

# POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale e dell'Informazione  
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Aerospaziali

Corso di Laurea in Ingegneria Aeronautica



## L'impiego del sistema EGNOS European Geostationary Navigation Overlay Service

Relatore: Prof. Cesare CARDANI

Tesi di Laurea di:  
Lorenzo BARCHIELLI  
Matr. 770783

Anno Accademico 2014/2015



# Indice

<b>1</b>	<b>LISTA DEGLI ACRONIMI .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS.....</b>	<b>12</b>
3.1	CONCETTI GENERALI .....	12
3.1.1	<i>Principio di funzionamento.....</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>Prestazioni .....</i>	<i>12</i>
3.1.3	<i>Errori .....</i>	<i>14</i>
3.2	GLOBAL POSITIONING SYSTEM.....	15
3.2.1	<i>Architettura .....</i>	<i>15</i>
3.2.1.1	Segmento Spaziale.....	15
3.2.1.2	Signal In Space (SIS) .....	15
3.2.1.3	Segmento terrestre.....	17
3.2.1.4	Segmento utenza.....	18
3.2.2	<i>Servizi e prestazioni.....</i>	<i>18</i>
3.3	GALILEO .....	21
3.3.1	<i>Architettura .....</i>	<i>21</i>
3.3.1.1	Segmento spaziale.....	21
3.3.1.2	Signal in space .....	21
3.3.1.3	Segmento terrestre.....	22
3.3.1.4	Segmento utenza.....	22
3.3.2	<i>Servizi e prestazioni.....</i>	<i>23</i>
3.4	GLONASS.....	25
<b>4</b>	<b>MIGLIORAMENTO DEI GNSS .....</b>	<b>27</b>
4.1	SISTEMI SBAS .....	28
4.1.1	<i>Wide Area Augmentation System .....</i>	<i>28</i>
4.1.1.1	<i>Architettura .....</i>	<i>29</i>
4.1.1.1.1	Segmento spaziale.....	29
4.1.1.1.2	Signal In Space.....	29
4.1.1.1.3	Segmento terrestre .....	29

4.1.1.1.4	Segmento utenza.....	30
4.1.1.2	Servizi e prestazioni .....	30
4.1.2	<i>MTSAT Satellite Augmentation System</i> .....	34
4.1.3	<i>EGNOS</i> .....	36
4.1.3.1	Architettura di EGNOS .....	36
4.1.3.1.1	Segmento spaziale.....	36
4.1.3.1.2	Signal in Space.....	36
4.1.3.1.3	Segmento terrestre .....	37
4.1.3.1.3.1	Ranging Integrity Monitoring Stations (RIMS) .....	38
4.1.3.1.3.2	Mission Control Center (MCC).....	38
4.1.3.1.3.3	Central Processing Facility (CPF).....	39
4.1.3.1.3.4	Central Control Facility (CCF).....	39
4.1.3.1.3.5	Navigation Land Earth Stations (NLES).....	39
4.1.3.1.3.6	Altri elementi del segmento terrestre .....	40
4.1.3.1.4	Segmento Utenza .....	40
4.1.3.2	Servizi e prestazioni .....	40
4.1.3.2.1	Open service .....	40
4.1.3.2.2	Safety Of Life .....	44
4.1.3.2.3	EGNOS Data Access Service .....	52
4.1.3.3	Evoluzione .....	53
4.1.3.3.1	Open Service .....	54
4.1.3.3.2	Safety Of Life .....	54
4.1.3.3.3	EDAS .....	55
4.1.3.3.4	EGNOS v.3 .....	55
4.1.3.4	Applicazioni .....	56
4.1.3.4.1	Location Based Services.....	57
4.1.3.4.2	Trasporto stradale .....	57
4.1.3.4.3	Trasporto ferroviario.....	59
4.1.3.4.4	Trasporto navale.....	60
4.1.3.4.5	Agricoltura .....	64
4.1.3.4.6	Rilevazioni geodetiche e topografiche.....	64
4.1.3.4.7	Determinazione del tempo .....	65

4.1.3.4.8	Trasporto aereo.....	66
4.1.3.4.9	Situazione attuale.....	68
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>SITOGRAFIA .....</b>	<b>79</b>

## Indice delle figure

<i>Figura 3.1: Segmento terrestre del GPS .....</i>	18
<i>Figura 3.2: Segmento terrestre di GALILEO .....</i>	22
<i>Figura 4.1: Area di disponibilità del servizio WAAS .....</i>	30
<i>Figura 4.2: Segmento terrestre di EGNOS .....</i>	38
<i>Figura 4.3: Evoluzione dell'area di copertura del servizio EGNOS OS nei Service Definition Document 1.1 e 2.0. ....</i>	42
<i>Figura 4.4: Area di copertura del servizio EGNOS OS (in rosso) .....</i>	45
<i>Figura 4.5: Disponibilità di EGNOS SoL classe 1 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015 .....</i>	47
<i>Figura 4.6: Continuità di EGNOS SoL classe 1 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015.....</i>	48
<i>Figura 4.7: Disponibilità di EGNOS SoL classe 3 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015 .....</i>	50
<i>Figura 4.8: Disponibilità di EGNOS SoL classe 3 da marzo 2014 ad aprile 2015.....</i>	50
<i>Figura 4.9: Continuità di EGNOS SoL classe 3 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015.....</i>	51
<i>Figura 4.10: Procedure LPV pubblicate negli Stati Uniti.....</i>	72

## Indice delle tabelle

<i>Tabella 3.1: Prestazioni di accuratezza del GPS SPS SIS .....</i>	19
<i>Tabella 3.2: Prestazioni di integrità del GPS SPS SIS.....</i>	19
<i>Tabella 3.3: Prestazioni di continuità del GPS SPS SIS .....</i>	20
<i>Tabella 3.4: Prestazioni di accuratezza del GPS SPS.....</i>	20
<i>Tabella 3.5: Prestazioni di disponibilità del GPS SPS .....</i>	20
<i>Tabella 3.6: Requisiti di prestazione dei servizi GALILEO.....</i>	24

<i>Tabella 4.1: Prestazioni dei servizi MDGPS e NDGPS .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabella 4.2: Prestazioni del LAAS .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabella 4.3: Requisiti di prestazione del WAAS SIS.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabella 4.4: Prestazioni misurate del WAAS SIS, servizio LPV 200 .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabella 4.5: Prestazioni minime del sistema MSAS (classe 1).....</i>	<i>34</i>
<i>Tabella 4.6: Prestazioni osservate del sistema MSAS.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabella 4.7: Lista dei messaggi del Signal-In-Space EGNOS .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabella 4.8: Requisiti di prestazioni del servizio EGNOS OS.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabella 4.9: Prestazioni annuali del servizio EGNOS OS.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 4.10: Requisiti di prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 1 .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabella 4.11: Requisiti di prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 3 .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabella 4.12: Prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 1.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabella 4.13: Prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 3.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabella 4.14: Requisiti di prestazioni del servizio EGNOS EDAS.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabella 4.15: Prestazioni del servizio EGNOS EDAS da aprile 2014 a marzo 2015.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabella 4.16: Prestazioni del servizio EGNOS EDAS nel mese di luglio 2015 .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabella 4.17: Requisiti di prestazioni per il servizio SoL LPV 200 .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabella 4.18: Caratteristiche servizio per l'emissione di NOTAM.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabella 4.19: Valore aggiunto offerto da EGNOS in vari campi di applicazione .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabella 4.20: Prestazioni del sistema LCS che riceve GPS/EGNOS OS+EDAS rispetto a GPS/EGNOS e GPS.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabella 4.21: Requisiti indicativi di accuratezza per il trasporto terrestre.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabella 4.22: Requisiti indicativi di accuratezza per il trasporto ferroviario.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabella 4.23: Requisiti per la navigazione in acque oceaniche.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabella 4.24: Requisiti per la navigazione in acque costiere .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabella 4.25: Requisiti per l'avvicinamento ai porti .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 4.26: Requisiti per la navigazione portuale .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 4.27: Requisiti per la navigazione nelle acque interne.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabella 4.28: Valore aggiunto da EGNOS nella navigazione marina .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabella 4.29: Requisiti indicativi per le rilevazioni geodetiche e topografiche .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabella 4.30: Requisiti indicativi per la determinazione del tempo .....</i>	<i>66</i>
<i>Tabella 4.31: Totale degli utenti registrati al sito di supporto EGNOS .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabella 4.32: Procedure LPV basate su EGNOS pubblicate in Europa .....</i>	<i>71</i>

## **Indice dei grafici**

<i>Grafico 4.1: Categorie degli utenti registrati al sito di supporto dell'utenza EGNOS nel 2013.....</i>	<i>69</i>
<i>Grafico 4.2: Categorie degli utenti registrati al sito di supporto dell'utenza EGNOS nel 2014.....</i>	<i>69</i>
<i>Grafico 4.3: Categorie degli utenti registrati al sito di supporto dell'utenza EGNOS nel 2015.....</i>	<i>70</i>

## **1 Lista degli acronimi**

AIS: Automatic Identification System

AOD: Age Of Data

ARAIM: Advanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring

C/A: Coarse/Acquisition

CCF: Central Control Facility

CONUS: Contiguous United States

CPF: Central Processing Facility

CS: Commercial Service

DGPS: Differential Global Positioning System

DOP: Dilution Of Precision

EDAS: EGNOS Data Access Service

EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service

ESSP: European Satellite Services Provider

FAA: Federal Aviation Administration

FAR: Federal Aviation Regulation

FC: Fast Corrections

FDE: Fault Detection and Exclusion

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FOC: Full Operational Capability

GA: Ground Antenna

GAGAN: GPS Aided GEO Augmented Navigation

GBAS: Ground Based Augmentation System

GCC: Ground Control Center

GCS: GALILEO Control System



GEO: Geosynchronous Earth Orbit

GIOVE: GALILEO In Orbit Validation Element

GIS: Geographic information System

GIVE: Grid Ionospheric Vertical Error

GLONASS: Global Navigation Satellite System (Federazione Russa)

GMS: Galileo Mission System

GNSS: Global Navigation Satellite System

GPS: Global Positioning System

GPST: GPS Time

GSA: European GNSS Agency

GSS: Galileo Sensor Station

HMI: Hazardously Misleading Information

HPE: Horizontal Position Error

HPL: Horizontal Protection Level

IAG: International Association of Geodesy

ICAO: International Civil Aviation Organization

IFR: Instrumental Flight Rules

IGP: Ionospheric Grid Points

IGS: International GNSS Service

IMO: International Maritime Organization

IOC: Initial Operational Capability

LAAS: Local Area Augmentation System

LBS: Location Based Services

LNAV: Lateral Navigation

LNAV/VNAV: Lateral/Vertical Navigation

LPV: Localizer Performance with Vertical Guidance

LTC: Long Term Corrections

MCC: Mission Control Center

MCS: Master Control Station

MDGPS: Maritime Differential GPS Service

MS: Monitor Station

MSAS: MTSAT Satellite Augmentation System

MTSAT: Multifunctional Transport Satellite

NDGPS: Nationwide Differential Global Positioning Service

NLES: Navigation Land Earth Stations

NOF: NOTAM Offices

NOTAM: Notice To Airmen

OS: Open Service

PHMI: Probability of Hazardously Misleading Information

PPS: Precise Positioning Service

PRN: Pseudo-Random Noise

PRS: Public Regulated Service

PS: Performance Standard

PTC: Positive Train Control

RAIM: Receiver Autonomous Integrity Monitoring

RIMS: Ranging Integrity Monitoring Stations

RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics

RTK: Real Time Kinematics

SA: Selective Availability

SAR: Search And Rescue

SBAS: Space Based Augmentation System

SDCM: Russian System of Differential Correction and Monitoring

SIS: Signal-In-Space

SoL: Safety of Life

SPS: Standard Positioning System

TDL: Track Defect Location

TOW: Time Of Week

TTA: Time To Alert

UDRE: User Differential Range Error

UERE: User Equivalent Range Error

UHF: Ultra High Frequency

ULS: Uplink Station

URE: User Range Error

USACE: U.S. Army Corp of Engineers

USCG: United States Coast Guard

UTC: Coordinated Universal Time

UTC OE: UTC Offset Error

VHF: Very High Frequency

VPE: Vertical Position Error

VPL: Vertical Protection Level

WAAS: Wide Area Augmentation System

WMS: WAAS Master Station

WRS: Wide-area Reference Station

## 2 Introduzione

L'European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) è un sistema per il miglioramento del segnale dei sistemi di navigazione satellitare dotato di un segmento spaziale, ossia un Satellite Based Augmentation System (SBAS). Insieme al sistema GALILEO, con il quale è destinato ad interfacciarsi, EGNOS rappresenta un pilastro del programma per lo sviluppo di un sistema europeo di navigazione satellitare, un settore di importanza strategica e in costante crescita.

EGNOS rappresenta uno sviluppo recente; l'inizio ufficiale delle operazioni è avvenuto nel 2009, ma solo nel 2011 è stato avviato il servizio per l'uso in operazioni safety-critical, permettendone l'introduzione nel settore aeronautico. Analogamente ad altri sistemi SBAS attualmente operativi il sistema è stato progettato principalmente per l'uso nel trasporto aereo, tuttavia l'offerta di una serie di servizi distinti fa sì che EGNOS sia ideale anche per applicazioni in molti altri campi.

