ferroviarie al fine di determinare l'ubicazione dei binari e l'ubicazione corrente del treno, mentre tra gli altri usi figurano il trasporto marittimo con un posizionamento assoluto tramite radar che utilizza gli elementi estratti dalla lettura radar, abbinati alle carte radar per individuare la posizione dell'utente. Tutte **queste tecnologie richiedono la fusione di dati di sensori**.

5.3.10 Orbita terrestre bassa (LEO)

I sistemi LEO (a orbita terrestre bassa) sono costituiti da centinaia o magari migliaia di satelliti che trasmettono da un'altitudine operativa compresa tra 400 km e 1 500 km (evitando la resistenza atmosferica e gli effetti solari). Fino a poco tempo fa tale altitudine era utilizzata prevalentemente dai satelliti di osservazione della Terra e di comunicazione (SatCom) con una costellazione non superiore a 100 satelliti.

L'orbita LEO offre una **bassa latenza** e un'**elevata intensità del segnale ricevuto** (30 dB in più rispetto all'orbita MEO) a bassa potenza di trasmissione. Tali caratteristiche rendono interessante le mega-costellazioni volte a fornire internet a banda larga. I fornitori di banda larga mirano a utilizzare la banda Ku ad alta frequenza, che dovrebbe essere in grado di offrire una velocità di trasmissione dei dati pari a fino a 8-20 Gbps.

Anche il posizionamento orbitale in prossimità della superficie terrestre **presenta svantaggi**, in quanto l'impronta satellitare tipica (che è l'area al suolo che può essere coperta dalle antenne di trasmissione) è molto inferiore (sono necessari 9 satelliti LEO per coprire l'impronta di un satellite MEO). Inoltre la velocità relativa del satellite rispetto al suolo è molto più elevata. Il periodo orbitale dei satelliti LEO è pari a circa 100 minuti rispetto a quello dei MEO corrispondente a circa 12 ore. Ciò significa che la piena copertura terrestre richiede costellazioni molto più ampie.

La tabella che segue rappresenta una selezione non esaustiva dei servizi LEO. Dati i costi relativamente modesti di deposito presso l'ITU e il vantaggio prioritario (rispetto ai depositi registrati successivamente), vi è la tendenza a depositare i sistemi anche se i loro piani operativi non sono ancora pienamente sviluppati, per cui l'elenco che segue si basa sulla vicinanza percepita delle costellazioni al mercato e alle mega-costellazioni di comunicazione. Un'omissione significativa da questa tabella è rappresentata dai satelliti di osservazione della Terra.

Tabella 18 – Panoramica delle costellazioni LEO

Sistema	Numero di satelliti	Satelliti in servizio (agosto 2022)	Altitudine [km]
Iridium	66	66	780
Kuiper	3 236	0	590-630
Starlink	4 409	2 268	540-570

Sistema	Numero di satelliti	Satelliti in servizio (agosto 2022)	Altitudine [km]
OneWeb	4 000	354	1 200
Kepler	6 LEO + 24 MEO	0	7 600 + 29 600
Centispace	120	2	975
XonaSpace	300	1	975

Si noti che i valori riportati nella tabella sono soggetti a rapidi cambiamenti.

5.3.10.1 Caratteristiche principali

Le costellazioni LEOS forniscono molteplici servizi, tra cui comunicazioni sicure e connettività a banda larga per i dispositivi intelligenti e i veicoli connessi. **Non comprendono un payload di navigazione dedicato (fatta eccezione per Iridium)** e pertanto oggi possono soltanto fornire dati di potenziamento per i segnali GNSS o i loro segnali possono essere impiegati indirettamente per la navigazione utilizzando l'[approccio del segnale di opportunità \(SoO\)](#) e la navigazione Doppler.

Attualmente l'unico mezzo disponibile per fornire posizionamento e navigazione da una costellazione LEO è l'utilizzo della **navigazione Doppler** la cui principale debolezza è costituita dal rilevamento dell'orbita e dalla sincronizzazione temporale dei riferimenti fissi (parzialmente compensati dal metodo di calcolo). L'aumento del numero di satelliti LEO può migliorare la precisione di posizionamento (utilizzando l'approccio SoO Doppler), ma non la fornitura della sincronizzazione.

Il sistema Iridium fornisce un segnale di navigazione dedicato che fornisce anche una sincronizzazione temporale. [Satelles Time and Location \(STL\)](#) è stato creato nel 2016 come consorzio costituito da Iridium, Satelles Inc e Boeing per fornire servizi di navigazione globali. L'infrastruttura del sistema è data principalmente da un segmento spaziale, con un segmento terrestre limitato a un'unica stazione di controllo (con backup a caldo attivo nell'arco di 10 minuti) situata negli Stati Uniti e a diverse stazioni passive di terra con funzione di monitoraggio. I segnali nello spazio di STL sono trasmessi sulla frequenza L1 (1 616-1 626 MHz).

Il sistema Iridium è progettato per un solo satellite visibile da parte dell'utente. Ciascuno dei 66 satelliti Iridium conta 48 fasci. Per garantire capacità sicure e antispoofing, ogni fascio trasmette il messaggio di navigazione con un codice individuale, che cambia ogni secondo. Poiché vi è pieno controllo sui fasci di STL, il messaggio di navigazione può essere limitato ad aree specifiche (una circostanza questa che impedisce la ricezione del segnale nelle aree in cui non è presente alcun abbonato). I complessi diagrammi dei fasci sovrapposti dei satelliti, combinati con le tecniche di autenticazione dei segnali, consentono all'STL di fornire un'**ora affidabile** (sincronizzata rispetto all'UTC) e una **capacità di localizzazione sicura e indipendente dai GNSS**.

I segnali di STL sono ricevuti sulla superficie della Terra con un'intensità circa 1 000 volte (30 dB) maggiore rispetto ai GNSS, una circostanza questa che consente la ricezione **in ambienti chiusi**. I satelliti non hanno orologi atomici a bordo. Sono piuttosto costantemente calibrati utilizzando una stazione terrestre e le capacità intersatellitari della costellazione Iridium. Gli abbonati devono pagare una commissione per i servizi prestati.

5.3.10.2 Stato e piani di ottimizzazione

Soltanto l'**STL** è una tecnologia diffusa e matura per i servizi PNT. È in grado di fornire una sincronizzazione affidabile, con una precisione di 100-150 nsec, fissa rispetto all'UTC(k). Il **posizionamento** è più difficile da ottenere e la soluzione attuale è quella di utilizzare l'effetto Doppler, che fornisce una precisione pari a circa 10 m per gli utenti statici. Una volta ottenuto un punto fisso (dato che richiede fino a 20 minuti di convergenza, qualora si inizi presso una posizione sconosciuta), la posizione può essere ottenuta anche con un unico satellite, ma con una precisione di conseguenza ridotta, fino a decine di metri. L'STL può

comprendere anche dati di assistenza in tempo reale per gli orologi satellitari, le orbite e i payload dei messaggi. Si prevede che rapidi cambiamenti di geometria miglioreranno l'attenuazione multipercorso, in quanto il suo effetto medio su pochi minuti si esaurirà.

Per superare le principali limitazioni dell'utilizzo di satelliti LEO per servizi PNT completi (anziché per la fornitura della sola sincronizzazione), ossia per la determinazione dell'orbita e la sincronizzazione temporale, è auspicabile utilizzare ricevitori GNSS a bordo al fine di stimare tanto la posizione quanto l'ora della trasmissione (ma in tal caso il servizio non è più indipendente dai GNSS). Questo approccio, noto come servizi **PNT LEO fusi**, è al centro dei sistemi **Xona Space**, in relazione ai quali il servizio PNT Pulsar rivendica una precisione a livello di metri. Il primo satellite è stato lanciato nel quadro della missione condivisa di SpaceX nel 2022 e, secondo le previsioni, il servizio dovrebbe essere operativo alla fine del 2023. Le prestazioni effettive non sono ancora note.

Kepler è un concetto per un sistema PNT interamente personalizzato che utilizza una combinazione di satelliti LEO e MEO. Di conseguenza, tale sistema è completamente diverso da altri sistemi LEO discussi in precedenza, in quanto si tratta di un sistema personalizzato PNT anziché di un'ottimizzazione/riutilizzo parziale di un'infrastruttura LEO progettata originariamente per un ambito di applicazione diverso, ad esempio per la comunicazione o l'accesso a internet a banda larga. Kepler stabilisce la sincronizzazione mediante misurazioni dirette con collegamenti ottici e può operare in maniera interamente indipendente o in collaborazione con Galileo.

Infine un'opzione alternativa è quella di eseguire la misurazione della distanza mediante Doppler per qualsiasi segnale trasmesso dai satelliti LEO o di utilizzare tali segnali come segnali di opportunità. Entrambi gli approcci sono indipendenti dal proprietario del sistema, in quanto chiunque può utilizzare tali osservazioni. Tuttavia vi sono limitazioni in quanto l'effetto Doppler dipende dalla visibilità di un gran numero di satelliti, mentre il segnale di opportunità dipende dal segmento terrestre dedicato (stazione di base).

5.3.11 Tecnologie quantistiche

Tra le tecnologie nuove ed emergenti che possono offrire vantaggi sostanziali alle applicazioni PNT, quelle che sfruttano gli **effetti fisici quantistici sono particolarmente promettenti**. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, si prevede che siano ancora necessari diversi anni di sviluppo affinché le nuove tecnologie quantistiche abbiano effettivamente l'impatto atteso sulle applicazioni PNT.

5.3.11.1 Orologi quantistici

5.3.11.1.1 Caratteristiche principali

Secondo le previsioni, i continui progressi in materia di orologi atomici dovrebbero apportare notevoli benefici ai sistemi di posizionamento basati su satellite:

- per quanto riguarda l'**infrastruttura terrestre**, si possono prendere in considerazione gli orologi basati su interferometria ad atomi freddi per sostituire gli insiemi esistenti di orologi al cesio e maser ad idrogeno attivi che sono impiegati universalmente per generare la sincronizzazione temporale del sistema. Sebbene gli orologi ad atomi freddi abbiano raggiunto una fase di sviluppo piuttosto matura e alcuni prodotti commerciali stiano iniziando a essere disponibili, il loro utilizzo è ancora in gran parte limitato alla comunità scientifica;
- per quanto concerne l'**infrastruttura spaziale**, migliori orologi nei satelliti migliorerebbero l'errore di determinazione degli utenti dei segnali nello spazio, ma i vincoli legati al loro utilizzo nello spazio limitano attualmente i possibili candidati agli orologi a base ionica, agli orologi pulsati pompati otticamente e, nel lungo termine, agli orologi atomici ottici basati su effetti non lineari quali l'assorbimento a due fotoni e la spettroscopia di trasferimento di modulazione.

Gli orologi atomici ottici su scala di laboratorio sono già in uso e contribuiranno senza dubbio all'attuazione di una scala di tempo metrico: sebbene non necessitino di una realizzazione autonoma di tale scala del tempo, i sistemi GNSS ne trarranno probabilmente vantaggio attraverso protocolli di trasferimento del segnale orario basati sul trasferimento di ora e frequenza via satellite in modo bidirezionale sulla fase della portante o su collegamenti ottici coerenti nello spazio libero o attraverso la fibra ottica.



Figura 61 – [Un orologio commerciale ad atomi freddi](#) (a sinistra) e un prototipo di standard di frequenza ottica basato sulla transizione a due fotoni in rubidio (a destra). Si noti che in quest'ultimo caso non è incluso il pettine di frequenza necessario per tradurre la frequenza ottica stabilizzata in un segnale a microonde [Strangfeld 2021]

5.3.11.1.2 Stato e piani di ottimizzazione

A più lungo termine, **nuove architetture GNSS potrebbero emergere per la generazione e la distribuzione dell'ora su scala ottica** al fine di sfruttare appieno le proprietà di stabilità degli orologi atomici ottici interconnessi attraverso collegamenti ottici intersatellitari e terra-satellite.

A titolo di esempio, **un futuro sistema potrebbe essere interamente basato su infrastrutture spaziali**, senza bisogno di stazioni di ricezione o di trasmissione da terra a satellite distribuite a livello mondiale, necessarie per il GNSS attuale. L'infrastruttura spaziale potrebbe comprendere satelliti MEO e LEO, dotati rispettivamente di laser stabilizzati a cavità e orologi atomici ottici, adeguatamente interconnessi con collegamenti ottici per consentire la sincronizzazione globale a livello di ps e misurazioni della distanza con una precisione a livello di μm . In linea di principio, l'unica infrastruttura terrestre necessaria sarebbe una stazione ottica ricevente per mantenere l'ora del sistema allineata a quella dell'UTC. Il progetto [Kepler](#) mostra come gli orologi atomici ottici possano consentire future architetture GNSS con un **miglioramento di circa 100 volte del segnale nello spazio**.

Tuttavia è opportuno considerare che, in ragione delle perturbazioni della ionosfera, della troposfera e delle perturbazioni dovute a interferenze multipercorso, un segnale nello spazio migliore non si traduce immediatamente in una migliore precisione di posizionamento per l'utente finale. Tecniche complementari, quali il posizionamento a punto preciso o la cinematica in tempo reale, devono essere notevolmente migliorate affinché la generazione e la distribuzione dell'ora di GNSS su scala ottica vadano effettivamente a vantaggio degli utenti finali. Inoltre sarà necessario un processo di miniaturizzazione molto complesso affinché gli orologi atomici ottici raggiungano dimensioni su scala di chip e requisiti di potenza compatibili con le batterie qualora dovessero essere utilizzati in apparecchiature portatili di fascia alta.

5.3.11.2 Sistemi di navigazione inerziale quantistica

5.3.11.2.1 Caratteristiche principali

I principi della fisica quantistica sono sfruttati anche per la navigazione, con la logica secondo cui lo sfruttamento di **proprietà atomiche** fundamentalmente **inalterabili migliorerà le prestazioni di deriva delle unità di misura inerziali**. La ricerca si è concentrata sui seguenti aspetti:

- i giroscopi a **risonanza magnetica nucleare (NMR)** che sfruttano il momento nucleare angolare e sono stati sviluppati inizialmente negli anni Sessanta; la concorrenza esercitata dai giroscopi ottici e dai giroscopi a fibre ottiche ne hanno tuttavia ostacolato l'attrattiva commerciale. Soltanto di recente sono stati svelati dispositivi nuovi che sfruttano le tecnologie di miniaturizzazione per sistemi di navigazione compatti a costi competitivi;
- i giroscopi **SERF (Spin-Exchange Relaxation Free)**, molto meno studiati, basati sulla rotazione degli elettroni di metalli alcalini (proposti per la prima volta nel 2005) e quelli che sfruttano la rotazione di atomi vacanti di azoto nei diamanti (nell'ultimo decennio), entrambi ancora principalmente oggetto di ricerca accademica;
- i giroscopi **CAI (Cold Atom Interference)** (giroscopi ad interferometria ad atomi freddi), oggi i sistemi più promettenti per la navigazione autonoma, sfruttano la stabilità fondamentale della massa atomica per garantire l'immunità dalle derive, eliminando così la necessità di ricalibrazioni periodiche. Inoltre, i sistemi basati sull'interferometria ad atomi freddi misurano i valori assoluti dell'accelerazione e della velocità di rotazione e non le variazioni rispetto ai valori di riferimento. Questi vantaggi comportano costi, dimensioni, peso e impronta energetica elevati, in quanto sono necessarie tecnologie abilitanti complesse (sistemi sottovuoto, laser e sistemi ottici, elettronica di controllo, ecc.), il cui progresso costituisce un fattore chiave per lo sviluppo di sensori inerziali basati sull'interferometria ad atomi freddi.

La [Tabella 19](#) fornisce un confronto tra questi giroscopi quantistici e con quelli convenzionali MEMS e ESG. I giroscopi **MEMS** (giroscopi per sistemi microelettromeccanici) sono ampiamente impiegati nelle applicazioni destinate ai consumatori, ma è improbabile che raggiungano i requisiti di deriva necessari per la navigazione autonoma. Le prestazioni dei giroscopi flottanti meccanici e dei giroscopi ottici si avvicinano al limite determinato dai principi fisici sottostanti e qualsiasi miglioramento comporterà costi aggiuntivi elevati. Anche i **giroscopi ESG** (giroscopi a sospensione elettrica) sono considerati costituiti da un giroscopio a due gradi di libertà nel contesto del quale la sfera del rotore che ruota è sostenuta in un ambiente sotto vuoto da un campo elettrico. Si prevede che i giroscopi atomici (NMR, SERF e CAI) diventeranno competitivi con la qualità di navigazione convenzionale per i sistemi di navigazione inerziale di prossima generazione.

Tabella 19 – Confronto di giroscopi basati su principi fisici diversi [dati tratti da Zhang 2016]

Qualità	Tipo	Deriva (°/h)	Dimensione (mm ³)	Costo (USD)
Tattica	MEMS	1 000-0,1	< 100	< 100
Navigazione	NMR	10 ⁻²	10-10 ⁴	10 ³ -10 ⁴
	Ottici	10 ⁻² -10 ⁻³	~ 10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁵
	A fibre ottiche	10 ⁻² -10 ⁻³	10 ⁵ -10 ⁶	10 ⁴ -10 ⁵
Strategici	Flottanti meccanici	10 ⁻³ -10 ⁻⁴	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁵ -10 ⁶
	ESG	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷
	SERF	~ 10 ⁻⁴	10 ⁶ -10 ⁷	< 10 ⁵
	CAI	> 10 ⁻⁵	~ 10 ⁹	10 ⁵ -10 ⁶

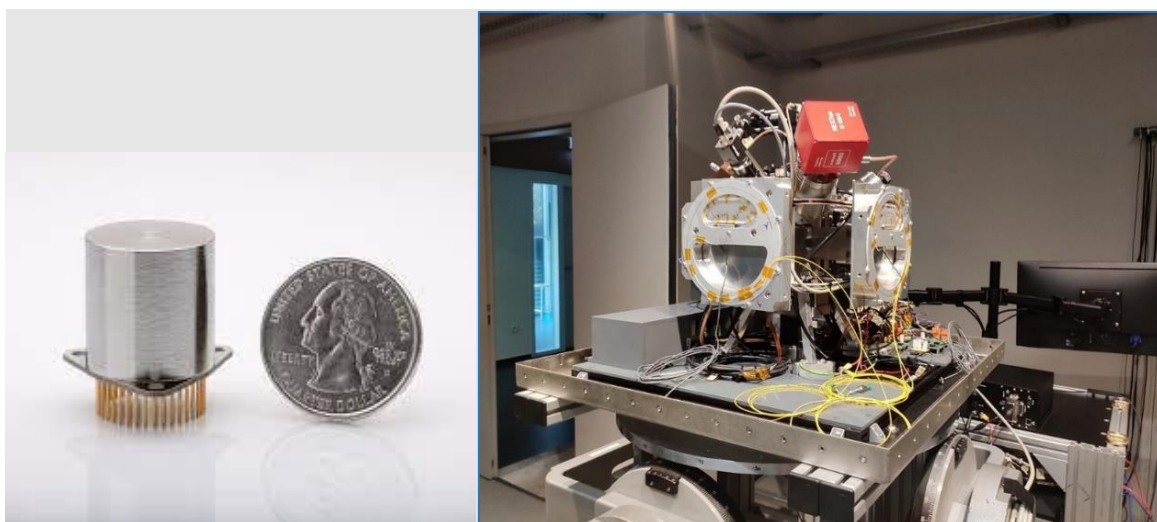


Figura 62 – Prototipo di giroscopio NMR per applicazioni tattiche di Northrop Grumman (a sinistra) e IMU basata su laboratorio che si basa sull'ibridazione di giroscopi a fibre ottiche e accelerometri CAI sviluppati da IXblue (destra)

5.3.11.2 Stato e piani di ottimizzazione

Il percorso verso un'IMU portatile a sei assi basata sull'interferometria ad atomi freddi, rapida, solida e sufficientemente compatta da poter essere utilizzata per la navigazione inerziale richiede la negoziazione di diversi compromessi e il superamento di diverse sfide tecnologiche, che probabilmente richiederanno **diversi anni di sforzi sostenuti**. Per trarre efficacemente vantaggio dall'assenza di deriva insita nel suo principio di funzionamento, è necessario sviluppare e attuare tecnologie affidabili e solide in grado di sostenere il funzionamento autonomo a lungo termine in ambienti difficili.

È opportuno altresì osservare che un'IMU basata sull'interferometria ad atomi freddi presenta inevitabilmente intervalli di tempo morto durante i quali avviene il raffreddamento degli atomi e dovrà pertanto operare in modo ibrido, comprendendo anche dispositivi classici. Un approccio alternativo potrebbe essere l'uso di sistemi a sull'interferometria ad atomi freddi per fornire una calibrazione plug-in all'accelerometro e ai giroscopi veloci e sensibili sulla base di altri principi di funzionamento.

I gravimetri ad atomi freddi ad asse singolo, utilizzati per misurare campi gravitazionali lentamente variabili lungo uno stesso asse, sono già disponibili in commercio (livello di maturità tecnologica pari a 9, ossia un sistema effettivo dimostrato in ambiente operativo), mentre sono stati sviluppati diversi prototipi di accelerometri e giroscopi basati sull'interferometria ad atomi freddi, che hanno dimostrato un livello di maturità tecnologica compreso tra 3 (prova di concetto sperimentale) e 4 (tecnologia convalidata in laboratorio).