Facendo parte di un settore in rapido sviluppo, EGNOS offre ampie potenzialità di crescita e sviluppo, e nel corso dei prossimi anni è prevista una costante evoluzione che ne migliorerà le prestazioni e porterà nel 2020 al rilascio di una nuova versione del sistema, EGNOS V.3.

Nelle seguenti pagine verrà fatta una descrizione delle caratteristiche del sistema, delle sue prestazioni e delle sue applicazioni. La prima parte vedrà un'introduzione ai sistemi Global Navigation Satellite Systems (GNSS), in particolare il GPS e GALILEO che rappresentano i sistemi migliorati attualmente o nel prossimo futuro da EGNOS, con un accenno al sistema GLONASS Russo. Nella seconda parte verranno presentati i sistemi di miglioramento del segnale GNSS, in particolare i sistemi SBAS attualmente in servizio, il Wide Area Augmentation System (WAAS) americano e il MTSAT Satellite Augmentation System (MSAS) giapponese. In seguito verrà analizzato il sistema EGNOS stesso, descrivendone l'architettura, i servizi offerti e le prestazioni raggiunte, l'evoluzione futura e le applicazioni possibili.

## 3 Global Navigation Satellite Systems

L'ICAO definisce Global Navigation Satellite System (GNSS) un sistema globale per la determinazione di posizione e tempo che include una o più costellazioni di satelliti, ricevitori su velivoli e sistemi di monitoraggio dell'integrità, migliorati quanto necessario per ottenere le performance di navigazione richieste per l'uso che se ne intende fare.

### 3.1 Concetti Generali

#### 3.1.1 Principio di funzionamento

Per la determinazione della posizione è necessaria la ricezione dei segnali da almeno quattro satelliti e la misura del tempo di trasmissione apparente da parte dei ricevitori. I satelliti trasmettono l'istante di trasmissione del segnale, grazie al quale, sapendo che la velocità di propagazione del segnale coincide con la velocità della luce e avendo la misura del tempo di ricezione del segnale da parte del ricevitore, è possibile ottenere la stima della distanza tra il satellite e l'utente, o pseudorange. Tuttavia la differenza tra il tempo segnato dall'orologio atomico dei satelliti e il meno preciso orologio al quarzo del ricevitore crea un'incertezza nella stima degli pseudorange e risulta in una nuova incognita, detta clock bias, che si aggiunge alle tre coordinate spaziali del ricevitore. Il ricevitore necessita quindi la ricezione dei segnali di almeno quattro satelliti per risolvere un sistema di quattro equazioni in quattro incognite dal quale si ricavano le tre coordinate spaziali dell'utente e il clock bias. Geometricamente il problema può essere interpretato come una trilaterazione; gli pseudorange contengono una componente ignota data dal clock bias, ma la differenza tra due pseudorange risulta costante. Il luogo dei punti con una differenza costante della distanza tra due punti corrisponde ad un iperboloide e la determinazione della posizione dell'utente corrisponde all'intersezione tra tre iperboloidi.

#### 3.1.2 Prestazioni

I quattro parametri principali che caratterizzano le prestazioni di un sistema GNSS sono:

**Accuratezza:** l'accuratezza della posizione stimata o misurata di un veicolo (aereo, terrestre o marino) in un dato istante è il grado di corrispondenza di tale stima con la reale posizione velocità e/o tempo del veicolo.

**Disponibilità:** la disponibilità di un sistema di navigazione è la percentuale di tempo in cui il servizio offerto è disponibile all'utenza entro l'area di copertura. La disponibilità del segnale è la percentuale di tempo per cui il segnale di navigazione trasmesso da fonti esterne è disponibile; è funzione sia delle caratteristiche tecniche delle antenne di trasmissione che delle caratteristiche ambientali.

**Continuità:** la continuità di un sistema di navigazione è la capacità del sistema nella sua interezza di compiere la sua funzione senza interruzioni secondo le condizioni di utilizzo definito. Nello specifico è la probabilità che le prestazioni del sistema siano mantenute durante tutta una fase di operazione, posto che il sistema fosse disponibile all'inizio di tale fase di operazione.

Integrità: l'integrità è la misura della fiducia che può essere riposta nelle informazioni di un sistema di navigazione. L'integrità include la capacità del sistema di offrire in tempo di allerta qualora il sistema non fosse disponibile per l'utenza.

Diversi sistemi di posizionamento offrono diverse definizioni di integrità.

Il sistema WAAS, un sistema di miglioramento del segnale satellitare, definisce l'integrità sulla base delle stime degli errori residui dopo l'applicazione delle correzioni differenziali. L'utente riceve lo User Differential Range Error (UDRE), che caratterizza l'errore residuo dopo l'applicazione delle Fast e Long Term Corrections e il Grid Ionospheric Vertical Error (GIVE), che caratterizza l'errore residuo dopo l'applicazione delle Ionospheric Grid Point Corrections.

L'integrità del sistema EGNOS, che appartiene alla stessa categoria del WAAS, si basa sulla presenza di una rete di stazioni a terra che raccoglie i dati dai satelliti GPS e calcola informazioni sull'integrità e le correzioni ai dati. Tali informazioni vengono quindi trasmesse ai satelliti EGNOS che provvedono a ritrasmetterle ai ricevitori dell'utenza, i quali usano i dati ricevuti per migliorare l'accuratezza della soluzione dei dati di navigazione.

Il concetto di integrità per EGNOS si basa sulla definizione di una serie di parametri:

Alert Limit, la tolleranza dell'errore che non può essere superato senza generare un'allerta, viene suddiviso in un Horizontal Alert Limit e Vertical Alert Limit specifici per le varie fasi di operazione.

Time To Alert (TTA), il più grande lasso di tempo accettabile tra l'istante in cui il sistema di navigazione va fuori dalla tolleranza fino al momento in cui l'utente riceve un allarme.

Integrity risk, la probabilità che l'errore di posizione sia maggiore dell'Alert Limit per l'operazione in corso e che l'utente non venga avvertito entro il Time to Alert.

Horizontal Protection Level (HPL), definito come il raggio di un cerchio posto sul piano orizzontale, il cui centro coincide con la posizione reale dell'utente, che descrive la regione entro la quale è certamente contenuta la posizione orizzontale indicata dal ricevitore.

Vertical Protection Level (VPL), che corrisponde a metà della lunghezza di un segmento posto sull'asse verticale il cui centro è posto sulla posizione reale dell'utente, che descrive la regione entro la quale è certamente contenuta la posizione verticale indicata dal ricevitore.

La condizione "out of tolerance" si riferisce ad un Horizontal Position Error (HPE) che supera l'Horizontal Protection Level o ad un Vertical Position Error (VPE) che supera il Vertical Protection Level.

Per determinare l'integrità del sistema il ricevitore calcola la soluzione dei dati di navigazione e, non potendo conoscere l'errore reale, fa uso dei Protection Levels, intesi come stime conservative dell'errore reale, considerato una funzione gaussiana. I Protection Levels vengono confrontati con gli Alert Limit per la fase di operazioni attuale e nel caso che almeno uno dei Protection Level superi il corrispondente Alert Limit il sistema diventa non disponibile, in caso contrario il sistema risulta disponibile; in entrambi i casi viene garantita la sicurezza dell'utente. Il sistema EGNOS è progettato in modo da rispettare i requisiti di integrità per operazioni di Approach Precision with Vertical Guidance I (APV-I), minimizzando la condizione "out of tolerance" per la

quale EGNOS non riesce a definire correttamente i limiti dell'errore, compromettendo la sicurezza dell'utente.

### 3.1.3 Errori

I sistemi GNSS possono essere affetti da una serie di errori che ne degradano la precisione, tra i quali gli errori di clock dei satelliti, errori nella posizione dei satelliti, distorsioni del segnale, gli effetti della ionosfera, gli effetti della troposfera, l'errore di multipath, rumore termico, interferenze e caratteristiche del ricevitore.

Gli errori detti "di clock" dei satelliti si riferiscono ad errori nella sincronizzazione degli orologi dei satelliti e hanno un effetto diretto nell'accuratezza della misura della distanza dai satelliti. La distorsione del segnale altera la forma del segnale trasmesso e può influenzare il calcolo del tempo di trasmissione. Se il segmento terrestre non calcola correttamente l'orbita dei satelliti l'utente non sarà in grado di conoscere la posizione precisa istantanea degli stessi introducendo una fonte di errore nella soluzione delle equazioni di navigazione. Al passaggio nella ionosfera il segnale di navigazione viene disturbato, risultando in un errore nel calcolo della posizione; il valore di tale errore dipende principalmente dall'intensità dell'attività solare e dalla elevazione dei satelliti rispetto all'orizzonte. Anche il passaggio nella troposfera causa distorsioni nella propagazione del segnale dipendenti dalle condizioni atmosferiche locali come temperatura e umidità; come per l'errore dovuto alla ionosfera la distorsione sarà tanto maggiore quanto più ridotta è l'elevazione rispetto all'orizzonte. Un'altra fonte di errore è la possibilità che il segnale venga riflesso al contatto col terreno o altri oggetti come edifici o veicoli e che tale segnale riflesso interferisca con il segnale originale creando un errore detto di multipath.

Possono esistere inoltre errori dovuti ad interferenze o rumore termico; i segnali che raggiungono l'utente infatti sono suscettibili a tali interferenze quando raggiungono il ricevitore. Infine le caratteristiche stesse del ricevitore possono degradare la precisione del risultato.

Per caratterizzare l'errore complessivo di distanza si usa un parametro, lo User Equivalent Range Error (UERE), che è una stima dell'incertezza della misura di distanza per un determinato satellite e che comprende tutte le fonti di errore descritte.

Nel calcolo della posizione dell'utente le misure di distanza di vari satelliti vengono usate per il calcolo dell'utente finale e i singoli UERE risultano in un errore aggregato. La relazione statistica tra l'errore medio di distanza e l'errore di posizione è rappresentata da un fattore chiamato Dilution of Precision (DOP), che dipende dalla posizione geometrica dei satelliti.

## 3.2 Global Positioning System

Il Global Positioning System (GPS) rappresenta il primo e più diffuso sistema di navigazione satellitare globale. Gestito da governo degli Stati Uniti d'America, il progetto GPS ha iniziato lo sviluppo nel 1973 per raggiungere la piena operatività nel 1995 e rappresenta al momento l'unico sistema GNSS il cui segnale viene migliorato da EGNOS.

### 3.2.1 Architettura

#### 3.2.1.1 Segmento Spaziale

La configurazione standard del GPS consiste di 24 posizioni (slot) in sei piani orbitali di inclinazione di 55° sul piano equatoriale, con quattro posizioni per piano orbitale. I satelliti di base occupano tali slot, ulteriori satelliti possono occupare altre posizioni nei piani orbitali definiti, ma non hanno degli slot definiti a priori. Nel 2011 la configurazione standard è stata modificata, ampliando tre degli slot in modo da ospitare tre ulteriori satelliti; la configurazione base è pertanto passata di fatto a 27 satelliti. Le orbite sono quasi circolari avendo un'eccentricità molto bassa di 0.02, con un semiasse maggiore di 26650 Km; i satelliti hanno una velocità di 3.9 Km/s con un periodo di 11h, 58m, metà di un giorno sidero, in modo da passare sulla stessa locazione due volte al giorno. Il sistema è progettato in modo che in ogni momento siano visibili almeno quattro satelliti da ogni punto sulla superficie terrestre.

Ad oggi la costellazione GPS si compone di 31 satelliti, escludendo alcuni satelliti non più operativi e lasciati in orbita in caso ne fosse necessaria la riattivazione. I satelliti appartengono a diverse generazioni, o block, con caratteristiche specifiche.

Come riportato dal sito ufficiale del governo USA per il GPS, (<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>, 17/8/2015) i satelliti di nuova generazione (block IIR(M), block IIF o successivi) fanno parte di un programma di ammodernamento del sistema GPS e permettono l'introduzione progressiva di nuove funzionalità quali la trasmissione di nuovi segnali civile (L2C) e militare (M) in banda L2, un segnale civile aggiornato in L1 (L1C) e la trasmissione in banda L5.

#### 3.2.1.2 Signal In Space (SIS)

Ogni satellite trasmette un segnale radio UHF composto da due frequenze portanti L1 (1575.42 MHz) e L2 (1227.6 MHz) modulate da due codici digitali ed un messaggio di navigazione. Le portanti sono generate dai banchi di oscillatori di ogni satellite con frequenza fondamentale di 10.23 MHz. I codici del GPS sono detti Pseudo Random Noise (PRN) e sono definiti codice Coarse Acquisition (C/A) e Precision (P). Il codice C/A è una sequenza di 1023 cifre binarie (bits o chips) che si ripetono ogni millisecondo (il chip rate è 1.023 MHz) ed è unico per ogni satellite. Il codice P è una sequenza molto lunga di 37 settimane (o  $2 \cdot 10^{14}$  bits di codice), della quale ogni satellite trasmette un unico segmento di una settimana, il quale viene inizializzato ad ogni passaggio della mezzanotte tra la domenica ed il lunedì. Il codice P ha un chip rate di 10.23 MHz e viene usato per identificare i satelliti GPS. Con la modalità anti-spoofing attivata il codice P viene modulato con un codice riservato W, creando un codice Y la cui ricezione è ristretta agli utenti militari.