Va infine ricordato che i sensori atomici da utilizzare per la navigazione inerziale saranno probabilmente considerati prodotti a duplice uso e soggetti a restrizioni all'esportazione ai sensi delle norme ITAR (*International Traffic in Arms Regulations*), come già avviene per i sistemi ad alte prestazioni basati su effetti ottici o meccanici.

5.3.11.3 Riferimenti

Per un'analisi più approfondita si rimanda il lettore interessato alla consultazione dei seguenti riferimenti:

- G. Giorgi *et al.*, *Advanced technologies for satellite navigation and geodesy*, Advances in Space Research 64, 2019;

- W.R. Milner *et al.*, *Demonstration of a Timescale Based on a Stable Optical Carrier*, PRL 123, 173201, 2019;
- B. Jadusziwer e J. Camparo, *Past, present and future of atomic clocks for GNSS*, GPS Solutions 25:27, 2021;
- T. Schuldt *et al.*, *Optical clock technologies for global navigation satellite systems*, GPS Solutions vol. 25, n. 83, 2021;
- Strangfeld *et al.*, *Prototype of a compact rubidium-based optical frequency reference for operation on nanosatellites*, Journal of the Optical Society of America B vol. 38, numero 6, 2021;
- M. Schioppo *et al.*, *Comparing ultrastable lasers at 7×10^{-17} fractional frequency instability through a 2220 km optical fibre network* Nature Communications, 13:212, 2022;
- Zhang *et al.*, *Inertial rotation measurement with atomic spins: From angular momentum conservation to quantum phase theory*, Appl. Phys. Rev. 3, 041305, 2016;
- M. Travagnin, *Interferometria ad atomi freddi per sensori di navigazione inerziali - Valutazione della tecnologia: applicazioni spaziali e di difesa*, JRC122785, EUR 30492 EN, 2020 (solo in EN);
- M.J. Wright *et al.*, *Cold Atom Inertial Sensors for Navigation Applications*, Frontiers in Physics, presentato il 14 luglio 2022.

5.3.12 PNT pulsar

Una **pulsar** (dall'inglese: *pulsating radio source*, ossia "sorgente radio pulsante") è una **stella di neutroni** altamente magnetizzata e a rotazione rapida, che emette fasci di radiazione elettromagnetica dai suoi poli magnetici. La radiazione elettromagnetica può essere osservata soltanto quando un cono di emissione è rivolto verso la Terra. Poiché le stelle di neutroni sono oggetti molto compatti con periodi di rotazione brevi e regolari, **l'intervallo tra due impulsi è molto preciso** e varia da millisecondi a secondi per una singola pulsar. Il segnale elettromagnetico (in particolare nelle bande radio, ottica e X) emesso dalle pulsar può essere rilevato dall'apparecchiatura specializzata e ogni pulsar può essere identificata sulla base della curva luminosa ricostruita dal segnale emesso. Pertanto le pulsar non sono soltanto una sorgente di sincronizzazione precisa, ma possono anche essere utilizzate per la navigazione su scala galattica. Questa idea è stata proposta per la prima volta nel 1974 da G.S. Downan.

5.3.12.1 Caratteristiche principali

Le pulsar sono state prese in considerazione innanzitutto per la **fornitura dell'ora** (le pulsar millisecondo offrono una stabilità temporale paragonabile a quella degli orologi atomici). Questa idea ha già un'attuazione pratica, con il primo orologio pulsar terrestre installato a Danzica, in Polonia, nel 2011 per commemorare il 400° anniversario della nascita di [Johannes Hevelius](#). Da allora sono stati installati diversi altri dispositivi, sperimentando nella pratica il concetto della scala del tempo pulsar, intesa come una combinazione di osservazioni pulsar a lungo termine con orologi locali ultrastabili. In effetti, anche la [semplice combinazione di un orologio atomico e delle correzioni calcolate dall'osservazione di pulsar genera una scala del tempo molto stabile](#), indipendente da altri dati in ingresso.

Sebbene non tutte le pulsar possano essere utilizzate per una sincronizzazione precisa, per lo più in ragione della frequenza, sono tutte molto stabili (alcune sono state monitorate a partire dagli anni Settanta). È interessante rilevare che le fonti meno brillanti sono più stabili. Ogni pulsar presenta un profilo di trasmissione unico, in particolare il periodo di ripetizione degli impulsi, una circostanza questa che consente di identificarle. Per questo motivo sono state prese in considerazione per la navigazione, per la prima volta da G.S. Downan.

L'argomentazione principale era che esse sono visibili da qualsiasi luogo all'interno della galassia e che diverse pulsar (che possono essere distinte in base alla loro frequenza, proprio come avviene per i fari) possono formare un insieme di radiofari, la cui direzione di puntamento è nota.

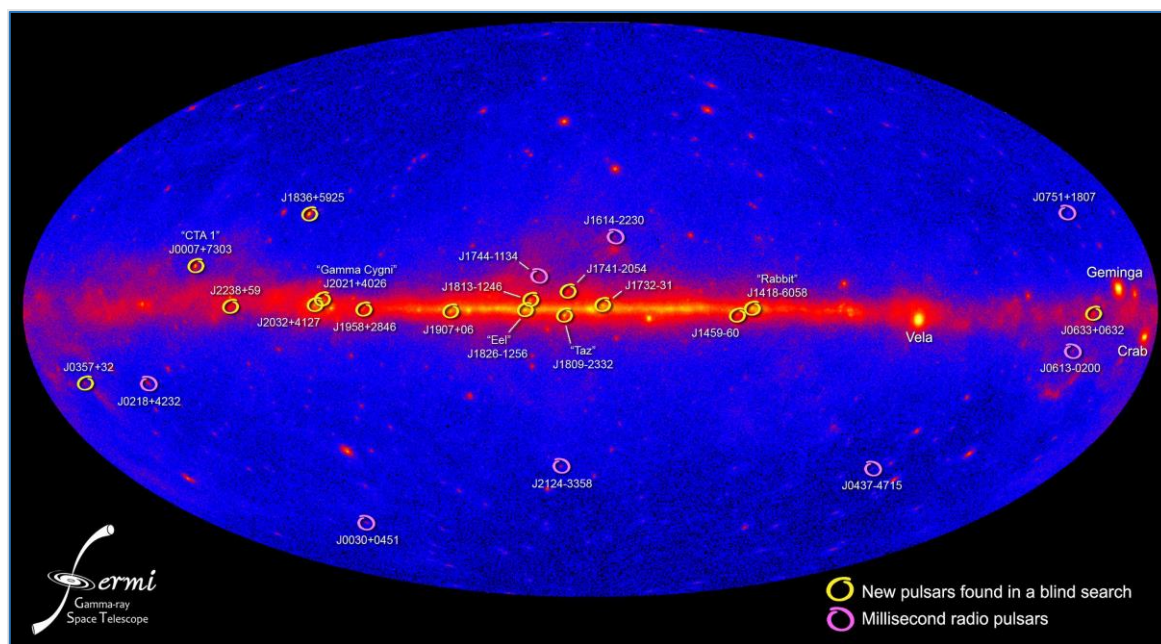


Figura 63 – Pulsar note, tracciate lungo la longitudine e la latitudine galattica (Crediti: NASA, dominio pubblico)

Da allora, numerose missioni spaziali hanno osservato e individuato migliaia di sorgenti radiografiche, molte delle quali monitorate attivamente. Sono stati inoltre individuati altri segnali radio spaziali, quali i lampi gamma (GRB, *Gamma-Ray Bursts*), che sono raccomandati per la posizione e la velocità con sorgenti radiografiche luminose e i lampi radio veloci (FRB) raccomandati per la navigazione relativa. Le pulsar a banda radio sono utilizzate attivamente anche per gli studi sulle onde gravitazionali.

5.3.12.2 Stato e piani di ottimizzazione

La maggior parte dei risultati di ricerca pertinenti proviene dalla NASA e dall'ESA, che sviluppano capacità e algoritmi. Sono proposti due **metodi di navigazione** per i veicoli spaziali:

- la navigazione assoluta comporta il ricorso a un solo satellite che cerca di posizionarsi rispetto a un punto di riferimento inerziale, come il baricentro del sistema solare. Ciò richiederebbe un collegamento sporadico tra il satellite e il controllo a terra per l'aggiornamento dell'effemeridi delle pulsar che potrebbero occasionalmente variare a causa dei glitch delle pulsar (della durata di anni) o di altre irregolarità in termini temporali;
- la navigazione relativa comporta il ricorso a più veicoli spaziali che osservano le medesime sorgenti utilizzando soltanto osservazioni relative al veicolo spaziale interessato. Osservazioni differenziali tra due veicoli spaziali in volo in formazione, a una distanza nota, sono state altresì proposte.

L'interesse principale della navigazione basata su pulsar riguarda i sistemi relativi allo spazio profondo e i viaggi interplanetari. La maggior parte dei sistemi di navigazione spaziale esistenti opera utilizzando la telemetria e la sincronizzazione e la navigazione basate su pulsar a raggi X (XNAV) potrebbero ridurre significativamente i costi e offrire flessibilità grazie a una precisione maggiore. L'aspetto più interessante è l'ampia disponibilità dei segnali e la mancanza di manutenzione (la navigazione richiede soltanto aggiornamenti occasionali delle effemeridi per ogni pulsar individuata). I sensori a raggi X sono molto resistenti al rumore in altre frequenze, una caratteristica molto utile per le applicazioni nello spazio. Soltanto le pulsar che trasmettono in tali frequenze sono prese in considerazione per la navigazione, anche se sono allo studio altri intervalli di frequenza.

Da uno studio dell'ESA del 2004 è emerso che l'osservazione di una singola pulsar, che stima la distanza, richiede un'antenna di dimensioni moderate (10 m²) e un tempo di integrazione del segnale di circa un'ora. Secondo ulteriori conclusioni di tale studio, la navigazione e la sincronizzazione basate su pulsar a raggi X (XNAV) potrebbero offrire una precisione di 1 000 km per le missioni spaziali. Poiché il sistema completo richiederebbe più antenne per le osservazioni multipulsar sincrone, il peso totale del sistema è stato ritenuto troppo pesante per un veicolo spaziale.

Da allora sono state completate diverse prove e dimostrazioni dell'hardware. Nel 2016 la Cina ha avviato una missione sperimentale di dimostrazione per la navigazione basata su pulsar a raggi X (XPNAV-1) che ha dimostrato una misurazione e una risoluzione di sincronizzazione a livello di μ sec rispetto ad un'unica pulsar. È comunque necessario miniaturizzare ulteriormente l'hardware e i calcoli per l'elaborazione dei segnali continuano a comportare un'intensità di calcolo elevata. Un recente studio dell'ESA, condotto in collaborazione con l'Università di Padova, ha calcolato aumenti della precisione fino a un livello inferiore al chilometro, riducendo anche le dimensioni del payload, il peso e la potenza (SWAP, stimata a 10 kg di massa su 30x30x30 cm di volume e 10 W di consumo energetico).

Sono attualmente in corso altri studi dell'ESA per la navigazione interplanetaria, che riducono il numero di antenne a una a scapito di operazioni più complicate dei veicoli spaziali al fine di acquisire in sequenza i segnali pulsar. I ricercatori prevedono inoltre che le misurazioni pulsar nella gamma in radiofrequenza potrebbero essere utilizzate in futuro per la navigazione sulla Terra, in particolare per alcuni casi d'uso in cui le dimensioni dell'antenna potrebbero non costituire un problema. Ulteriori informazioni sono disponibili nel documento [Use of pulsars for ship navigation: an alternative to the sextant.](#)

5.4 Sintesi dei punti di forza, dei punti di debolezza, delle opportunità e delle minacce

		PUNTI DI FORZA	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
TECNOLOGIE EMERGENTI	White Rabbit	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia collaudata e testata, facile da implementare e da gestire. - Fornita sia da piccole che da grandi imprese dell'UE. 	<ul style="list-style-type: none"> - Richiede un'infrastruttura dorsale e una connessione in fibra senza interruzioni end-to-end. - Potrebbe essere necessario ammodernare l'infrastruttura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Innovazione della tecnologia esistente. - L'UE è il principale fornitore. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'uso commerciale della rete scientifica esistente non è ancora stato concordato.
	Distribuzione dell'ora tramite reti informatiche	<ul style="list-style-type: none"> - Non è necessario che la rete sia omogenea e l'infrastruttura esistente può essere utilizzata per la maggior parte del tempo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il bilancio degli errori dei collegamenti alla dorsale richiederà una rete internet commerciale (quantità garantita di larghezza di banda) e non la "rete del miglior sforzo". - I collegamenti a microonde potrebbero essere oggetto di jamming. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il numero di connessioni aumenta naturalmente con i mercati emergenti quali IoT, città intelligenti o trasporti. 	<ul style="list-style-type: none"> - La rete non deve essere estrapolata ma interpolata (progettata per sostenere l'espansione). - Il bilancio per gli errori di rete potrebbe dover essere eccessivamente conservativo.
	Pseudoliti	<ul style="list-style-type: none"> - Segnali dedicati e criptati progettati per il posizionamento ad alta precisione in ambienti interni ed esterni utilizzando livelli bassi di potenza. - Alcune tecnologie sono resistenti al multipercorso con antenne V-Ray di beamforming dedicate. - Il sistema di trasmissione non presenta limiti di capacità. - Resistente ai guasti locali e di sistema, alcune tecnologie sono certificate per applicazioni di sicurezza della vita. 	<ul style="list-style-type: none"> - La precisione è basata sulla geometria e sul posizionamento dei ricetrasmittitori, quindi la stima dell'altezza è meno affidabile. - Il numero di unità non scala bene con l'area e la rete deve essere installata in prossimità dell'area di servizio desiderata. - L'ora UTC richiede una sincronizzazione esterna. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'installazione è semplice e i costi di manutenzione sono bassi. - Uso commerciale consolidato. 	<ul style="list-style-type: none"> - La frequenza utilizzata può essere usata da chiunque senza restrizioni (WiFi) o richiede permessi dedicati. - I componenti terrestri possono essere oggetto di attacchi fisici e necessitano di alimentazione.
	5G e reti cellulari	<ul style="list-style-type: none"> - Si basano sull'infrastruttura esistente e forniscono PNT completi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Attualmente tutte le informazioni di posizionamento si basano sulla fusione di dati di sensori con GNSS. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mercato di massa. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'aspetto PNT non è ben sviluppato nella proposta di piattaforma.
	R-Mode	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizza l'infrastruttura radio esistente. - Consente il posizionamento, la sincronizzazione e i controlli di integrità. 	<ul style="list-style-type: none"> - La copertura è limitata alle acque costiere e la geometria imposta dalla morfologia costiera può essere impegnativa. - Non supporta applicazioni ad alta precisione. - Il sistema e il servizio sono in fase di sviluppo e la sincronizzazione indipendente da GNSS è impegnativa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Può colmare la lacuna della componente terrestre del sistema PNT marittimo. - Basato su servizi radio marittimi costieri comuni a livello mondiale; scalabile in modo da essere disponibile in tutto il mondo lungo le principali rotte marittime. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dipende dalla disponibilità di infrastrutture radio esistenti. - La standardizzazione deve essere completata entro i prossimi 5-10 anni.

Figura 64 – Sintesi dei punti di forza, dei punti di debolezza, delle opportunità e delle minacce per le tecnologie emergenti

		PUNTI DI FORZA	PUNTI DEBOLI	OPPORTUNITÀ	MINACCE
TECNOLOGIE EMERGENTI (segue)	Navigazione basata su immagini	- Tecnologia sottoposta a prova.	- Richiede una calibrazione hardware dedicata.	- Molto promettente nella fusione di dati di sensori.	- Le soluzioni attuali sono specifiche per il mercato.
	Navigazione basata su dispositivi mobili	- È un servizio onnipresente, già disponibile sui dispositivi mobili.	- Le prestazioni non sono omogenee e dipendono dal telefono cellulare. - La tecnologia è sviluppata da un'impresa diversa da quella che produce il telefono cellulare.	- Si tratta di un servizio di massa ed è stato sottoposto a prova in diverse condizioni commerciali.	- È sviluppato da imprese commerciali (Google, Apple) come offerta a valore aggiunto.
	Navigazione stimata e IMU	- Navigazione passiva in tutto il mondo, con qualsiasi assetto e in qualsiasi condizione meteorologica. - Affidabile e facile da utilizzare con reazioni rapide.	- Il rumore meccanico e l'errore aumentano esponenzialmente. - Le soluzioni a basso costo dipendono dalla disponibilità e dalla qualità delle informazioni aggiuntive.	- Alcune applicazioni possono essere affrontate con hardware a basso costo. - Immune allo spoofing. - Costo legato alle prestazioni dell'unità.	- Costo delle unità di fascia alta. - GNSS necessario per la fusione di dati di sensori per il posizionamento globale.
	Mappe ambientali	- Non richiede infrastrutture.	- Qualità delle mappe sottostanti. - Alcune tecnologie richiedono la visibilità del cielo.	- Difficile da attaccare mediante spoofing. - Hardware disponibile sul mercato.	- La qualità delle mappe sottostanti non è coerente. - La localizzazione e la mappatura simultanee (SLAM) non sono efficienti nell'aggiornamento dei dati/gli utenti non vogliono condividere i dati.
	Orbita terrestre bassa (LEO)	- Non richiede infrastrutture. - Segnale a 30 dB più alto rispetto a quello di MEO, il ritardo di sincronizzazione è paragonabile a quello dell'infrastruttura terrestre.	- È necessario un gran numero di satelliti e un ampio Doppler di costellazione. - Fatta eccezione per Iridium, non viene utilizzato alcun segnale PNT dedicato.	- Distribuzione rapida degli aggiornamenti, poiché i satelliti hanno una durata di vita limitata per i nuovi LEO. - Con così tanti segnali, potrebbero essere sviluppati ulteriori approcci di tipo segnale di opportunità (SoO).	- Il servizio PNT potrebbe essere troppo costoso da implementare in aggiunta al servizio di comunicazione. - Il numero di satelliti proposto potrebbe creare problemi in futuro. - Le stime delle orbite non sono sufficientemente precise.
	Tecnologie quantistiche	- Si basano su proprietà fisiche fondamentali inalterabili.	- Sono necessarie tecnologie abilitanti complesse.	- Miglioramento di un'ampia serie prestazioni.	- Costo elevato, accettazione da parte degli utenti finali.
	PNT di pulsar	- Possono essere utilizzati ovunque nello spazio e richiedono solo almanacchi aggiornati periodicamente.	- Richiede un orologio preciso di mantenimento dell'ora e antenne allineate per ogni pulsar tracciata (in ogni direzione).	- PNT completi per le missioni spaziali. - Ora per le operazioni sulla Terra.	- Costo e dimensioni dell'hardware. - Non sono state condotte prove dimostrative.

Figura 65 – (segue) Sintesi dei punti di forza, dei punti di debolezza, delle opportunità e delle minacce per le tecnologie emergenti

6 APPENDICE B. Servizi PNT resilienti

Come illustrato nella sezione 4, i servizi di posizionamento, navigazione e sincronizzazione (PNT) sono essenziali per la società e l'economia dell'UE, consentendo informazioni precise di sincronizzazione e localizzazione per le infrastrutture critiche, il mercato professionale e di massa, nonché le applicazioni critiche in termini di responsabilità e per la sicurezza della vita umana.

Perturbazioni o guasti dei servizi PNT possono avere gravi conseguenze, tra cui perdite finanziarie e rischi per la sicurezza, una circostanza questa che sottolinea l'importanza di disporre di servizi PNT resilienti. Informazioni di sincronizzazione imprecise possono causare perturbazioni nelle reti elettriche, nei mercati finanziari e nelle reti di comunicazione; analogamente, informazioni errate sull'ubicazione possono causare incidenti nei sistemi di trasporto e logistica.

Considerando che il livello di protezione dovrebbe variare a seconda della criticità dell'applicazione, servizi **PNT resilienti** richiedono l'individuazione delle minacce, meccanismi adeguati di risposta e una rapida ripresa dei servizi. È necessario sviluppare nuovi hardware (ad esempio antenne), software (nuovi algoritmi) e sistemi alternativi.