La banda L1 viene emessa dai satelliti in due repliche sfasate di 90° modulate rispettivamente dal codice C/A e P (Y), mentre la banda L2 viene modulata esclusivamente dal codice P (Y).

Il programma di ammodernamento del sistema GPS prevede la trasmissione di nuovi segnali: un segnale civile in banda L2 (L2C) che insieme al segnale civile in L1 permetta la correzione dell'errore dovuto alla ionosfera, un nuovo segnale militare (M) in entrambe le bande che garantisca una maggiore resistenza all'oscuramento del segnale, o "jamming", un nuovo segnale civile in banda L1 (L1C) che permetta l'interoperabilità con altri sistemi GNSS, principalmente GALILEO, un nuovo segnale in banda L5 per le applicazioni Safety of Life.

I segnali PRN vengono inoltre modulati con un segnale di navigazione (NAV) che include tutte le informazioni necessarie per ricavare la posizione dell'utente; queste comprendono le effemeridi, i parametri di tempo e le correzioni del clock, le informazioni di salute dei satelliti, il modello della ionosfera e l'almanacco. Le effemeridi sono valide per circa quattro ore e aggiornate ogni due ore, mentre l'almanacco ha una validità più lunga e viene aggiornato almeno ogni sei giorni. Il segnale è modulato su L1 e L2 a 50 bit/s e l'intero messaggio contiene 25 frames di 30 secondi, per un messaggio totale di 12.5 minuti. Ogni frame è poi suddiviso in sub-frames da 6 secondi, i quali a loro volta sono composti da parole (words) da 30 bit ognuna.

Ogni subframe comincia con un header composta da Telemetry word (TLM), necessaria per fornire informazioni sull'inizio del sub-frame, rendendo possibile la sincronizzazione dei dati e da Handhover Word (HOW), che contiene informazioni sul Time Of Week (TOW). La TLM word è lunga 24 bit, con un preambolo di 8, seguito da 16 bit di dati riservati, tra i quali 6 di checksum. La HOW comincia con 17 bit che contengono informazioni sul TOW, necessarie per garantire che il ricevitore sia sincronizzato con il GPS Time; i 7 bit seguenti una sub-frame ID che identifica il sub-frame attuale, una flag di allerta che indica se le misure del satellite siano accurate e una di anti-spoofing. Gli ultimi 6 bit sono ancora riservati al checksum. Ogni sub-frame ha una header separata in modo che il ricevitore possa iniziare la ricezione anche nel mezzo di una trasmissione e non debba aspettare di ricevere il frame successivo.

Terminata la header, che ha la stessa struttura per ogni sub-frame, le parole da 3 a 10 di ogni sub-frame contengono i dati. Il sub-frame 1 contiene i parametri da applicare al satellite clock per la correzione; tali valori sono coefficienti polinomiali che consentono la conversione dal tempo a bordo al GPS time. I dati del sub-frame 1 contengono anche informazioni sulla salute del satellite. I sub-frame 2 e 3 contengono le effemeridi del satellite. Il sub-frame 4 contiene parametri per il modello della ionosfera, informazioni sull'Universal Coordinated Time (UTC), informazioni sull'attivazione dell'anti-spoofing e parte dell'almanacco. Il sub-frame 5 contiene la restante parte dell'almanacco. A differenza dei dati dei primi tre sub-frames i dati contenuti negli ultimi due sono comuni per tutti i satelliti, pertanto l'almanacco per tutta la costellazione può essere ottenuto collegandosi anche ad un solo satellite.

La struttura del messaggio NAV per il GPS modernizzato (segnali L2C, M ed L5) è stata modificata per garantire maggiore flessibilità, rimpiazzando la struttura fatta di frame e sub-frame in ordine determinato con un sistema di pacchetti da 300 bit con messaggi individuali che possono essere inviati in qualsiasi ordine. Ogni messaggio ha i primi bit definiti, con preambolo, message ID, alert flag, message TOW, lasciando i rimanenti bit ai dati di navigazione. A seconda dei dati contenuti è possibile definire fino a 63 tipi di pacchetto, solo alcuni dei quali sono necessari per il ricevitore GPS, lasciando così ampio spazio alla crescita del sistema.

Il tempo calcolato dagli orologi atomici dei satelliti è espresso in GPS time (GPST). Il GPST si basa sull'Universal Coordinated Time (UTC) con il quale inizialmente coincideva, ma dal quale ha iniziato a divergere in quanto al GPST non vengono applicati i secondi intercalari, o "leap seconds". I satelliti GPS pertanto trasmettono oltre al tempo in GPST anche l'offset esistente tra UTC e GPST. La mancanza di secondi intercalari significa che il GPST si mantiene inoltre a un offset costante di 19 secondi dal Tempo Atomico Internazionale (TAI), anch'esso non soggetto all'aggiunta di leap seconds. La data del GPS è espressa con un numero della settimana dalla epoch (6 gennaio 1980, 00:00:00 UTC) e dei secondi dall'inizio della settimana. La prima informazione è trasmessa in 10 bit, azzerandosi ogni 1024 settimane ossia 19.6 anni, pertanto per poter ricavare la data corretta il ricevitore deve essere già a conoscenza della data corrente approssimata. Il segnale GPS modernizzato ha ampliato il campo contenente il numero della settimana a 13 bit per aumentare notevolmente il lasso di tempo prima dell'azzeramento del GPST a 8192 settimane, circa 157 anni.

Il Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) consente il monitoraggio dell'integrità del GPS e permette di individuare eventuali guasti tramite misure di pseudorange addizionali. Per poter effettuare la funzione di Fault Detection, il ricevitore GPS deve quindi essere in grado di ricevere il segnale di almeno cinque satelliti e effettua dei controlli sulla consistenza dei risultati delle equazioni di navigazione per le varie combinazioni possibili di satelliti visibili ed avverte l'utente se qualcuno di tali test di consistenza dovesse fallire. Un miglioramento al RAIM consiste nel Fault Detection and Exclusion (FDE); questo necessita di un minimo di sei satelliti e consente non solo l'individuazione dei satelliti malfunzionanti ma anche l'esclusione degli stessi dal calcolo della soluzione di navigazione, consentendo la continuità del servizio.

### ***3.2.1.3 Segmento terrestre***

Il segmento terrestre del sistema GPS è necessario per l'operatività dell'intero sistema e si suddivide in quattro sottosistemi: la Master Control Station (MCS), una Backup Master Control Station (BMCS), quattro Ground Antennas (GA) e un network globale di Monitor Stations (MS).

La Master Control Station (MCS) è situata a Colorado Springs ed è responsabile delle funzioni di comando e controllo dell'intero sistema, monitorando lo stato di bus e payload dei satelliti, individuazione di anomalie nei satelliti o nelle componenti del segmento terrestre, monitoraggio e risposta ad eventuali anomalie nel Signal In Space del Precise Positioning System (PPS), generazione dei dati di navigazione con i dati ricevuti dalle Monitor Stations. Il sistema dispone anche di una analoga MCS di backup in caso di necessità.

Le Monitor Stations (MS) sono un network composto da 16 stazioni distribuite sulla superficie terrestre in modo che ogni satellite sia in vista di almeno tre MS, che raccolgono i dati necessari per la determinazione delle effemeridi e gli errori di clock dei satelliti da parte della MCS.

Le Ground Antennas (GA) inviano i dati di navigazione generati dalla MCS ai satelliti con segnali radio in banda S (2-4 GHz). Tali antenne fanno parte di quattro delle Monitor Stations.

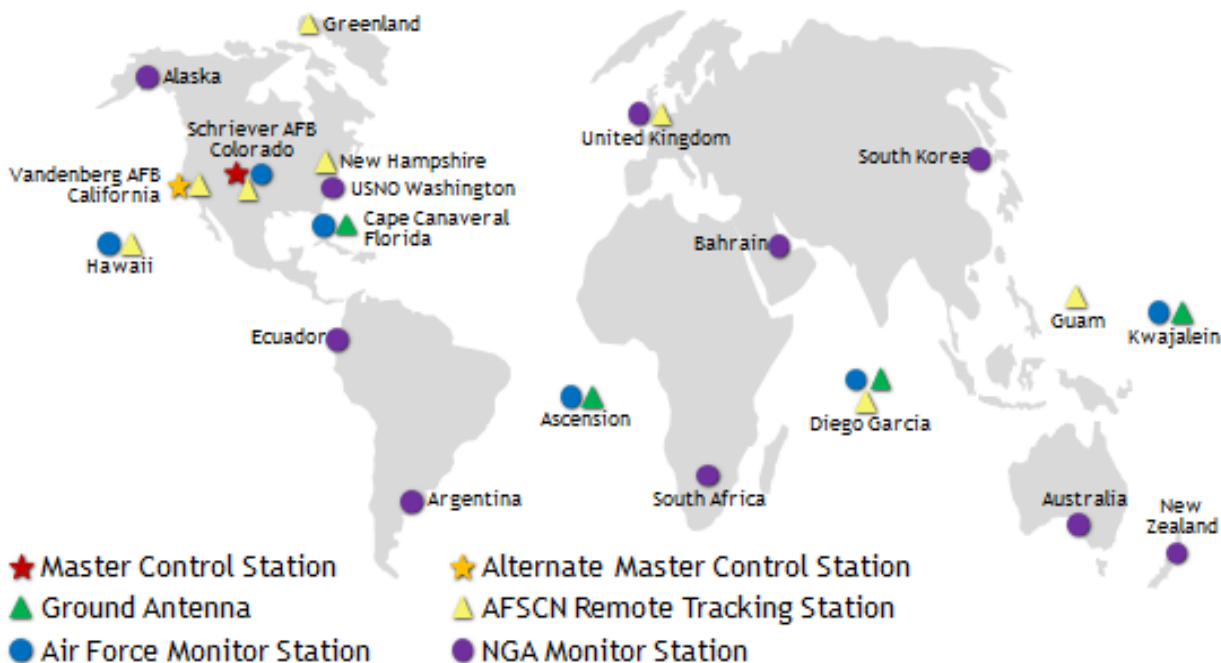


Figura 3.1: Segmento terrestre del GPS

### 3.2.1.4 Segmento utenza

Il segmento utenza è composto dai ricevitori GNSS, strumenti capaci di determinare posizione, velocità e tempo esatto (indicati con l'acronimo PVT) dell'utente.

Come per i più generali ricevitori GNSS la soluzione si basa sul calcolo delle distanze dai satelliti in orbita attraverso la conoscenza del tempo di ricezione del segnale che si propaga alla velocità della luce, basandosi sui dati temporali dei satelliti e del ricevitore. La prima operazione compiuta dal ricevitore consiste nell'individuazione e tracciamento del segnale satellitare; fatto ciò il segnale di navigazione può essere acquisito, decodificato ed applicato per il calcolo di PVT dell'utente.

### 3.2.2 Servizi e prestazioni

Il sistema GPS offre due servizi principali: il servizio Standard Positioning System (SPS) è un servizio di posizionamento e determinazione del tempo disponibile liberamente per uso civile, commerciale e militare. Il segnale destinato a tale servizio è il solo segnale nella frequenza L1, che contiene il codice coarse/acquisition con il segnale di navigazione.

Il Documento *GPS SPS Performance Standard* definisce lo Standard Positioning Service come un servizio per la determinazione di posizione e tempo attraverso la trasmissione di segnali alla frequenza GPS L1. Tale frequenza, trasmessa da tutti i satelliti, contiene un segnale C/A (Coarse/Acquisition) con i dati di navigazione disponibile per usi civili, commerciali e scientifici.

Il secondo servizio è rappresentato dal Precise Positioning System: il GPS trasmette segnali basati sui codici L1 P(Y), L1 C/A ed L2 P(Y) offrendo il servizio di determinazione di tempo e spazio ad utenti autorizzati, come definito nel PPS Performance Standard.

I dati sulle prestazioni finora ottenute dal sistema possono essere ricavati dal documento dell' US Department Of Defence, *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard* (in rete all'indirizzo: <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>, 9/2008).

Alcune prestazioni del GPS SPS vengono fornite relative al solo signal-in-space (SIS). L'accuratezza minima del GPS SIS viene indicata tramite il relativo errore nella posizione, lo User Range Error (URE), insieme alla sua derivata prima (User Range Rate Error, URRE) e seconda (User Range Acceleration Error, URAE). L'accuratezza degli errori viene inoltre riferita all'Age Of Data (AOD) e al tipo di funzionamento del sistema GPS, normal operations mode ed extended operation mode, quando a uno o più satelliti non possono essere trasmessi i dati aggiornati di navigazione. Per quanto riguarda l'accuratezza del servizio di determinazione del tempo l'accuratezza viene fornita come UTC Offset Error (UTC OE).