La visione dell'UE auspica un sistema di sistemi PNT per conseguire servizi PNT resilienti che richiede diversi elementi:

- **ridondanza:** i servizi PNT dovrebbero disporre di sistemi ridondanti e meccanismi di backup per garantire la continuità in caso di guasti o perturbazioni;
- **diversità:** i servizi PNT dovrebbero utilizzare più fonti di dati e segnali al fine di aumentare l'affidabilità;
- **monitoraggio, prove e manutenzione:** attività regolari di monitoraggio, prova e manutenzione dei sistemi PNT sono fondamentali per rilevare, individuare e affrontare eventuali questioni prima che si verifichino guasti;
- **sicurezza/cybersicurezza:** i sistemi PNT dovrebbero essere progettati con solide misure di sicurezza/cybersicurezza per fornire protezione contro attacchi deliberati e garantire l'integrità delle informazioni;
- **quadro di riferimento comune per posizionamento e sincronizzazione:** al fine di prevenire l'accumulo di errori in caso di combinazione di servizi PNT, in quanto i singoli servizi PNT forniscono sincronizzazione e posizionamento in quadri di riferimento e sistemi di sincronizzazione potenzialmente diversi;
- **norme e normative:** la standardizzazione e la regolamentazione dei servizi PNT possono contribuire a garantire che siano progettati, diffusi e gestiti in modo da soddisfare requisiti specifici in materia di prestazioni e affidabilità, quali:
 - norme/orientamenti **destinati a valutare le prestazioni dei servizi PNT**, compresi i casi di prova e le procedure di prova;
 - norme/orientamenti con **requisiti minimi di prestazione** per determinati settori di applicazione (ad esempio aviazione, settore marittimo, applicazioni di sincronizzazione, ecc.);
 - norme/orientamenti (prove e prestazioni minime) per le **tecniche di rilevamento e mitigazione di interferenze e spoofing**;
- **istruzione e sensibilizzazione** degli utenti e dei progettisti in merito all'importanza dei servizi PNT così come ai potenziali rischi e alle potenziali minacce in relazione a tali servizi.

Considerando tutti gli elementi di cui sopra, i servizi PNT diventeranno più resilienti e i loro utenti mitigheranno i rischi di perturbazioni e guasti e garantiranno la continuità delle loro operazioni.

7 APPENDICE C. Normative e norme

La tabella che segue sintetizza l'elenco delle attività individuate nella sezione [3.4](#) al fine di facilitare la diffusione dell'EGNSS nei diversi segmenti di mercato:

Tabella 20 – Sintesi delle attività per la diffusione dell'EGNSS (principalmente normative e norme)

Segmento di mercato	Sistema	Tipo	Organizzazione	Titolo	Calendario	Osservazioni
Tutti	GNSS	Norma		Tecniche di rilevamento e mitigazione di interferenze e spoofing	Quanto prima	Crescente minaccia derivante da interferenze e spoofing
Aviazione con equipaggio	EGNOS	Norma	EUROCAE	Norma sui livelli minimi di prestazione operativa per apparecchiature a bordo di velivoli di sistemi di potenziamento basati su satelliti	2023	ED-259A comprese procedure di prova
Aviazione con equipaggio	EGNOS	Norma	EUROCAE	Norma sui livelli minimi di prestazione operativa per apparecchiature a bordo di velivoli di sistemi di potenziamento basati su satelliti	2024	ED-259B, compresi gli scenari H-ARAIM e istituzionali
Aviazione con equipaggio	Galileo/EGNOS	Norma	ICAO	Norme e pratiche raccomandate dell'ICAO, annesso 10 della convenzione di Chicago, volume 1, emendamento 93.	2023	Emendamento dell'annesso 10 dell'ICAO, comprese norme e pratiche raccomandate per SBAS DFMC e Galileo.
Aviazione con equipaggio	Galileo/EGNOS	Norma	ICAO	Norme e pratiche raccomandate dell'ICAO, annesso 10 della convenzione di Chicago, volume 1, versione aggiornata.	2024	Emendamento dell'annesso 10 dell'ICAO, compreso ARAIM.
Aviazione con equipaggio	Galileo/EGNOS	Norma	ICAO	Norme e pratiche raccomandate dell'ICAO, annesso 10 della convenzione di Chicago, volume 1, versione aggiornata.	2026	Emendamento dell'annesso 10 dell'ICAO, compresa autenticazione.

Segmento di mercato	Sistema	Tipo	Organizzazione	Titolo	Calendario	Osservazioni
Aviazione con equipaggio	Galileo	Norma	ICAO	Norme e pratiche raccomandate dell'ICAO, annesso 10 della convenzione di Chicago, volume 1, versione riveduta.	2029	Emendamento dell'annesso 10 dell'ICAO che introduce il GBAS DFMC con capacità multiconstellazione ed eventualmente multifrequenza.
Aviazione con equipaggio	DME (per PNT resilienti)	Norma	EUROCAE	Specifiche minime di prestazione dei sistemi aeromobili per le prestazioni di navigazione richieste per la navigazione d'area	Giugno 2022	ED-75E
Aviazione con equipaggio	DME (per PNT resilienti)	Norma	EUROCAE	Livelli minimi di prestazione operativa per le apparecchiature di misurazione della distanza (DME/N e DME/P) (apparecchiature a terra)	2023	ED-57A
Aviazione con equipaggio	DME (per PNT resilienti)	Norma	EUROCAE	Specifiche minime di prestazione dei sistemi aeromobili per l'infrastruttura DME che sostiene il posizionamento PBN	2023	Documento nuovo
Aviazione senza equipaggio	Galileo/EGNOS	Orientamenti	EUROCAE	<i>ED-301 Guidelines for the Use of Multi-GNSS Solutions for UAS Specific Category – Low Risk Operations SAIL I and II</i>	Agosto 2022	Riguarda l'uso di GNSS per le operazioni con droni a basso rischio
Aviazione senza equipaggio	Galileo/EGNOS	Orientamenti	EUROCAE	<i>Guidelines for the use of multi-GNSS solutions for UAS: Medium Risk</i>	2024	Riguarda l'uso di GNSS per operazioni con droni a medio rischio
Settore marittimo	EGNOS	Norma	IEC	Norma di prova per le apparecchiature riceventi SBAS (L1) di bordo	2023	IEC 61108-7
Settore marittimo	EGNOS	Regolamento	UE	Aggiornamento del regolamento (UE) n. 2022/1157 sui requisiti di progettazione, costruzione ed efficienza e sulle	2023-2024	Un anno dopo la norma di prova SBAS

Segmento di mercato	Sistema	Tipo	Organizzazione	Titolo	Calendario	Osservazioni
				norme di prova per l'equipaggiamento marittimo compreso SBAS (L1)		L'aggiornamento del regolamento deve comprendere il riferimento alle norme IEC 61108-7, IEC 61108-1, MSC 401 dell'IMO, MSC 112 dell'IMO.
Settore marittimo	Galileo	Norma	IMO	Aggiornamento della norma di prestazione per le apparecchiature riceventi di Galileo di bordo	2023-2024	Aggiornamento del progetto di proposta dell'MSC 233 dell'IMO presentato per informazione alla decima seduta dell'NCSR (Sottocommissione per la navigazione, le comunicazioni e la ricerca e il salvataggio) dell'IMO
Settore marittimo	Galileo	Norma	IEC	Aggiornamento della norma di prova per apparecchiature riceventi Galileo di bordo	2025-2026	Aggiornamento della norma IEC 61108-3
Settore marittimo	Galileo	Regolamento	UE	Aggiornamento del regolamento (UE) n. 2022/1157 sui requisiti di progettazione, costruzione ed efficienza e sulle norme di prova per l'equipaggiamento marittimo compreso Galileo	2025-2026	Aggiornamento della risoluzione MSC dell'IMO e della norma IEC 61108-3 edizione 2.0
Settore marittimo	EGNOS	Norma	IMO	Norma di prestazione per le apparecchiature riceventi SBAS DFMC + ARAIM di bordo	2025	Proposta da presentare in occasione dell'MSC 107 nel maggio del 2023
Settore marittimo	EGNOS	Norma	IEC	Norma di prova per le apparecchiature riceventi SBAS DFMC + ARAIM di bordo	2027	Due anni dopo la norma di prestazione SBAS DFMC + ARAIM
Settore marittimo	EGNOS	Regolamento	UE	Aggiornamento del regolamento (UE) n. 2022/1157 sui requisiti di progettazione, costruzione ed efficienza e sulle	2027-2028	Un anno dopo la norma di prova SBAS DFMC + ARAIM

Segmento di mercato	Sistema	Tipo	Organizzazione	Titolo	Calendario	Osservazioni
				norme di prova per l'equipaggiamento marittimo compresi SBAS DFMC + ARAIM		
Vie navigabili interne	Galileo/EGNOS	Regolamento	UE	Aggiornamento della norma europea per i servizi d'informazione fluviale, ES-RIS 2021/1	Ogni due anni	Possono essere contemplate disposizioni specifiche in materia di PNT e GNSS.
Vie navigabili interne	Galileo/EGNOS	Azione preparatoria	UE	Dati spaziali dell'UE per le navi a guida autonoma nelle vie navigabili interne	2023-2025	Valuterà in che modo i dati spaziali dell'UE provenienti da Galileo, EGNOS e Copernicus possano costituire dei fattori abilitanti chiave della trasformazione digitale.
Ferrovie	Galileo/EGNOS	Norma	ERA	Specifica tecnica di interoperabilità	2022-2028/2029	Norma per soddisfare i requisiti essenziali e garantire l'interoperabilità del sistema ferroviario dell'UE.
Trasporto su strada	EGNOS	Norma	ETSI 3GPP	Aggiornamento della norma 3GPP	2024	Sviluppo delle norme 3GPP per renderle conformi ai messaggi MOPS per la diffusione dei segnali GNSS DFMC attraverso reti mobili.
Trasporto su strada	Galileo	Norma	ETSI/CEN	Norma di prova per GNSS + HAIS	2024	Serie di prove e banche dati standardizzate (e idealmente certificate) relative a GNSS + HAIS da utilizzare per la certificazione dei servizi.

Segmento di mercato	Sistema	Tipo	Organizzazione	Titolo	Calendario	Osservazioni
Trasporto su strada	Galileo/EGNOS	Norma	ISO	Sistemi di trasporto intelligenti — Sistema di guida automatizzata a bassa velocità (LSADS) — Parte 2: analisi del divario	2023-2024	
Trasporto su strada	Galileo/EGNOS	Norma	ISO	Sistemi di trasporto intelligenti — Posizionamento senza soluzione di continuità per il trasporto multimodale nelle stazioni ITS — Parte 1: informazioni generali e definizione dei casi d'uso	2024-2025	
Trasporto su strada	Galileo/EGNOS	Norma	ISO	Riscossione elettronica dei pagamenti – Comunicazioni per l'incremento della localizzazione per sistemi autonomi.	2024-2025	
Sincronizzazione	Galileo	Norma	CEN/CENELEC JTC5	Norme per il ricevitore di sincronizzazione Galileo	2024-2025	

8 APPENDICE D. Principali portatori di interessi dei sistemi PNT dell'UE

Commissione europea

La Commissione europea rappresenta l'interesse generale dell'Unione europea ed è la forza trainante per proporre atti legislativi al Parlamento europeo e al Consiglio, amministrare e attuare le politiche dell'UE, far rispettare il diritto dell'UE unitamente alla Corte di giustizia e portare avanti negoziazioni sulla scena internazionale. Nell'ambito dei programmi GNSS europei, la [Commissione europea](#) ha la **competenza generale** per l'attuazione del [programma spaziale dell'UE](#), anche nel settore della sicurezza. La Commissione europea **determina le priorità e l'evoluzione a lungo termine** del programma, in linea con le esigenze degli utenti, e ne **sorveglia** l'attuazione.