<b>Errori</b>	<b>Accuratezza</b>
<b>URE</b>	$\leq 7.8$ m con AOD media $\leq 6.0$ m con AOD nulla $\leq 12.8$ m con AOD peggiore $\leq 388$ m in extended operation mode, dopo 14 giorni senza aggiornamento dei dati
<b>URRE</b>	$\leq 0.006$ m/s per ogni intervallo di 3 secondi, per qualsiasi AOD
<b>URAE</b>	$\leq 0.002$ m/s <sup>2</sup> per ogni intervallo di 3 secondi, per qualsiasi AOD
<b>UTC OE</b>	$\leq 40$ ns per qualsiasi AOD

Tabella 3.1: Prestazioni di accuratezza del GPS SPS SIS

L'integrità del GPS SPS SIS viene espressa come la probabilità per ora che l'URE o l'UTC OE superi la relativa tolleranza senza che venga emessa un>alert entro il time to alert durante la condizione di normal operations.

<b>Errori</b>	<b>Integrità</b>
<b>URE</b>	$\leq 1 \times 10^{-5}$ /h
<b>UTC OE</b>	$\leq 1 \times 10^{-5}$ /h

Tabella 3.2: Prestazioni di integrità del GPS SPS SIS

La continuità del SPS SIS si riferisce alla probabilità che il servizio venga interrotto senza preavviso a causa di un guasto. Viene inoltre fornito il tempo necessario per l'invio di notifiche ai principali utenti in caso di attività

programmate che influenzino il servizio.

Descrizione	Continuità
<b>Probabilità di non perdere il GPS SIS a causa di guasti imprevisti</b>	≥ 0.9998/h
<b>Emissione di una Notice Advisory to Navstar Users (NANU) alla FAA e alla Coast Guard in caso di attività programmate che influenzino il servizio</b>	≥ 48 h prima dell'evento

Tabella 3.3: Prestazioni di continuità del GPS SPS SIS

Le prestazioni dell'intero servizio SPS sono ricavate assumendo che il ricevitore sia progettato secondo la Interface Specification IS-GPS-200 e riceva il GPS SIS in vista con altezza di almeno 5° rispetto all'orizzonte in un ambiente con rumore tale da non inficiare la capacità del ricevitore di ricevere il segnale dei satelliti.

<b>Accuratezza</b>
≤ 9 m orizzontale ≤ 15 m verticale
≤ 17 m orizzontale , posizione peggiore ≤ 37 m verticale, caso peggiore

Tabella 3.4: Prestazioni di accuratezza del GPS SPS

<b>Disponibilità</b>
≥ 99 % ≥ 90 %, posizione peggiore

Tabella 3.5: Prestazioni di disponibilità del GPS SPS

## **3.3 GALILEO**

Il programma GALILEO si propone di rendere operativo un nuovo sistema GNSS europeo che affianchi i già esistenti GPS americano e GLONASS russo. GALILEO garantirà agli stati europei un'indipendenza nel settore cruciale della navigazione satellitare e offrirà diversi vantaggi rispetto ai sistemi GNSS attuali: una maggiore copertura alle alte latitudini, la trasmissione con il messaggio di navigazione dei dati di integrità, una completa interoperabilità con altri sistemi, in particolare con il GPS, migliorando notevolmente l'accuratezza e il numero di satelliti visibili in aree urbane. A differenza degli altri sistemi GNSS, GALILEO è stato progettato primariamente per l'uso in ambito civile, scientifico e commerciale ed i servizi offerti all'utenza rispecchiano tale scelta progettuale.

Il programma si è sviluppato in una serie di fasi: dopo una fase di definizione e di test a terra, una fase di In Orbit Validation (IOV) è stata aperta dal lancio a partire dal 2005 di una coppia satelliti di test GALILEO In Orbit Validation Element (GIOVE) per collaudare elementi critici del payload satellitare quali gli orologi atomici e le antenne. E' quindi seguito a partire dal 2011 il lancio dei primi quattro satelliti operativi, che insieme allo sviluppo del segmento terrestre ha permesso di ottenere la prima soluzione di navigazione nel 2013 e verificare le prestazioni del sistema. A partire dal 2014 si è aperta la fase di Initial Operational Capability (IOC), con il lancio dei primi satelliti Full Operational Capability (FOC), il completamento dell'infrastruttura a terra e l'apertura di una versione iniziale dei servizi Open Service, Public Regulated Service e Search And Rescue. La fase di Full Operational Capability, con il completamento della costellazione, del segmento terrestre e l'offerta dei servizi definitivi dovrebbe avere inizio nel 2019/2020.

A partire dalla sua entrata in servizio, circa nel 2020, il segnale di GALILEO verrà migliorato dal sistema EGNOS.

### **3.3.1 Architettura**

#### ***3.3.1.1 Segmento spaziale***

Il segmento spaziale di GALILEO è costituito da una costellazione di 30 satelliti, disposti su tre piani orbitali con inclinazione di 56° e altezza di 23222 chilometri in modo da assicurare la massima visibilità e buona copertura anche nelle zone polari. Ogni piano orbitale contiene 8 satelliti operativi equispaziati, più due satelliti di riserva e considerando anche l'interoperabilità con altre costellazioni GNSS viene garantita la visibilità di un buon numero di satelliti anche in canyon urbani. I satelliti comprendono varie antenne per la trasmissione in varie bande: banda L per la trasmissione del messaggio di navigazione, banda C per la ricezione dei dati da missione dalle Uplink Stations, banda S per la telemetria e la comunicazione con i moduli di comando e controllo.

#### ***3.3.1.2 Signal in space***

I satelliti Galileo trasmettono quattro tipi di segnali: il Freely Accessible Navigation Message (F/NAV), l'Integrity Navigation Message (I/NAV), il Commercial Navigation Message (C/NAV) ed il Governmental Navigation Message (G/NAV). I messaggi di navigazione sono organizzati in frames, sub-frames e pages. Le durate delle



L'Unione Europea ha individuato alcune aree principali di applicazione per il servizio Galileo: trasporto aereo, navale e terrestre, agricoltura di precisione e protezione dell'ambiente, protezione civile e applicazioni LBS (Location Based Services).

### 3.3.2 Servizi e prestazioni

Galileo offre diversi servizi agli utenti, con prestazioni differenti.

Il Galileo Open Service (OS) offre un servizio di posizionamento e informazioni su tempo e velocità disponibile gratuitamente e liberamente. Il servizio è accessibile tramite segnali alle frequenze L1, E5a ed E5b; ogni frequenza include due segnali ranging code, dei quali uno contiene i dati di navigazione, mentre l'altro non trasporta dati e funge da pilota per migliorare la precisione e robustezza delle misure. L'Open Service è compatibile con altri servizi GNSS e sebbene possa offrire prestazioni di accuratezza e disponibilità competitive rispetto ai GNSS esistenti non offre alcuna informazione sull'integrità e non è pertanto impiegabile in servizi safety of life; gli ambiti di utilizzo previsti sono principalmente il trasporto terrestre e le applicazioni su dispositivi di telefonia mobile per il servizio di posizionamento, la sincronizzazione di network e applicazioni scientifiche per il servizio di determinazione del tempo.

Il Commercial Service (CS) è un servizio a pagamento che offre prestazioni di accuratezza superiori a quelle dell'Open Service tramite la ricezione di due segnali aggiuntivi sulla banda E6, criptati e contenenti informazioni come il modello del ritardo ionosferico. Il servizio è rivolto a quelle applicazioni commerciali che necessitano di elevate prestazioni di accuratezza, ma non di integrità, come l'agricoltura di precisione.

Il Public Regulated Service (PRS) è ristretto ad utenti governativi per applicazioni sensibili che richiedono un'alta continuità, ad esempio servizi legati alla sicurezza, energia e telecomunicazioni. Il servizio è accessibile attraverso la ricezione di due segnali criptati in banda larga alle frequenze E1 ed E6. I segnali sono strutturati in modo da garantire la massima robustezza del segnale per impedire fenomeni di jamming o spoofing e offrire la massima continuità del servizio.

Il servizio di Search And Rescue (SAR) è destinato ad integrarsi con la missione internazionale COSPAS-SARSAT volta a fornire alle autorità competenti informazioni accurate e tempestive sulla posizione di persone in difficoltà. Il transponder SAR dei satelliti Galileo è capace di ricevere segnali di allarme emessi dai radiofari COSPAS-SARSAT alle frequenze 406-406.1 MHz e ritrasmette a stazioni dedicate sulla banda L6. Rispetto alla situazione precedente l'utilizzo di Galileo consente una maggiore rapidità nella ricezione dei segnali di pericolo su tutta la superficie terrestre ed una maggiore precisione nella localizzazione della loro posizione.

Infine Galileo offre un servizio Safety Of Life (SOL) che garantisce un livello di integrità compatibile con gli standard internazionali.

Le prestazioni dipendono dal servizio (da European Space Agency, *GALILEO Mission High Level Definition*, [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf)): l'Open Service garantisce un'accuratezza fino a 4m in orizzontale e 8m in verticale, con una disponibilità del 99.8%, pur senza fornire alcuna informazione sull'integrità. Le prestazioni del Commercial Service dipendono invece dalle decisioni fatte dalla Galileo Operating Company in base alle richieste del mercato e dai servizi offerti dai service



provider. Il Public Regulated Service invece ha in un basso rischio di continuità la sua caratteristica principale, essendo un servizio destinato ad applicazioni sensibili e il cui accesso è regolato dai singoli governi europei. Le prestazioni del Safety Of Life sono tali da rispettare gli standard internazionali nei campi del trasporto marittimo, aereo e terrestre; a tal fine vengono definiti due livelli di servizio, uno non critico adatto per le operazioni dai requisiti meno stringenti e che si basa sulle normative ICAO per le fasi di volo fino al Non Precision Approach, ed uno critico che rispetta i requisiti anche delle fasi di operazioni più stringenti.

	<b>Accuratezza</b>	<b>Disponibilità</b>	<b>Integrità</b>	<b>Continuità</b>
<b>Open Service</b>	Orizzontale: 4 m Verticale: 8 m Timing: 30 ns	99.8%	Non disponibile	Non disponibile
<b>Public Regulated Service</b>	Orizzontale: 6.5 m Verticale: 12 m Timing: 100 ns	99.5%	$3.5 \times 10^{-7} / 150$ s Alert Limit: 20 m, orizzontale 35m, verticale TTA: 10 s	$10^{-5} / 15$ s
<b>Safety Of Life (critical level)</b>	Orizzontale: 4m Verticale: 8 m	99.5%	$3.5 \times 10^{-7} / 150$ s Alert Limit: 12 m, orizzontale 20 m, verticale TTA: 6 s	$10^{-5} / 15$ s
<b>Safety Of Life (non critical level)</b>	Orizzontale: 220 m	99.5%	$10^{-7} / h$ Alert limit: 556 m, orizzontale TTA: 10 s	$10^{-4} / h$
<b>Search And Rescue</b>	Non disponibile	>99.8%	Non disponibile	Non disponibile

Tabella 3.6: Requisiti di prestazione dei servizi GALILEO

### 3.4 GLONASS

Il Global Navigation Satellite System (GLONASS) è il sistema GNSS russo, operato dalle Forze di Difesa Russe. Il programma ebbe inizio sotto l'Unione Sovietica nel 1976, per raggiungere la piena operatività ed una costellazione completa nel 1995. Negli anni successivi le difficoltà economiche seguite alla disgregazione dell'Unione Sovietica hanno fatto sì che non fosse possibile mantenere il sistema pienamente operativo e la costellazione di satelliti si è progressivamente ridotta fino a raggiungere il minimo nei primi anni duemila; in seguito il programma è ripartito con nuovi finanziamenti fino a completare nuovamente la costellazione nel 2011.

Il segmento spaziale di GLONASS è composta da 24 satelliti operativi (28 complessivi al 28/8/2015), posti su orbite circolari con altitudine di 19100 Km con inclinazione di 64.8° e periodo di 11 ore e 15 minuti. I satelliti sono disposti su tre piani orbitali, con 8 satelliti equispaziati in ognuno.

Mentre il sistema GLONASS originale trasmetteva il segnale civile alla sola frequenza L1, oltre ad un segnale militare in L2, dal 2003 il segnale di navigazione è disponibile liberamente sulle due bande L1 ed L2. A differenza di altri sistemi GNSS, GLONASS impiega il metodo Frequency Division Multiple Access (FDMA) in base al quale la frequenza di trasmissione non è fissa per la costellazione, ma ogni satellite trasmette ad una determinata frequenza all'interno della stessa banda; per l'*i*-esimo satellite:

$$f_i = f_0 + \Delta f,$$

con *i* il canale di frequenza del satellite variabile da *i*=-7 a *i*=6, *f*<sub>0</sub> la frequenza centrale della banda: *f*<sub>0</sub>=1602 Mhz per la banda L1 e *f*<sub>0</sub>=1246 Mhz per la L2, l'incremento in frequenza  $\Delta f$  è pari a 0.5625 Mhz per la banda L1 e 0.4375 Mhz per la L2. I canali di frequenza sono solo 13 per la costellazione di 24 satelliti poiché due satelliti agli antipodi non sono mai visibili dallo stesso ricevitore e quindi possono condividere la stessa frequenza di trasmissione.

I satelliti modernizzati (a partire dal 2009) offrono un terzo segnale civile di navigazione sulla banda L3, per il quale è *f*<sub>0</sub>=1204 Mhz e  $\Delta f$ =0.423 Mhz. I piani per lo sviluppo prevedono l'introduzione del metodo di accesso ai canali di tipo Code Division Multiple Access (CDMA), già adottato da altri sistemi GNSS come il GPS e GALILEO, trasmettendo su tre frequenze.

Il segmento terrestre è composto da diverse stazioni poste nel territorio della Federazione Russa e in altri luoghi del globo, con funzioni di comando e controllo, sorveglianza, determinazione delle effemeridi e del clock offset dei satelliti e con il compito di trasmettere i dati di navigazione ai satelliti due volte al giorno.

Le performance del GLONASS non sono state costanti col tempo e sono in genere migliorate recentemente con il lancio di nuovi satelliti modernizzati. La disponibilità è attualmente alta ed in linea con gli altri sistemi GNSS, avvicinandosi al 100% in particolare nel territorio russo. Dati raccolti dal Russian System of Differential Correction and Monitoring (SDCM, report consultabili sul sito ufficiale nella versione inglese: <http://www.sdc.ru/smglo/staticpages?version=eng&site=extern&title=about>) in diverse stazioni poste nel

territorio russo mostrano che l'accuratezza del sistema oscilla tra i 4 e gli 8 metri in orizzontale e tra i 10 e i 25 in verticale; al contempo negli stessi luoghi l'accuratezza del GPS risulta leggermente migliore, peraltro con un maggior numero medio di satelliti visibili, oscillando tra i 4 e 6 metri in orizzontale e 10-20 in verticale. Misure ottenute combinando i segnali del GLONASS e del GPS migliorano in non piccola misura, con un numero di satelliti visibili più che raddoppiato e accuratezza tra i 4 e i 5 metri e 10-18 in verticale.

## 4 Miglioramento dei GNSS

I sistemi GNSS non riescono da soli a raggiungere i requisiti di accuratezza e integrità posti dalle applicazioni del trasporto aereo, marittimo o terrestre, oltre a quelli di diverse applicazioni non legate all'ambito dei trasporti; si è quindi posta la necessità di migliorare le caratteristiche dei GNSS.

Una prima classe di sistemi di miglioramento sono i Ground Based Augmentation System (GBAS); sistemi cioè che non richiedono un segmento spaziale dedicato. Il metodo più comune è quello differenziale, applicato nel Differential Global Positioning System (DGPS), che si basa sulla conoscenza della posizione geografica esatta di una o più stazioni di riferimento, o "reference stations". Tali stazioni sono poste su posizioni note e sorvegliate con metodi geodetici, e sono in grado di tracciare i satelliti GPS in vista e calcolare correzioni basate sui differenza tra la posizione calcolata dal GPS e la posizione geodetica nota. E' possibile quindi calcolare una correzione allo pseudorange stimato da ciascun satellite, per poi inviarla agli utenti, i quali applicano la correzione al proprio pseudorange prima di calcolare la posizione dell'utente.

Il DGPS è ampiamente usato negli Stati Uniti d'America nell'ambito del trasporto marittimo e terrestre. Il Maritime DGPS (MDGPS) comprende 39 stazioni gestite dalla United States Coast Guard (USCG) che offrono copertura DGPS su tutte le acque costiere degli USA contigui, fino ad almeno 20 miglia nautiche oltre la costa, e a porzioni delle coste di Alaska, Hawaii e Puerto Rico, oltre a 9 stazioni dell'U.S. Army Corps of Engineers (USACE) che coprono il sistema delle acque interne. Per quanto riguarda il trasporto terrestre esiste invece il National DGPS (NDGPS), che con 39 stazioni gestite dal DOT copre buona parte del territorio continentale USA.

Accuratezza	Disponibilità	Copertura	Affidabilità	Fix Rate	Integrità
< 10 m	99.7% 99.9% in alcune aree	USA continentali e acque costiere, oltre ad aree di Alaska, Hawaii e Puerto Rico	< 500 guasti/1000000 ore	1-20 secondi	Controllo dell'integrità per ogni reference station  Time to Alert: 6 s

Tabella 4.1: Prestazioni dei servizi MDGPS e NDGPS

Utenti di applicazioni non legate ai trasporti che richiedono alta accuratezza (nell'ordine dei decimetri o dei centimetri) spesso adottano dei sistemi di miglioramento del segnale che usano correzioni delle reference stations su due portanti, L1 ed L2. Ciò necessita di avere una stazione entro poche decine di chilometri dall'utente e spesso enti o aziende private installano le proprie reference stations, anche temporanee.

Un altro tipo di miglioramento al GPS è il Local Area Augmentation System (LAAS), un sistema safety critical studiato per essere disponibile durante l'avvicinamento e l'atterraggio negli aeroporti e offrire prestazioni tali da permettere un avvicinamento fino a categoria III. Il signal-in-space di LAAS rende disponibili agli utenti i seguenti dati in VHF: correzioni differenziali per i satelliti GPS per i satelliti WAAS usati per la determinazione della posizione, i parametri di integrità associati e i punti del segmento di avvicinamento finale per

l'avvicinamento di precisione. Diverse reference station locate entro i confini dell'aeroporto ricevono e decodificano le misure di distanza e i dati di navigazione dei satelliti GPS e i loro dati vengono successivamente processati per ottenere le correzioni differenziali ottimali e i dati sull'integrità; i ricevitori LAAS applicano quindi le correzioni alle proprie misure di pseudorange e comparano i parametri di errore rispetto ai limiti sull'errore consentiti dalla categoria di avvicinamento in esecuzione.

Accuratezza	Disponibilità	Copertura	Integrità
Orizzontale: 16 m  Verticale: 4 m	99.9%	Avvicinamento e atterraggio agli aeroporti	Time to Alert: 6 s  Probability of Hazardously Misleading Information: $1 \times 10^{-7}$

Tabella 4.2: Prestazioni del LAAS

## 4.1 Sistemi SBAS

I sistemi Satellite Based Augmentation System offrono il miglioramento dei segnali GNSS grazie ad un network di stazioni a terra per la raccolta dei dati e l'elaborazione delle correzioni ed un certo numero di satelliti per la ritrasmissione all'utenza entro la regione di copertura del servizio.

### 4.1.1 Wide Area Augmentation System

Il programma Wide Area Augmentation System (WAAS) della Federal Aviation Agency (FAA) americana, iniziato nel 1992 e dichiarato operativo nel 2003, è stato il primo sistema SBAS a raggiungere l'operatività. WAAS è specificamente progettato per migliorare il segnale GPS per la navigazione aerea, esso infatti offre agli utenti l'accuratezza, disponibilità, continuità ed integrità necessarie per poter utilizzare la navigazione GPS in ogni fase del volo nell'area coperta dal sistema.

Il relativo documento di riferimento, *Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard*, lo definisce nel seguente modo: WAAS è un Satellite Based Augmentation System (SBAS) per il Nord America che migliora il GPS Signal In Space (SIS) trasmettendo messaggi correttivi per il differential GPS (DGPS) da satelliti geostazionari. Il servizio WAAS migliora inoltre l'integrità del GPS attraverso informazioni sull'integrità incluse nei messaggi trasmessi dal WAAS. Il servizio WAAS è specificamente progettato per rispondere agli alti standard di accuratezza, integrità, continuità e disponibilità dell'utenza aeronautica, ma è un sistema aperto che ha la capacità di supportare anche altre applicazioni. WAAS offre una funzione di allineamento su tutta la copertura dei satelliti che migliora la disponibilità del posizionamento GPS per gli utenti WAAS. WAAS offre inoltre correzioni differenziali e lo status dei satelliti GPS.

I ricevitori WAAS usano le correzioni differenziali trasmesse dai satelliti GEO per correggere gli errori nelle misure di distanza trasmesse dai satelliti GPS e migliorare l'accuratezza della soluzione. Vengono trasmessi tre tipi di correzioni: le Fast Corrections (FC) si riferiscono agli errori a breve termine del clock dei satelliti e sono trasmesse ogni 6 secondi, le Long Term Corrections (LTC) si riferiscono invece alla deriva di lungo periodo del clock dei satelliti e agli errori delle effemeridi e sono calcolate ogni 256 secondi e trasmesse almeno ogni 120

secondi, infine le correzioni dello Ionospheric Grid Point (IGP) per la stima del ritardo di propagazione del segnale nella ionosfera vengono calcolate su una griglia ogni 5 gradi di longitudine e latitudine e trasmesse ogni 5 minuti.

#### **4.1.1.1 Architettura**

WAAS è composto da una combinazione di sottosistemi terrestri e spaziali, la sua architettura pertanto può essere divisa nei segmenti spaziale, terrestre e utenza.

##### **4.1.1.1.1 Segmento spaziale**

Il segmento spaziale è composto da tre satelliti geostazionari (GEO) che coprono l'area del nord America.

##### **4.1.1.1.2 Signal In Space**

Il segnale trasmesso dai satelliti WAAS è composto da vari elementi: il ranging code su frequenza L1, modulato con un codice Coarse/Acquisition Pseudo Random Noise (PRN), trasmette dati analoghi a quelli del GPS, di fatto consentendo ai satelliti WAAS di funzionare anche come satelliti aggiuntivi della costellazione GPS e porta i dati di correzione WAAS, come correzioni di orbita e clock e la stima del ritardo dovuto alla ionosfera, sotto forma di Wide Area Differential (WAD), correzioni differenziali per i satelliti GPS e GEO. Inoltre, con il nome di GNSS/Ground Integrity Channel (GIC), vengono trasmesse informazioni sull'integrità del sistema ed infine ulteriori informazioni aggiuntive come il degrado dei parametri. I dati vengono trasmessi tramite messaggi codificati nel segnale ogni secondo con un data rate di 250 bit.

I diversi messaggi trasmessi dai satelliti WAAS vengono definiti da un codice detto Message Type: 0 corrisponde a un messaggio di test da non usare per applicazioni Safety Critical, 1 sono i codici PRN per i satelliti GPS e GEO, da 2 a 5 sono le correzioni veloci, 6 le informazioni sull'integrità, 7 la degradazione delle correzioni veloci, 9 i dati orbitali dei satelliti geostazionari WAAS, 17 l'almanacco per i satelliti WAAS, 18 la maschera per la correzione alla griglia Ionosferica, 24 un messaggio misto con correzioni al clock sia veloci che di lungo periodo, 25 le correzioni al clock di lungo periodo, 26 il ritardo dovuto alla ionosfera e il limite dell'errore per i punti della griglia nel messaggio 18, 27 messaggio di servizio WAAS, 28 la matrice di covarianza clock/effemeridi.

##### **4.1.1.1.3 Segmento terrestre**

Il segmento terrestre è composto da una serie di elementi. 38 Wide-area Reference Stations (WRS), distribuite su tutto il nord America e le Hawaii, ricevono i dati dai satelliti GPS e li ritrasmettono alle Master Stations per l'analisi. Il Terrestrial Communications Network (TCN) ha il compito di garantire la comunicazione tra i sottosistemi WAAS ed è composto da due reti di comunicazione indipendenti per garantire la ridondanza. 3 WAAS Master Station (WMS) raccolgono i dati delle Reference Stations ed elaborano le correzioni di clock, efemeridi ed ionosferiche, oltre ad effettuare le stime sull'integrità del sistema, per poi inviare i dati alle Ground Earth Stations tramite il TCN. Le 6 Ground Earth Stations provvedono a trasmettere il segnale generato dalle WMS ai satelliti GEO, compito svolto dai GEO Uplink Subsystems (GUS), che possono anche essere più di uno per GEO. Per garantire una ridondanza ogni satellite GEO è servito da due GUS posti in stazioni differenti. Infine 2 Operational Control Centers (OCC) si occupano delle funzioni di controllo e registrano i dati in transito.

#### 4.1.1.1.4 Segmentazione utenza

Il segmento utenza è costituito da ricevitori GNSS/SBAS capaci di ricevere il segnale di miglioramento trasmesso dai satelliti WAAS. Il sistema è stato progettato per l'aviazione e l'utenza aeronautica è tenuta ad utilizzare ricevitori certificati secondo gli standard RTCA MOPS DO 229, mentre applicazioni non Safety Of Life possono utilizzare ricevitori non certificati.

#### 4.1.1.2 Servizi e prestazioni

I satelliti WAAS inviano una funzione di ranging che può essere incorporata nei servizi GNSS. Il servizio WAAS trasmette status dei satelliti GNSS e funzione differenziale di correzione per tutti i satelliti in vista delle stazioni a terra, per gli utenti in grado di ricevere i messaggi dai satelliti geostazionari. Tale funzione è disponibile per almeno quattro satelliti visibili dall'utente nell'area azzurra in figura 3.1. Viene inoltre trasmessa all'utenza la funzione per le correzioni ionosferiche, disponibile entro l'area blu in figura 3.1; al di fuori di tale area i ricevitori GPS/SBAS devono usare un modello standard della ionosfera e non si ha capacità Localizer Performance with Vertical Guidance (LPV), le procedure più accurate di atterraggio strumentale basate sui sistemi SBAS.