La [direzione generale per l'Industria della difesa e lo spazio \(DEFIS\)](#) guida le attività della Commissione europea nel settore dell'industria della difesa e dello spazio. La Commissione europea garantisce una chiara suddivisione dei compiti e delle responsabilità tra i vari soggetti coinvolti nel programma e ne coordina le attività. La Commissione europea garantisce inoltre che tutte le entità incaricate coinvolte nell'attuazione del programma tutelino l'interesse dell'Unione europea, garantiscano una sana gestione dei fondi dell'Unione europea e rispettino il [regolamento finanziario](#).

I servizi e le agenzie esecutive della Commissione europea hanno sede a Bruxelles (Belgio) e a Lussemburgo.

Agenzia dell'Unione europea per il programma spaziale (EUSPA)

L'EUSPA è l'[Agenzia operativa dell'Unione europea per il programma spaziale](#), avente sede a Praga. La sua missione principale è attuare il programma spaziale dell'UE e fornire servizi spaziali affidabili e sicuri, massimizzandone i benefici socioeconomici per la società e le imprese europee.

In relazione alle attività di Galileo ed EGNOS, i compiti principali dell'EUSPA consistono nel garantire l'**accreditamento di sicurezza** di tali sistemi e nell'intraprendere attività di **comunicazione, sviluppo del mercato** e promozione relative ai loro servizi. I compiti affidati all'EUSPA consistono nella **gestione della fase operativa di EGNOS e Galileo** e nelle attività di attuazione relative allo **sviluppo delle applicazioni downstream** sulla base dei dati e dei servizi forniti da Galileo ed EGNOS.

L'EUSPA ha sede a Praga (Repubblica ceca).

Agenzia spaziale europea (ESA)

L'[Agenzia spaziale europea \(ESA\)](#) è un'organizzazione internazionale con 22 Stati membri e accordi formali di cooperazione con tutti gli Stati membri dell'Unione europea che non sono membri dell'ESA. Scopo dell'ESA è fornire e promuovere, per fini esclusivamente pacifici, la cooperazione tra gli Stati europei in relazione alla ricerca spaziale e alle tecnologie spaziali e alle loro applicazioni spaziali, affinché siano utilizzate per fini scientifici e per sistemi di applicazioni spaziali operative.

Per quanto concerne Galileo ed EGNOS, all'ESA sono stati affidati i compiti relativi **all'evoluzione e alla progettazione dei sistemi e allo sviluppo** di parti del segmento terrestre e dei satelliti, comprese le attività di prova e di convalida e quelle di **ricerca e sviluppo a monte** nei settori di competenza dell'ESA.

Parallelamente ai lavori dell'ESA in relazione a Galileo ed EGNOS, l'ESA sta conducendo diversi programmi di ricerca e sviluppo destinati a preparare la tecnologia dei principali sistemi e le corrispondenti applicazioni. I due principali programmi dell'ESA in questo settore relativi ai servizi PNT sono il [programma europeo di evoluzione del GNSS \(EGEP, European GNSS Evolution Programme\)](#) e il [programma di sostegno e innovazione in materia di navigazione \(NAVISP, Navigation Innovation and Support Programme\)](#).

La sede dell'ESA è situata a Parigi (Francia).

Agenzia europea per la sicurezza aerea (EASA)

Costituita da 31 Stati membri (i 27 Stati membri dell'Unione europea più Svizzera, Norvegia, Islanda e Liechtenstein), l'[Agenzia europea per la sicurezza aerea \(EASA\)](#) è un'agenzia dell'Unione europea cui sono stati affidati specifici **compiti normativi ed esecutivi** nel settore della **sicurezza aerea**.

La **missione** dell'AESA consiste nel promuovere le **norme comuni più elevate in termini di sicurezza e protezione dell'ambiente** nell'aviazione civile. L'AESA elabora norme comuni in materia di sicurezza e ambiente a livello europeo e fornisce assistenza alla Commissione europea in relazione alle misure per l'attuazione di tali norme, oltre a fornirle il sostegno tecnico, scientifico e amministrativo necessario per lo svolgimento dei suoi compiti. L'AESA monitora anche l'attuazione delle norme attraverso ispezioni presso gli Stati membri e fornisce le competenze tecniche, la formazione e le attività di ricerca necessarie.

L'AESA ha sede a Colonia (Germania).

EUROCONTROL

[EUROCONTROL](#) è un'organizzazione internazionale paneuropea civile-militare dedicata a **fornire sostegno all'aviazione europea**, che opera a favore di una gestione del traffico aereo paneuropea senza soluzione di continuità. Dispone di 41 Stati membri aventi **competenze europee fondamentali in materia di gestione del traffico aereo (ATM)**, che guidano e sostengono i miglioramenti della gestione del traffico aereo in tutta Europa. Tra le sue attività, EUROCONTROL sostiene la Commissione europea, l'AESA e le autorità nazionali di controllo nelle loro attività di regolamentazione, anche per l'attuazione delle tecnologie GNSS.

EUROCONTROL ha sede a Bruxelles (Belgio).

Impresa comune SESAR (SESAR JU)

L'[impresa comune SESAR \(SJU\)](#) è stata istituita come partenariato pubblico-privato a norma del [regolamento \(CE\) n. 219/2007 del Consiglio](#). Il [regolamento \(UE\) 2021/2085 del Consiglio](#) ha segnato l'avvio ufficiale delle attività dell'impresa comune SESAR 3 (SESAR 3 JU) che riunisce l'**UE, Eurocontrol e oltre 50 organizzazioni dell'aviazione** (civili e militari, prestatori di servizi di navigazione aerea, aeroporti, fabbricanti di apparecchiature, autorità e la comunità scientifica).

L'**impresa comune SESAR è competente per la modernizzazione del sistema europeo di gestione del traffico aereo** coordinando tutti gli sforzi di ricerca e innovazione in materia di gestione del traffico aereo nell'UE. L'impresa comune SESAR è competente per l'attuazione del [piano generale ATM europeo](#) e lo svolgimento di attività specifiche volte a sviluppare un sistema ATM di nuova generazione in grado di garantire un trasporto aereo europeo sicuro, ecologico e fluido nei prossimi trent'anni. Tra il 2022 e il 2030 l'impresa comune SESAR 3 investirà più di 1,6 miliardi di EUR al fine di accelerare, attraverso la ricerca e l'innovazione, la realizzazione di un cielo europeo digitalizzato inclusivo, resiliente e sostenibile.

L'impresa comune SESAR ha sede a Bruxelles (Belgio).

Agenzia europea per la sicurezza marittima (EMSA)

L'[Agenzia europea per la sicurezza marittima \(EMSA\)](#) fornisce assistenza tecnica e sostegno alla Commissione europea e agli Stati membri, all'Islanda e alla Norvegia nello **sviluppo e nell'attuazione della legislazione dell'UE in materia di sicurezza marittima**, inquinamento causato da navi, impianti per l'estrazione di idrocarburi e di gas, intervento contro l'inquinamento da idrocarburi, sicurezza delle navi e dei porti, monitoraggio delle navi e identificazione e tracciamento a lungo raggio delle navi.

L'EMSA **garantisce la verifica e il monitoraggio dell'attuazione della legislazione e delle norme dell'UE**. L'Agenzia fornisce assistenza tecnica e consulenza scientifica in merito a questioni relative alle norme di sicurezza delle navi e sostiene lo sviluppo di capacità fornendo competenze, formazione e attività di ricerca, cooperazione e strumenti. L'EMSA partecipa inoltre alla diffusione delle migliori pratiche e alla promozione

di trasporti marittimi sostenibili, comprese l'attuazione e l'applicazione della legislazione internazionale e dell'UE esistente o proposta, e **collabora con numerosi portatori di interessi del settore e organismi pubblici**, in stretta collaborazione con la Commissione europea e gli Stati membri.

L'EMSA ha sede a Lisbona (Portogallo).

Agenzia dell'Unione europea per le ferrovie (ERA)

La missione dell'[Agenzia dell'Unione europea per le ferrovie \(ERA\)](#) è guidare l'Europa verso un sistema ferroviario sostenibile e sicuro senza frontiere. Per conseguire tale risultato l'**ERA contribuisce sul piano tecnico all'attuazione della normativa dell'Unione europea** con l'obiettivo di migliorare la posizione concorrenziale del settore ferroviario **potenziando il livello di interoperabilità dei sistemi ferroviari** e di sviluppare un approccio comune in materia di sicurezza del sistema ferroviario europeo e di contribuire alla creazione di uno spazio ferroviario europeo unico senza frontiere, **in grado di garantire un elevato livello di sicurezza**.

I sistemi di navigazione e posizionamento dei treni basati su applicazioni satellitari costituiscono componenti future del sottosistema ferroviario di controllo, comando e segnalamento. Di conseguenza l'ERA sta definendo le norme per la loro approvazione, in collaborazione con sperimentazioni condotte da operatori ferroviari e in considerazione dello sviluppo del sistema, che si svolge sotto l'egida dell'impresa comune [Shift2Rail](#), cui l'ERA è associata, quale prima iniziativa ferroviaria europea impegnata a cercare tanto soluzioni generate dalle attività di ricerca e innovazione quanto soluzioni trainate dal mercato, accelerando l'integrazione di tecnologie nuove e avanzate in soluzioni innovative di prodotti ferroviari.

L'ERA ha sede a Valenciennes e a Lille (entrambe in Francia).

Forum europeo sulla radionavigazione marittima (EMRF, European Maritime Radionavigation Forum)

Il Forum europeo sulla radionavigazione marittima (EMRF) **rappresenta gli interessi marittimi in Europa e fornisce un contributo di esperti alla politica europea** in materia di sicurezza della navigazione e questioni correlate.

L'EMRF riunisce diversi organismi, dalle amministrazioni marittime alle organizzazioni degli armatori, per concentrarsi sul coordinamento degli **interessi marittimi europei nel settore dei sistemi di radionavigazione** per lo sviluppo in Europa. In particolare, per i sistemi globali di navigazione satellitare vi sono diverse attività nell'ambito dell'EMRF volte ad affrontare la questione relative all'uso di GNSS, in particolare i miglioramenti del posizionamento e le relative procedure che Galileo ed EGNOS possono introdurre nel settore marittimo.

Uno dei suoi obiettivi principali consiste nel promuovere i **requisiti marittimi per la valutazione della sicurezza e la certificazione dei futuri sistemi satellitari**, i loro sistemi di potenziamento e di backup, nonché sviluppare materiale per ottenere il riconoscimento e l'approvazione operativa di tali sistemi nell'ambito del sistema di radionavigazione mondiale dell'IMO.

Stati membri

Cuore pulsante dell'UE sono i suoi [27 Stati membri](#) e i loro cittadini. La particolarità dell'UE è data dal fatto che i paesi che ne fanno parte, pur rimanendo Stati sovrani e indipendenti, mettono in comune una parte della loro "sovranità" nei settori nei quali ciò apporta un valore aggiunto.

Il ruolo degli Stati membri nei servizi PNT comprende il sostegno e la partecipazione allo sviluppo e all'attuazione della regolamentazione, delle politiche e delle azioni connesse ai servizi PNT, il coordinamento con gli altri Stati membri e le istituzioni dell'UE e il contributo allo sviluppo di nuove tecnologie e applicazioni PNT.

Gli Stati membri sono coinvolti nei servizi PTN nel contesto di prospettive diverse:

- principali utilizzatori del servizio pubblico regolamentato di Galileo e autorità per le attività di ricerca e salvataggio;
- agenzie spaziali nazionali che sono fondamentali per i programmi GNSS europei;
- agenzie nazionali per lo spettro che gestiscono lo spettro a radiofrequenza, garantendo il coordinamento e l'intervento in caso di incidenti di interferenza di radiofrequenza;
- ministeri dei Trasporti che sostengono e controllano l'uso delle applicazioni GNSS di sicurezza della vita in diversi settori, quali quello dell'aviazione e quello marittimo.

Infine, gli Stati membri sostengono la gestione delle emergenze in caso di gravi incidenti di interferenza di radiofrequenza o interruzioni di GNSS, il che è fondamentale per il coordinamento tra i portatori di interessi.

Altri portatori di interessi

I seguenti portatori di interessi sono anch'essi pertinenti in relazione ai servizi PNT:

- [l'Agenzia europea per la difesa \(AED\)](#);
- [l'Organizzazione dell'aviazione civile internazionale \(ICAO\)](#);
- [l'Organizzazione marittima internazionale \(IMO\)](#);
- [l'Associazione internazionale degli aiuti per la navigazione e delle autorità di segnalazione marittima \(IALA\)](#);

9 APPENDICE E. Quadri di riferimento dell'UE

Il **posizionamento GNSS è sostenuto dal sistema di riferimento terrestre** (con basi matematiche e fisiche per la sua definizione e le sue proprietà) e **dal quadro di riferimento terrestre** (una realizzazione numerica del sistema di riferimento terrestre). Il più utilizzato è [il quadro di riferimento terrestre internazionale \(ITRF\)](#), fondamentale per il monitoraggio continuo del movimento delle placche tettoniche terrestri (1,5 cm/anno per la maggior parte dell'Europa) o del livello medio del mare utilizzando stazioni di riferimento a funzionamento continuo (CORS), che localizzano in modo permanente i ricevitori GNSS.

Per secoli, ciascun paese ha mantenuto la propria griglia locale e la propria trasformazione cartografica (ossia la migliore corrispondenza tra le mappe 2D del paese in un ellissoide globale), con l'obiettivo di ridurre gli errori di trasformazione attraverso il fattore di scala variabile. Tali griglie nazionali sono state fisicamente stabilite utilizzando punti trigonometrici. Attualmente i **servizi di mappatura dei paesi** si stanno allontanando dall'approccio classico e **stanno utilizzando ampiamente l'[TK di rete](#)**, mantenuta attraverso una rete di CORS e quindi basata su GNSS.

Si prevede che questa tendenza a utilizzare i GNSS come riferimento globale si propagherà a tutti gli aspetti dei servizi PNT, in particolare alla luce del previsto aumento dei futuri servizi PNT a precisione elevata. Poiché l'approccio basato sui fattori di scala è soggetto ad errori antropici, anche le opere di mappatura e di ingegneria terrestre si stanno spostando dalle reti nazionali alle reti locali fornite da GNSS (di solito utilizzando la [trasformazione di Helmert](#)).

La presente appendice elenca i quadri di riferimento terrestre più importanti dal punto di vista europeo e fornisce semplici orientamenti sulle migliori pratiche concernenti il loro utilizzo.

Quadri di riferimento

Il [sistema di riferimento terrestre internazionale \(ITRS\)](#) è stato sviluppato dalla comunità geodetica sotto l'egida del [Servizio internazionale per la rotazione terrestre e i sistemi di riferimento \(IERS, *International Earth Rotation and Reference Systems Service*\)](#). La sua realizzazione più precisa è il [quadro di riferimento terrestre internazionale \(ITRF\)](#), che in realtà consiste in una serie di versioni migliorate dell'ITRF stesso. L'ultima versione è l'ITRF2020, anche se alcuni ITRF precedenti (solitamente non antecedenti all'ITRF2000) possono comunque essere ancora in uso. La [trasformazione tra i quadri è possibile](#) se sono noti la definizione e le epoche di entrambi i quadri. Mentre i quadri precedenti sono cambiati fino al livello dei decimetri rispetto all'ITRF94 (dall'ITRF2005 per la componente in altezza), le differenze sono a livello di millimetri. L'effetto maggiore, affrontato dall'epoca della sua istituzione, è il movimento delle placche tettoniche.

Galileo utilizza il [quadro di riferimento terrestre Galileo \(GTRF\)](#), realizzato dal [fornitore di servizi geografici di Galileo](#) e gestito dal 2018 dall'operatore di servizi Galileo (GSOp). L'ultima soluzione GTRF ([GTRF19v01](#)) è allineata rispetto all'ITRF2014 con una precisione a livello di millimetri. Anche altri sistemi GNSS hanno adottato un riferimento all'ITRF e tutti sono attualmente riferiti all'ITRF2014.

L'[ETRS89 \(il sistema di riferimento terrestre europeo del 1989\)](#) si basa sull'ITRF89, epoca 1989.0 ed è monitorato da una rete di circa 250 stazioni di tracciamento GNSS permanenti, nota come [rete permanente EUREF](#). Poiché l'ETRS89 è mantenuto fissato all'epoca 1989.0, l'ETRS89 e l'ITRS divergono in ragione della deriva continentale europea (circa 2,5 cm l'anno). All'inizio del 2023 la differenza superava gli 80 cm.

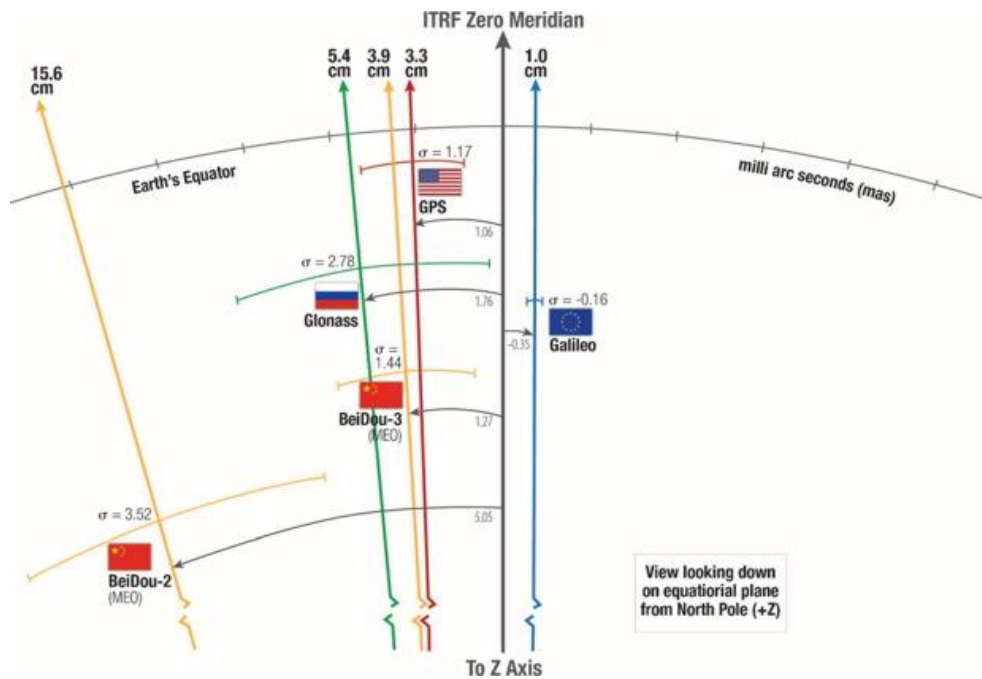


Figura 66 - Confronto di un primo meridiano, come realizzato dal quadro di riferimento terrestre GNSS, rispetto al meridiano zero IGS14 (Crediti: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117720308292>)

Maggiori informazioni sui quadri di riferimento, sulle trasformazioni e sui prodotti IGS sono riportate nelle seguenti pubblicazioni:

- P. Teunissen e O. Montenbruck, *Springer handbook of global navigation satellite systems*. Springer International Publishing, 2017;
- Y. J. Morton, F. S. T. Van Diggelen, J. J. Spilker e B. W. Parkinson (editori), *Position, navigation, and timing technologies in the 21st century: Integrated satellite navigation, sensor systems, and civil applications*, Prima edizione. Hoboken: Wiley/IEEE Press, 2021.

Migliori pratiche

In considerazione di quanto precede, come regola generale, **tutte le coordinate dovrebbero essere riferite a un ITRF specifico**, all'epoca dell'istituzione specifica. Per la maggior parte dell'Europa continentale, l'ETRS89 costituisce la sostituzione perfetta. In talune aree caratterizzate da un'accresciuta attività tettonica, quali la Grecia, la trasformazione richiede velocità note dei siti. Ciò esclude qualsiasi discontinuità dovuta a terremoti (i punti devono essere ripristinati).

Nel caso di un sistema basato su GNSS, è opportuno rilevare che i quadri di riferimento NRTK e PPP tendono a differire. In Europa, la maggior parte delle CORS NRTK è definita nell'ETRF89, così come avviene per le coordinate finali. Per il PPP il quadro di riferimento terrestre sarà definito dal datum delle correzioni, solitamente l'ITRF più recente. Analogamente, il quadro di riferimento EGNOS è determinato dalle coordinate geodetiche delle stazioni EGNOS (stazioni EGNOS di determinazione della distanza e di monitoraggio dell'integrità) stabilite nell'[ITRF2000](#).