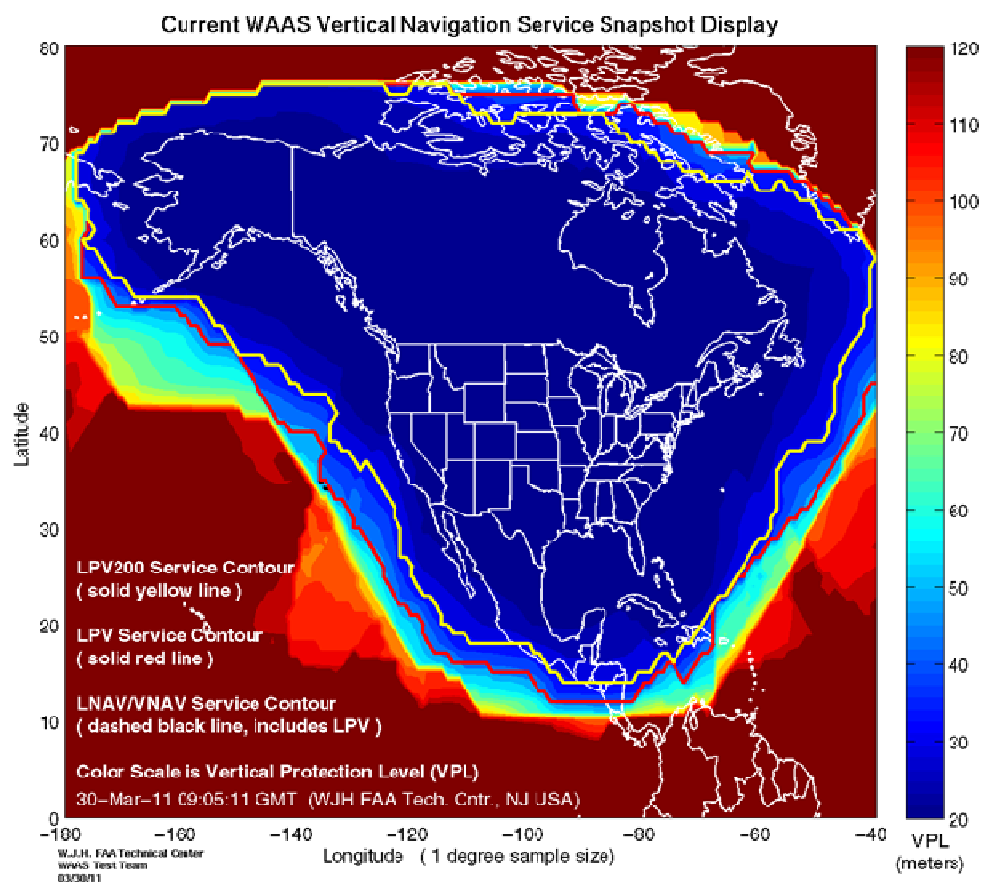


Figura 4.1: Area di disponibilità del servizio WAAS

Un ricevitore WAAS che riceva il messaggio trasmesso dai satelliti GEO consente di ottenere la soluzione di navigazione e conoscere l'integrità ricevendo da quattro satelliti, migliorando la disponibilità del servizio rispetto ad un ricevitore GPS che usi il Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) e il Fault Detection and Exclusion (FDE), il quale necessiterebbe di almeno 6 satelliti.

Per la definizione dei requisiti l'area di servizio del WAAS è stata divisa in una serie di zone: la prima sono i Contiguous United States (CONUS), la seconda l'Alaska, la terza le Hawaii, la quarta Puerto Rico e le isole caraibiche, la quinta il rimanente territorio degli Stati Uniti.

I requisiti di performance del WAAS SIS (dal *Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard*, <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf>) si basano in larga parte su quelli descritti nelle ICAO SARPS annex 10, vol 1, nonostante le fasi di volo vengano suddivise in maniera differente; vengono infatti definite: crociera (en route), Terminale, Lateral Navigation (LNAV), Lateral/Vertical Navigation (LNAV/VNAV), Localizer Performance with Vertical Guidance (LPV) ed LPV a minimo 200 piedi (LPV 200), che indica che l'altezza di decisione è di 200 piedi .

	<b>Accuratezza</b>	<b>Disponibilità</b>	<b>Continuità</b>	<b>Integrità</b>
<b>Crociera</b>	0.74 Km, orizzontale	0.99999, zona 1 e 5 0.999, zona 2, 3 e 4	$1 \times 10^{-5}/h$	$1 \times 10^{-7}/h$ TTA: 15 s HAL: 3.7 km
<b>Terminale</b>	0.74 Km, orizzontale	0.99999, zona 1 0.999, zona 2, 3, 4 e 5	$1 \times 10^{-5}/h$	$1 \times 10^{-7}/h$ TTA: 15 s HAL: 1.85 Km
<b>LNAV</b>	220 m, orizzontale	0.99999, zona 1 0.999, zona 2, 3, 4 e 5	$1 \times 10^{-5}/h$	$1 \times 10^{-7}/h$ TTA: 10 s HAL: 556 m
<b>LNAV/VNAV</b>	220 m, orizzontale 20 m, verticale	0.99, zona 1 0.95, zona 2	$5.5 \times 10^{-5}/h$	$2 \times 10^{-7}/$ avvicinamento TTA: 10s HAL: 556 m VAL: 50 m



<b>LPV</b>	16 m, orizzontale 20 m, verticale	0.99, zona 1 0.95, zona 2	$8 \times 10^{-6}/15$ s	$2 \times 10^{-7}/$ avvicinamento TTA: 6.2 s HAL: 40 m VAL: 50 m
<b>LPV 200</b>	16 m, orizzontale 4 m, verticale	0.99, zona 1	$8 \times 10^{-6}/15$ s	$2 \times 10^{-7}/$ avvicinamento TTA: 6.2 s HAL: 40 m VAL: 35 m

Tabella 4.3: Requisiti di prestazione del WAAS SIS

In base a misure e rilevazioni delle reali performance del WAAS SIS condotte dal FAA Technical Center negli anni e disponibili sul sito: <http://www.nstb.tc.faa.gov/>, il servizio raggiunge o supera i requisiti espressi sopra, in particolare WAAS riesce a fornire il livello di servizio con i requisiti più stringenti, LPV-200. Il servizio normale di WAAS coincide con tali requisiti su buona parte dell'area di copertura del servizio, dove tale livello di servizio non risulta disponibile, il segnale WAAS indica quale è il livello ridotto del servizio: LPV o LNAV/VNAN.

Accuratezza		Continuità	Integrità	Disponibilità
Orizzontale: 1,6 m nominale 12 m caso peggiore	Verticale: 1,6 m nominale 12 m caso peggiore	$8 \times 10^{-6}/15$ s	$< 1 \times 10^{-7}/$ avvicinamento TTA: 6.2 s TTA per ricevitore con RAIM/FDE: 8 s	0.99, zona 1

Tabella 4.4: Prestazioni misurate del WAAS SIS, servizio LPV 200

La disponibilità del servizio WAAS è mostrata in tempo reale sul sito del FAA Technical Center, insieme a report trimestrali delle performance.

L'integrità e la disponibilità del servizio WAAS vengono calcolate a partire dalla stima di protection level orizzontale e verticale (HPL e VPL). Tali protection levels vengono ottenuti sommando lo User Differential Range Error (UDRE), che caratterizza l'errore residuo dopo le correzioni veloci e di lungo periodo, il Grid Ionospheric Vertical Error (GIVE), che rappresenta l'errore residuo dopo le correzioni ionosferiche, ed altri errori residui per gli effetti della troposfera e gli errori del ricevitore. I protection levels vengono applicati alla posizione calcolata dal ricevitore per determinare un volume cilindrico di protezione centrato sulla posizione calcolata. Il ricevitore confronta quindi HPL e VPL con gli Alert Limits orizzontali e verticali (HAL e VAL), il cui valore dipende dalla fase di volo considerata. Se i protection levels superano i rispettivi alert limits, l'operazione attuale risulta non più

disponibile; se l'errore nella posizione dell'utente risulta maggiore dei protection levels per un lasso di tempo superiore al Time To alert ci si trova in una condizione di Hazardously Misleading Information (HMI). L'integrità del sistema viene definita in base alla probabilità di avere un HMI.

#### 4.1.2 MTSAT Satellite Augmentation System

Il MTSAT Satellite Augmentation System (MSAS) è lo SBAS operato dal dipartimento dei trasporti e delle infrastrutture e dall'agenzia meteorologica giapponese, entrato in servizio il 27 settembre 2007. Il sistema è stato progettato per l'uso nell'ambito dell'aviazione e offre la navigazione orizzontale per le fasi di volo dalla crociera al non precision approach.

Il sistema segue la normale architettura di uno SBAS, suddivisa nei segmenti spaziale, terrestre e utenza, per la quale delle stazioni di monitoraggio ricevono i dati dei satelliti GNSS e li inviano ad una stazione master che elabora le correzioni differenziali alle effemeridi e agli orologi dei satelliti, oltre ai dati sull'integrità; tali dati vengono infine inviati ai satelliti geostazionari che li ritrasmettono ai ricevitori degli utenti che li utilizzano per migliorare la soluzione di navigazione.

Il segmento spaziale comprende due satelliti geostazionari, PRN 129 e 137, in orbita a 140° E e 145°E, a coprire l'area intorno al Giappone. Tali satelliti sono detti Multifunctional Transport Satellite (MTSAT) in quanto dedicati anche ad attività nell'ambito della meteorologia.

Il segmento terrestre si compone di quattro Ground Monitor Station, distribuite nelle isole giapponesi per la raccolta dei dati dai satelliti, e due Master Control Station per l'elaborazione di tali dati e la trasmissione ai satelliti MTSAS; infine due Monitor and Ranging Station, situate fuori dal Giappone, hanno lo scopo di determinare l'orbita esatta dai satelliti MTSAS e possono fungere da Ground Monitor Station addizionali.

Il segmento utenza comprende i ricevitori GNSS/SBAS compatibili con gli standard RCTA MOPS DO 229, nell'area di copertura del servizio.

Il Signal-In-Space del sistema rispetta le norme ICAO SARPS, e viene trasmesso su una singola frequenza, con frequenza L1, larghezza di banda di 2.2 Mhz e intensità del segnale all'arrivo sulla superficie maggiore di -161 decibel watt (dBw).

Il sistema MSAS usa lo stesso sistema di riferimento geodetico del sistema GPS, il WGS-84, e un proprio sistema di riferimento temporale basato sulle misure dei propri orologi atomici, il MSAS Network Time, che viene periodicamente corretto per mantenere l'offset rispetto al GPS time inferiore a 50 ns.

Insieme al servizio per la navigazione aerea MSAS offre anche l'emissione di NOTAM. I requisiti per le prestazioni del sistema MSAS si basano sulle normative ICAO per la classe di navigazione 1: fasi di volo dalla crociera al non precision approach.

Accuratezza	Integrità	Disponibilità
Orizzontale: 220 m	$1 \times 10^{-7}$ /h	>99.9%

Tabella 4.5: Prestazioni minime del sistema MSAS (classe 1)

Le prestazioni misurate raggiunte dal sistema raggiungono e superano i requisiti ICAO:

<b>Accuratezza</b>	<b>Integrità</b>	<b>Disponibilità</b>
Orizzontale: <2.2 m	$0.903 \times 10^{-7} / \text{h}$	99.926%

*Tabella 4.6: Prestazioni osservate del sistema MSAS*

Le autorità giapponesi prevedono uno sviluppo del sistema nel prossimo futuro, con l'estensione della larghezza di banda per la frequenza L1 e il passaggio alla trasmissione in doppia frequenza: alla L1 si dovrebbe aggiungere la trasmissione in banda L5. Inoltre l'aumento delle Ground Monitor Station e un aggiornamento del software permetteranno di aumentare il servizio offerto fino alla classe 3, cioè fino all'avvicinamento LPV.

### **4.1.3 EGNOS**

L'European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) è un sistema SBAS europeo, progettato per migliorare il segnale dei sistemi di navigazione GPS e in futuro GALILEO. Il programma, approvato dal Consiglio europeo nel 1994 è entrato nella fase di initial operations nel 2005, trasmettendo un segnale continuo con il servizio EGNOS v.1. Nel 2009 il primo dei servizi definitivi, l'Open Service, è stato dichiarato operativo, seguito l'anno successivo dall'EGNOS Data Access Service; nel 2012 il servizio Safety Of Life è stato certificato per l'uso nell'aviazione, dando inizio alla fase di piena operatività di EGNOS.

#### ***4.1.3.1 Architettura di EGNOS***

##### **4.1.3.1.1 Segmento spaziale**

Il segmento spaziale di EGNOS è composto da tre satelliti geostazionari (GEO) che trasmettono informazioni sulle correzioni e l'integrità per i satelliti GPS nella banda di frequenza L1 (1575.42 MHz). I satelliti sono: Inmarsat-3 AOR-E (Atlantic Ocean Region Est), Inmarsat-3 IOR-W (Indian Ocean Region West) ed ESA-Artemis. I satelliti inmarsat, prodotti dalla Lockheed Martin, sono i più vecchi, essendo stati lanciati rispettivamente nel settembre 1996 e nel febbraio 1998, mentre ESA Artemis è un satellite europeo lanciato nel 2003 che porta altri carichi paganti oltre al carico di navigazione di EGNOS.

Tale configurazione serve ad offrire un'adeguata ridondanza su tutta l'area servita da EGNOS in caso del guasto di un satellite. Infatti per beneficiare del servizio di EGNOS è necessario ricevere il messaggio di un solo satellite e il segmento spaziale è organizzato in modo tale che in ogni momento almeno due dei tre satelliti trasmettano un segnale operativo.