Nel caso dei sistemi terrestri, soltanto le installazioni su piccola scala (inferiori a 10 km²) e all'interno di ambienti chiusi dovrebbero utilizzare l'implementazione della rete locale, a condizione che le coordinate siano collegate all'ETRF (ITRF, inclusa l'epoca di trasformazione). Si suggeriscono le reti locali fornite da GNSS attraverso la [trasformazione di Helmert](#).

Per una maggiore diffusione, l'ETRF/ITRF dovrebbero essere utilizzati direttamente. È opportuno notare che l'uso delle coordinate globali non è intuitivo (la distanza latitudine/longitudine varia in funzione della longitudine e la componente cartesiana dell'altezza XYZ è difficile da leggere), di conseguenza si utilizzeranno probabilmente le coordinate locali per la visualizzazione (ma non per il sistema sottostante).

10 APPENDICE F. ACRONIMI

La tabella che segue riporta l'elenco degli acronimi.

ABAS	Sistema di potenziamento basato su aeromobili (<i>Aircraft Based Augmentation System</i>)	DGNSS/DGPS	Sistema globale di navigazione satellitare/sistema di posizionamento globale differenziale (<i>Differential Global Navigation Satellite System/Global Positioning System</i>)
ACAS	CAS assistito	CNS	Comunicazione, navigazione e sorveglianza
ACB	Analisi costi-benefici	COG	Rotta vera effettiva (<i>Course Over Ground</i>)
ADS-B	Trasmissione di sorveglianza dipendente automatica (<i>Automatic Dependant Surveillance Broadcast</i>)	DFMC	Multicostellazione a doppia frequenza (<i>Dual-Frequency Multi-Constellation</i>)
AESA	Agenzia europea per la sicurezza aerea	DOP	Diluizione della precisione (<i>Dilution of Precision</i>)
AIS	Sistema di identificazione automatica (<i>Automatic Identification System</i>)	EDAS	Servizio di accesso dati EGNOS (<i>EGNOS Data Access Service</i>)
ARAIM	Controllo autonomo dell'integrità avanzato con ricevitore (<i>Advanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring</i>)	EGNOS	Servizio europeo di copertura per la navigazione geostazionaria (<i>European Geostationary Navigation Overlay Service</i>)
ASF	Fattore secondario aggiuntivo (<i>Additional Secondary Factor</i>)	EMRF	Forum europeo per la radionavigazione marittima (<i>European Maritime Radio Navigation Forum</i>)
ATC	Controllo del traffico aereo (<i>Air Traffic Control</i>)	ERA	Agenzia ferroviaria europea (<i>European Railway Agency</i>)
ATM	Gestione del traffico aereo (<i>Air Traffic Management</i>)	ERNP	Piano europeo di radionavigazione (<i>European Radio Navigation Plan</i>)
AtoN	Ausili alla navigazione (<i>Aids to Navigation</i>)	ERTMS	Sistema europeo di gestione del traffico ferroviario (<i>European Railway Traffic Management System</i>)
BVLOS	Oltre la distanza di visibilità (<i>Beyond Visual Line Of Sight</i>)	ESA	Agenzia spaziale europea
CAS	Servizio commerciale di autenticazione (<i>Commercial Authentication Service</i>)	ETCS	Sistema europeo di controllo dei treni (<i>European Train Control System</i>)
CDMA	Accesso multiplo a divisione di codice (<i>Code Division Multiple Access</i>)	ETSI	Istituto europeo delle norme di telecomunicazione
CE	Commissione europea	EUSPA	Agenzia dell'Unione europea per il programma spaziale
CER	Comunità delle ferrovie europee (<i>Community of European Railway</i>)	FAA	Autorità federale dell'aviazione (<i>Federal Aviation Authority</i>) - Stati Uniti
CNI	Infrastruttura critica nazionale (<i>Critical National Infrastructure</i>)		

FCC	Commissione federale delle telecomunicazioni (<i>Federal Communications Commission</i>) - Stati Uniti	IALA	Associazione internazionale degli aiuti per la navigazione e delle autorità di segnalazione marittima (<i>International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities</i>)
FDMA	Accesso multiplo a divisione di frequenza (<i>Frequency Division Multiple Access</i>)	ICAO	Organizzazione dell'aviazione civile internazionale (<i>International Civil Aviation Organization</i>)
FOC	Piena capacità operativa (<i>Full Operation Capability</i>)	ICG	Comitato internazionale del GNSS (<i>International Committee on GNSS</i>)
G2G	Galileo di seconda generazione (<i>Galileo 2nd Generation</i>)	IEC	Commissione elettrotecnica internazionale (<i>International Electrotechnical Commission</i>)
GBAS	Sistema di potenziamento a terra (<i>Ground-Based Augmentation System</i>)	IGS	Servizio GNSS internazionale (<i>International GNSS Service</i>)
GEO	Orbita terrestre geostazionaria (<i>Geostationary Earth Orbit</i>)	IMO	Organizzazione marittima internazionale (<i>International Maritime Organization</i>)
GIVE	Errore verticale ionosferico di rete (<i>Grid Ionospheric Vertical Error</i>)	IMU	Unità di misura inerziale (<i>Inertial Measurement Unit</i>)
GLA	Autorità generali per la segnalazione marittima (<i>General Lighthouse Authorities</i>) di Regno Unito e Irlanda	IoT	Internet delle cose
GLONASS	Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema	ISM	Messaggio di supporto dell'integrità (<i>Integrity Support Message</i>)
GMDSS	Sistema mondiale di sicurezza e soccorso in mare (<i>Global Maritime Distress and Safety System</i>)	ITS	Sistemi di trasporto intelligenti (<i>Intelligent Transportation Systems</i>)
GNSS	Sistema globale di navigazione satellitare (<i>Global Navigation Satellite System</i>)	ITU	Unione internazionale delle telecomunicazioni (<i>International Telecommunication Union</i>)
GPS	Sistema di posizionamento globale (Global Positioning System)	JRC	Centro comune di ricerca (<i>Joint Research Centre</i>)
GSC	Centro servizi GNSS (<i>GNSS Service Centre</i>)	LBS	Servizi basati sulla localizzazione (<i>Location Based Service</i>)
GSS	Stazione di ricezione Galileo (<i>Galileo Sensor Station</i>)	LEO	Orbita terrestre bassa (<i>Low Earth Orbit</i>)
HAL	Limite di allerta orizzontale (<i>Horizon Alert Limit</i>)	LIDAR	Radar laser
HAS	Servizio ad alta precisione (<i>High Accuracy Service</i>)	MEO	Orbita terrestre media (<i>Medium Earth Orbit</i>)
HMI	Informazioni pericolosamente fuorvianti (<i>Hazardously Misleading Information</i>)	MFMC	Multicostellazione multifrequenza (<i>Multi-Frequency Multi-Constellation</i>)
HPL	Livello di protezione orizzontale		

MOPS	Livelli minimi di prestazione operativa (<i>Minimum Operational Performance Standard</i>)	RPAS	Sistema aereo a pilotaggio remoto (<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>)
MSF	Comitato per la sicurezza marittima (<i>Maritime Safety Committee</i>)	RTCA	Commissione tecnica per le radio aeronautiche (<i>Radio Technical Commission for Aeronautics</i>)
MSI	Servizio di informazione per la sicurezza marittima (<i>Maritime Safety Information Service</i>)	RTCM	Commissione tecnica per le radio marittime (<i>Radio Technical Commission Maritime</i>)
NLOS	Fuori della portata visiva (<i>Non-line of Sight</i>)	RTK	Cinematica in tempo reale (<i>Real Time Kinematic</i>)
NMI	Istituto metrologico nazionale (<i>National metrology institute</i>)	SAR	Ricerca e salvataggio (<i>Search and Rescue</i>)
OS	Servizio aperto (<i>Open Service</i>)	SARP	Norme e procedure raccomandate (<i>Standards and Recommended Practices</i>)
OSNMA	Autenticazione dei messaggi di navigazione del servizio aperto	SAS	Servizio di autenticazione del segnale (<i>Signal Authentication Service</i>)
PBN	Navigazione basata sulle prestazioni (<i>Performance Based Navigation</i>)	SBAS	Sistemi di potenziamento basati su satelliti (<i>Satellite Based Augmentation Systems</i>)
PNT	Posizionamento, navigazione e sincronizzazione (<i>Position, Navigation, and Timing</i>)	SDD	Documento di definizione del servizio
PPP	Posizionamento a punto preciso (<i>Precise Point Positioning</i>)	SES	Cielo unico europeo (<i>Single European Sky</i>)
PRS	Servizio pubblico regolamentato (<i>Public Regulated Service</i>)	SESAR	Ricerca ATM nel cielo unico europeo (<i>Single European Sky ATM Research</i>)
PVT	Posizione, velocità e ora	SIG	Sistema di informazione geografica
QZSS	Sistema satellitare Quasi-Zenith	SIS	Segnale nello spazio (<i>Signal in Space</i>)
RAIM	Controllo autonomo dell'integrità con ricevitore (<i>Receiver Autonomous Integrity Monitoring</i>)	SOG	Velocità effettiva (<i>Speed Over Ground</i>)
RF	Radiofrequenza	SoL/SOL	Sicurezza della vita (<i>Safety of Life</i>)
RFI	Interferenza di radiofrequenza (<i>Radio Frequency Interference</i>)	SOLAS	Salvaguardia della vita umana in mare (<i>Safety Of Life At Sea</i>)
RIMS	Stazioni di monitoraggio dell'integrità di riferimento (<i>Reference Integrity Monitoring Stations</i>)	SPP	Posizionamento a punto singolo (<i>Single Point Positioning</i>)
RLS	Servizio di collegamento di ritorno (<i>Return Link Service</i>)	SSR	Rappresentazione a spazio degli stati (<i>State Space Representation</i>)
RNP	Prestazioni di navigazione richieste (<i>Required navigation performance</i>)	STI	Specifica tecnica di interoperabilità
STL	Ora e ubicazione satellitari		

TEC	Contenuto totale di elettroni (<i>Total Electron Content</i>)	UTC	Tempo universale coordinato
TOA	Ora di arrivo (<i>Time of Arrival</i>)	VAL	Limite di allerta verticale (<i>Vertical Alert Limit</i>)
TTA	Intervallo di tempo fino all'allarme (<i>Time To Alarm</i>)	VDES	Sistema di scambio di dati ad altissima frequenza (<i>VHF Data Exchange System</i>)
TTFF	Tempo per la prima determinazione della posizione (<i>Time to First Fix</i>)	WAAS	Sistema di potenziamento a copertura allargata (<i>Wide Area Augmentation System</i>)
UAM	Mobilità aerea urbana	WWRNS	Sistema di radionavigazione mondiale (<i>World-Wide Radionavigation System</i>)
UAS	Sistema aeromobile senza equipaggio (<i>Unmanned Aircraft System</i>)		