Nel futuro i satelliti GEO potrebbero essere rimpiazzati da altri satelliti analoghi con codici PNR diversi e la cui esatta posizione orbitale potrebbe variare, tuttavia tale cambiamenti saranno trasparenti per l'utenza non dovendo richiedere alcuna modifica ai ricevitori. Infatti tutti i ricevitori SBAS sono in grado di individuare e usare ogni codice di una serie pre-allocata per SBAS e ad esso riservata.

##### **4.1.3.1.2 Signal in Space**

I satelliti GEO trasmettono un segnale a 1575.42 MHz, nella banda L1, composto dalla combinazione di un codice di navigazione Pseudo-Random Noise (PRN) a 1023 bit e di un messaggio di navigazione a 250 bit al secondo, contenente le correzioni e i dati sull'integrità elaborati dal segmento terrestre. Il messaggio di navigazione è composto da una serie di Message Types (MT) il cui formato e contenuto sono stabiliti dagli standard ICAO SARPs e RCTA SBAS MOPS.

<b>Message Type</b>	<b>Contenuto</b>
<b>0</b>	SBAS Test mode
<b>1</b>	Maschera PRN
<b>2-5</b>	Correzioni rapide
<b>6</b>	Informazioni sull'integrità
<b>7</b>	Fattore di degradazione delle correzioni rapide
<b>9</b>	Effemeridi dei satelliti GEO EGNOS
<b>10</b>	Parametri di degradazione alla perdita del messaggio
<b>12</b>	Parametri per l'offset tra lo SBAS network time e l'UTC
<b>17</b>	Almanacco dei satelliti GEO
<b>18</b>	Maschere per la rete di punti cui vengono applicate le correzioni ionosferiche
<b>24</b>	Correzioni rapide per gli errori dei satelliti (fino a 6 satelliti) e a lungo termine (per 1 satellite)
<b>25</b>	Correzioni a lungo termine per gli errori di effemeridi e clock dei satelliti (fino a 2 satelliti)
<b>26</b>	Correzioni per il ritardo dovuto alla ionosfera
<b>27</b>	Messaggio di servizio che definisce la regione geografica
<b>63</b>	Messaggio nullo (filler qualora non fossero disponibili gli altri messaggi)

*Tabella 4.7: Lista dei messaggi del Signal-In-Space EGNOS*

#### 4.1.3.1.3 Segmento terrestre

Il segmento terrestre di EGNOS è un sistema distribuito e ridondante, diviso in una serie di sottosistemi adibiti a compiti specifici che vengono definiti critici se garantiscono le prestazioni di integrità, accuratezza, disponibilità del servizio. Sottosistemi non critici si occupano invece principalmente di monitoraggio e controllo e archiviazione dei dati. L'architettura del sistema fa in modo che esista un flusso di dati critico separato da un flusso di dati non critico.

Il segmento terrestre è composto da una rete di stazioni Ranging Integrity Monitoring Stations (RIMS), quattro Mission Control Centers (MCC), divise nei moduli Central Processing Facilities (CPF) e Central Control Facility (CCF) e sei Navigation Land Earth Stations (NLES). Il flusso di dati critico passa dai RIMS ai CPF alle NLES. Il Service Provider di EGNOS gestisce inoltre le strutture Performance Assessment and Checkout Facility (PACF) e Application Specific Qualification Facility (ASQF) a garanzia della disponibilità del servizio. EGNOS dispone inoltre di una rete di comunicazione propria per tutti i componenti di segmento terrestre, la EGNOS Wide Area Network (EWAN).

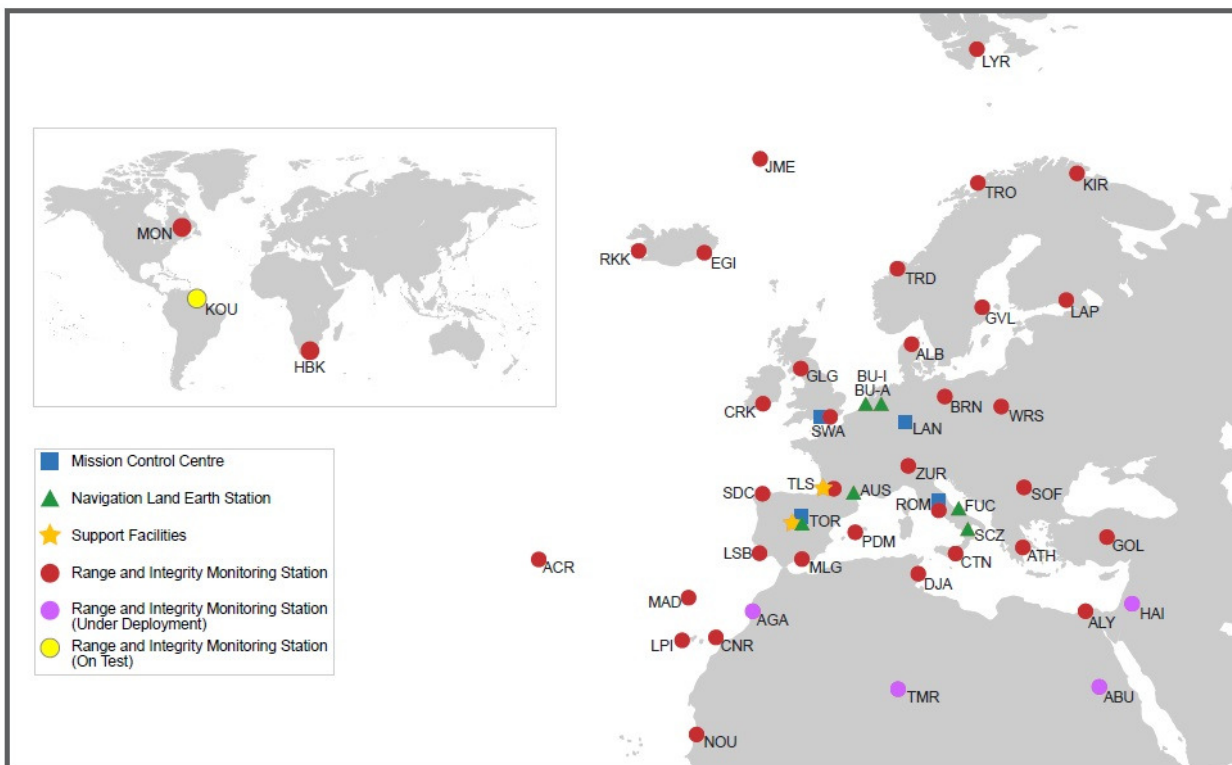


Figura 4.2: Segmento terrestre di EGNOS

#### 4.1.3.1.3.1 Ranging Integrity Monitoring Stations (RIMS)

La configurazione della rete di RIMS prevede attualmente 37 stazioni distribuite principalmente nell'area europea dove è offerto il servizio EGNOS (vedere figura 3.2). Attualmente ulteriori stazioni sono in via di realizzazione principalmente nell'area del nord Africa, con lo scopo di migliorare le prestazioni nell'estremità sud dell'area di servizio di EGNOS.

Le RIMS hanno come scopo principale quello di raccogliere le misure dei satelliti GPS e ogni secondo trasmettere tali dati grezzi alle Central Processing Facilities (CPF), moduli delle Mission Control Center.

#### 4.1.3.1.3.2 Mission Control Center (MCC)

Le quattro Mission Control Centers (MCC) sono composte dai moduli Central Processing Facility (CPF) e Central Control Facility (CCF). A partire dal 2014 il numero di MCC è stato rivisto per razionalizzare il sistema pur mantenendo la ridondanza, riducendole a due; attualmente sono in corso i lavori preparativi per tale razionalizzazione.

#### *4.1.3.1.3.3 Central Processing Facility (CPF)*

A differenza delle RIMS che si limitano ad acquisire e ritrasmettere dati grezzi, le CPF hanno la funzione di elaborare i dati per sviluppare il set di correzioni che verranno inviate agli utenti EGNOS. Tre sono le correzioni elaborate dalle CPF a fronte dei tre principali errori dei sistemi GNSS: errori di clock (tempo), errori sulle effemeridi e gli errori dovuti alla ionosfera. Le correzioni di tempo vengono elaborate per ogni satellite GPS (o GALILEO) visibile dalle stazioni RIMS e risultano valide ovunque sia ricevibile il segnale di EGNOS. Le correzioni sulle effemeridi migliorano l'identificazione delle posizioni orbitali dei satelliti GNSS e la loro accuratezza va degradandosi man mano che ci si allontana dalla parte centrale dell'area coperta da EGNOS. Le CPF elaborano inoltre un modello per stimare gli errori dovuti alla ionosfera basandosi sui dati forniti dalle RIMS; l'accuratezza di tale modello dipende dalla densità della rete di RIMS rispetto all'area coperta e pertanto le correzioni ionosferiche vengono fornite solo per la zona centrale (corrispondente grossomodo all'Europa) dell'area coperta da EGNOS.

EGNOS non è in grado tuttavia di elaborare correzioni per gli errori dovuti alla troposfera, al rumore del ricevitore e al multipath, che continueranno ad influire sul grado di precisione finale. Le CPF sono quindi in grado di fornire una stima degli errori residui attesi dopo l'applicazione delle correzioni EGNOS, che vengono caratterizzati in due parametri. Il primo, lo User Differential Range Error (UDRE), rappresenta la stima dell'errore di distanza dopo l'applicazione delle correzioni di tempo e delle effemeridi per uno specifico satellite GNSS, l'altro, il Grid Ionospheric Vertical Error (GIVE), stima l'errore in verticale dopo l'applicazione della correzione ionosferica per una determinata posizione geografica. I due parametri vengono usati per ottenere l'errore residuo finale, in verticale e in orizzontale.

Secondo compito delle CPF è la ricerca di eventuali anomalie nel sistema GNSS o in EGNOS stesso. Delle funzioni di monitoraggio controllano i dati in entrata e se questi superano un certo livello forniscono un avviso all'utente entro il Time To Alert, migliorando l'integrità del sistema.

#### *4.1.3.1.3.4 Central Control Facility (CCF)*

Il secondo modulo dei MCC è il CCF, che ha funzione di monitoraggio continuo su tutto il sistema, oltre ad archiviare tutti i dati ricevuti e prodotti da EGNOS. Il segmento terrestre è progettato in modo che tutte le funzioni di monitoraggio e controllo non automatizzate siano eseguite nei CCF, cioè fuori dal flusso critico di dati. Il sistema dei CCF è ridondante e organizzato in modo che una stazione CCF, detta Master, sia attiva in un determinato momento e se questa dovesse subire un guasto, le operazioni di monitoraggio e controllo verrebbero immediatamente trasferite ad un'altra stazione CCF, detta di Hot Backup. Le rimanenti due stazioni, o Cold Backup, sarebbero pronte ad attivarsi nell'eventualità di ulteriori problemi.

#### *4.1.3.1.3.5 Navigation Land Earth Stations (NLES)*



Il segnale elaborato dalle MCC non viene trasmesso direttamente ai satelliti, ma viene inviato alle Navigaton Land Earth Stations, che provvedono alla ritrasmissione ai satelliti GEO. Ogni NLES è in grado di selezionare automaticamente da che CPF ritrasmettere i dati tra le quattro disponibili usando i flag di integrità e Quality of Service inviati dalle CPF stesse. Per ogni satellite di EGNOS sono disponibili due specifiche stazioni NLES, una attiva e una di hot backup; nel caso la stazione attiva dovesse interrompere la trasmissione la CPF d cui sta ricevendo provvede automaticamente ad scambiare le funzioni con quella di backup. In ogni caso il sistema è progettato per impedire che il satellite GEO sia collegato con più di una stazione NLES contemporaneamente. Il segnale di correzione viene combinato con il codice PNR del satellite GEO e con altri segnali creando un segnale EGNOS preliminare sincronizzato con la frequenza L1; tale segnale preliminare viene quindi combinato con segnali di up-link in banda C e il satellite geostazionario provvederà a filtrare e spostare in frequenza il segnale EGNOS per la trasmissione in banda L1.

#### *4.1.3.1.3.6 Altri elementi del segmento terrestre*

Altri moduli del segmento terrestre offrono attività di supporto e manutenzione per il funzionamento del sistema di EGNOS. La Performance Assessment and Checkout Facility (PACF) offre supporto alla gestione di EGNOS con l'analisi delle performance, il troubleshooting e lo sviluppo delle procedure operative; contiene inoltre la Development and Verification Platform (DVP), usata per validare e verificare i requisiti di EGNOS durante la fase di sviluppo. La Application Specific Qualification Facility (ASQF) collabora con le autorità aeronautiche per la certificazione delle applicazioni di EGNOS.

#### *4.1.3.1.4 Segmento Utenza*

Il segmento utenza è composto dai ricevitori capaci di captare il segnale EGNOS. Per l'uso in ambito aeronautico i ricevitori devono essere conformi agli standard della Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), SBAS Minimum Operational Performance Standards (MOPS) DO-229. Tali standard sono stati espressamente sviluppati per l'uso in volo e supportano la navigazione sia orizzontale che verticale, oltre ad assicurare l'integrità della posizione calcolata. Gli standard RCTA MOPS definiscono anche differenti classi di ricevitori in base ai diversi tipi di operazioni e fasi di volo supportate: la classe 1 comprende le fasi di crociera oceanica e locale, le fasi terminali, l'avvicinamento (con navigazione laterale LNAV) e il decollo, la classe 2 aggiunge alla classe 1 il requisito di supportare l'avvicinamento (LNAV/VNAV), la classe 3 aggiunge l'avvicinamento Localizer Performance (LP) e Localizer Performance with Vertical Guidance (LPV), infine la classe 4 comprende i ricevitori che supportano solamente il segmento finale dell'avvicinamento.

Per quanto riguarda il servizio Open Service invece non è necessario che i ricevitori rispettino gli standard RCTA MOPS, ma si suppone siano in grado di decodificare ed applicare le correzioni alle effemeridi e agli orologi dei satelliti e le correzioni ionosferiche, oltre che riconoscere gli avvisi inviati dai messaggi SBAS.

### **4.1.3.2 Servizi e prestazioni**

#### *4.1.3.2.1 Open service*

Il servizio EGNOS Open Service (OS) è un servizio disponibile liberamente e gratuitamente in Europa per ogni

utente in possesso di un ricevitore GPS/SBAS compatibile, senza che sia necessaria alcuna certificazione per il ricevitore. A differenza del servizio Safety of Life, progettato per rispondere ai requisiti e le norme ICAO per la navigazione nell'ambito del trasporto aereo, il servizio OS non è stato progettato per l'uso in un particolare ambito, ma si presta ad applicazioni non Safety of Life nei campi più disparati, dal trasporto navale e terrestre, all'agricoltura di precisione, alla mappatura dei terreni.

Le prestazioni di EGNOS OS (da *EGNOS Open Service Definition Document v. 2.2*, [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/egnos\\_os\\_sdd\\_v2\\_2.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/egnos_os_sdd_v2_2.pdf)) vengono definite in base ad alcune condizioni: si suppone che il ricevitore risponda alle specifiche MOPS DO-229 per un ricevitore di classe 3, tranne che per l'uso dei protections levels; cioè che il ricevitore sia in grado di implementare la soluzione di navigazione come da norme. Si considera inoltre che il ricevitore sia in grado di tenere in considerazione gli indicatori UDRE/GIVE nel monitoraggio dei satelliti e i punti della griglia ionosferica, scartando quelli indicati come "Non monitorati" o "Non usare". Infine si suppone un ambiente clear sky, con nessun ostacolo a ostruire la visibilità per satelliti più alti di 5° oltre l'orizzonte.

Accuratezza orizzontale	Accuratezza verticale
3 m	4 m

Tabella 4.8: Requisiti di prestazioni del servizio EGNOS OS

L'area di copertura del servizio EGNOS OS comprende il territorio degli stati dell'EU 25 oltre alla Svizzera e alla Norvegia.

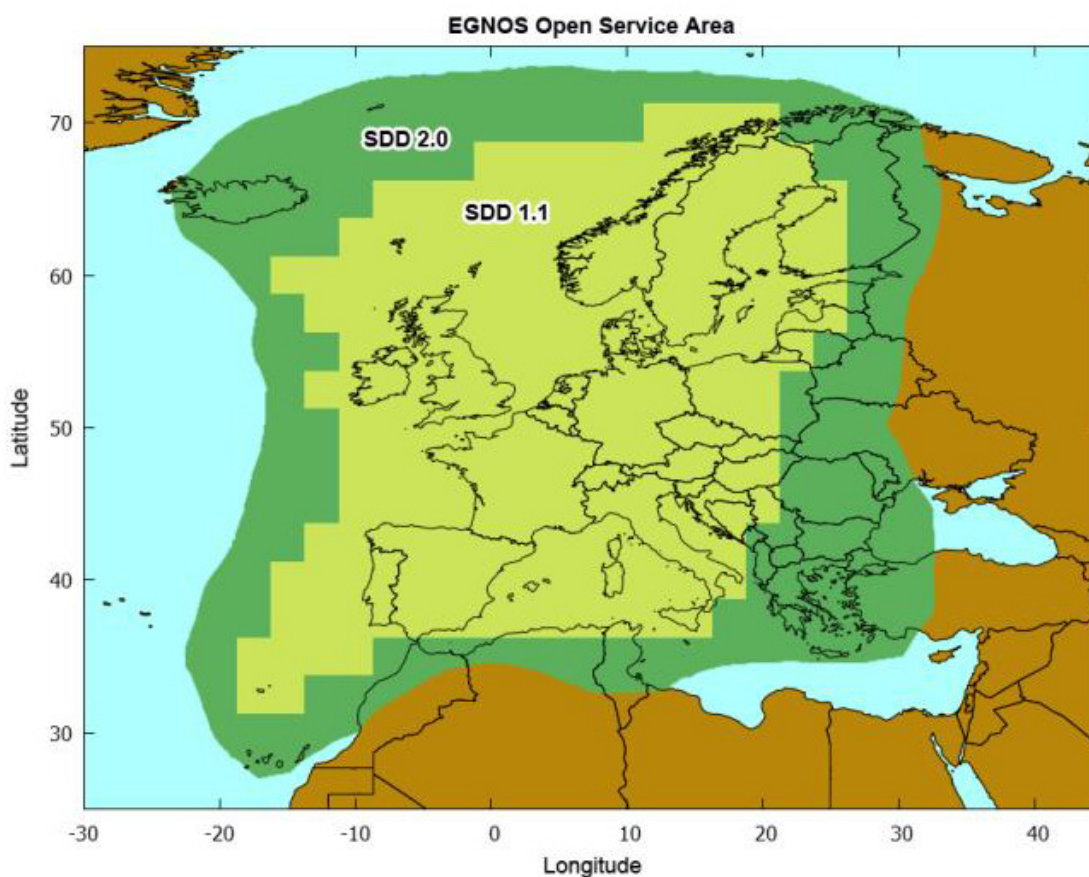


Figura 4.3: Evoluzione dell'area di copertura del servizio EGNOS OS nei Service Definition Document 1.1 e 2.0

Oltre al servizio di posizionamento EGNOS OS offre un servizio per la determinazione del tempo. Il riferimento di tempo usato da EGNOS è la scala EGNOS Network Time (ENT), basata sulle misure degli orologi atomici posti nelle stazioni RIMS. Le stazioni CPF processano i dati delle stazioni RIMS per calcolare in tempo reale l'ENT, che è continuamente allineato verso il GPS Time per mantenere la distanza tra le due scale di tempo entro i 50 nanosecondi. Tutte le correzioni al clock dei satelliti vengono trasmesse agli utenti nella scala ENT insieme all'offset tra l'ENT e il Coordinated Universal Time (UTC) e applicando le correzioni EGNOS alle misure GPS si ottiene una misura precisa di posizione e di tempo, espressa in ENT.

Per poter usare il servizio EGNOS per la determinazione del tempo, il ricevitore deve stimare il tempo locale in ENT applicando le correzioni EGNOS alle misure GPS. Un ricevitore statico la cui posizione è nota potrà quindi

ottenere il tempo locale con un'incertezza che è possibile modellare come:

$\sigma(ENT)_{LOCAL} = \frac{UERE_{EGNOS}}{c\sqrt{N}}$  [[sec]], con c la velocità della luce, UERE lo user equivalent range error ed N il numero di misure.

Nel caso di un ricevitore in movimento l'incertezza nella determinazione del tempo aumenta per l'effetto della Time Dilution Of Precision (TDOP) che caratterizza come la geometria dei satelliti possa risultare in errori nel calcolo dello pseudorange e quindi del tempo:

$$\sigma(ENT)_{LOCAL} = \frac{UERE_{EGNOS}}{c} TDOP \text{ [[sec]]}$$

Quindi è possibile convertire il tempo locale da ENT all'UTC, applicando l'offset contenuto nel messaggio 12 di EGNOS. I requisiti prevedono che l'offset tra ENT e GPS Time non superi mai i 50 ns.

Grazie ai rapporti annuali e mensili del servizio EGNOS (disponibili in rete sul sito di supporto per EGNOS , [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/index.php](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/index.php)) si possono confrontare i dati reali dell'accuratezza misurati dalle stazioni RIMS con i requisiti:

Periodo	Accuratezza orizzontale	Accuratezza verticale
<b>Aprile 2012-Marzo 2013</b>	1.3 m	2.3 m
<b>Aprile 2013-Marzo 2014</b>	1.7 m	2.6 m
<b>Aprile 2014-Marzo 2015</b>	1.9 m	2.7 m
<b>Luglio 2015</b>	1.4 m	2.7 m

Tabella 4.9: Prestazioni annuali del servizio EGNOS OS

La disponibilità del servizio si è sempre mantenuta sopra al 99% in gran parte dell'area di copertura con l'esclusione di alcune stazioni RIMS poste in zone periferiche come l'Islanda o le Canarie.

Si nota come le prestazioni siano state sempre superiori ai requisiti stabiliti nel Service Definition Document, anche se si riscontra una certa degradazione dopo le ottime prestazioni iniziali.

Le principali cause di errore nelle prestazioni effettive vengono attribuite a:

- Problemi nel monitoraggio della ionosfera causati da un incremento dell'attività solare; nel periodo che va dal 2013 al 2014 si è in particolare riscontrato un'attività solare anomala che ha fortemente perturbato la ionosfera. Tali effetti costituiscono la fonte principale di errore e il sistema dovrebbe venire reso più robusto rispetto a perturbazioni della ionosfera nelle prossime versioni di EGNOS ed in particolare nel lungo termine con il passaggio alla trasmissione in doppia frequenza.
- La perdita non programmata del servizio di una o più stazioni RIMS; sia nel 2013 che nel 2014 una delle

stazioni RIMS ha dovuto interrompere il servizio riducendo le prestazioni del servizio nell'area da essa coperta.

- La configurazione della costellazione GPS; cambiamenti nella configurazione dei satelliti in orbita possono ridurre il numero di satelliti in vista in alcune regioni.

Per quanto riguarda il servizio per la determinazione del tempo, l'offset tra l'EGNOS Network Time e il GPS Time si è mantenuto ben sotto il requisito di un massimo di 50 ns, non superando i 6 ns.

#### 4.1.3.2.2 Safety Of Life

Il servizio EGNOS Safety of Life (SoL) è progettato per le applicazioni safety-critical nell'ambito dei trasporti ed è liberamente accessibile agli utenti senza alcun costo, anche se l'uso operativo del servizio potrebbe richiedere autorizzazioni specifiche dalle autorità competenti. Il servizio SoL è stato quindi progettato per rispondere ai requisiti dell'International Civil Aviation Organization (ICAO) per l'Approach with Vertical Guidance, cat. 1 (APV-I), come definito nell'ICAO SARPS Annesso 10, vol. 1.

Una delle particolarità del servizio SoL è la generazione di proposte di Notice To Airmen (NOTAM) in accordo con norme ICAO SARPs che prevedono esplicitamente la necessità di un servizio NOTAM durante le procedure di avvicinamento basate su sistemi SBAS. Le caratteristiche di tale servizio permettono di prevedere o riscontrare perdite del servizio APV-I per gli aeroporti e creare proposte di NOTAM secondo il formato definito dall'ICAO per facilitare la validazione da parte degli uffici competenti NOTAM Offices (NOF). Il servizio di generazione delle proposte NOTAM è entrato in funzione inizialmente il 2 marzo 2011, con la dichiarazione di inizio del servizio SOL e le sue prestazioni sono migliorate nel tempo fino a raggiungere il livello di servizio attuale (4) dal 1 gennaio 2014. Con il livello di servizio 4 le proposte di NOTAM vengono notificate un minimo di 72 ore in anticipo per eventi GNSS previsti in anticipo, in rispetto alle raccomandazioni ICAO, ed entro 2 ore per gli eventi GNSS non previsti in anticipo. Il tempo di reazione nella generazione di NOTAM per eventi non previsti tuttora non risulta in linea con le raccomandazioni ICAO, ma dovrebbe venire ridotto entro il 2016 per rendere il servizio di proposte di NOTAM completamente pienamente conforme alle norme ICAO.

Le prestazioni per il servizio SoL vengono definite per diverse operazioni e fasi di volo, seguendo le indicazioni dell'ICAO; in particolare le prestazioni minime vengono definite per la classe di operazioni 1, la meno stringente, comprendente le fasi di volo dalla crociera fino al Non Precision Approach (NPA) e per la classe 3, la più stringente, che include le fasi di volo fino all'avvicinamento Localizer Performance with Vertical guidance (LPV).

Accuratezza	Integrità	Disponibilità	Continuità
Orizzontale: 220 m	$1 \times 10^{-7}/h$	>99.9%	< $2.5 \times 10^{-4}/h$ in gran parte dell'ECAC < $2.5 \times 10^{-3}/h$ sulla restante parte dell'ECAC

Tabella 4.10: Requisiti di prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 1

L'area di copertura del servizio SoL classe 1 si basa sull'inviluppo delle Flight Information Region (FIR) dei membri dell'European Civil Aviation Conference (ECAC), più le aeree di controllo oceaniche di Reykjavik, Swanwick and Santa Maria. In particolare l'area di copertura corrisponde con l'area compresa tra la latitudine 70°N a nord e 20°N a sud e tra la longitudine 40°W ad ovest e 40°E ad est.

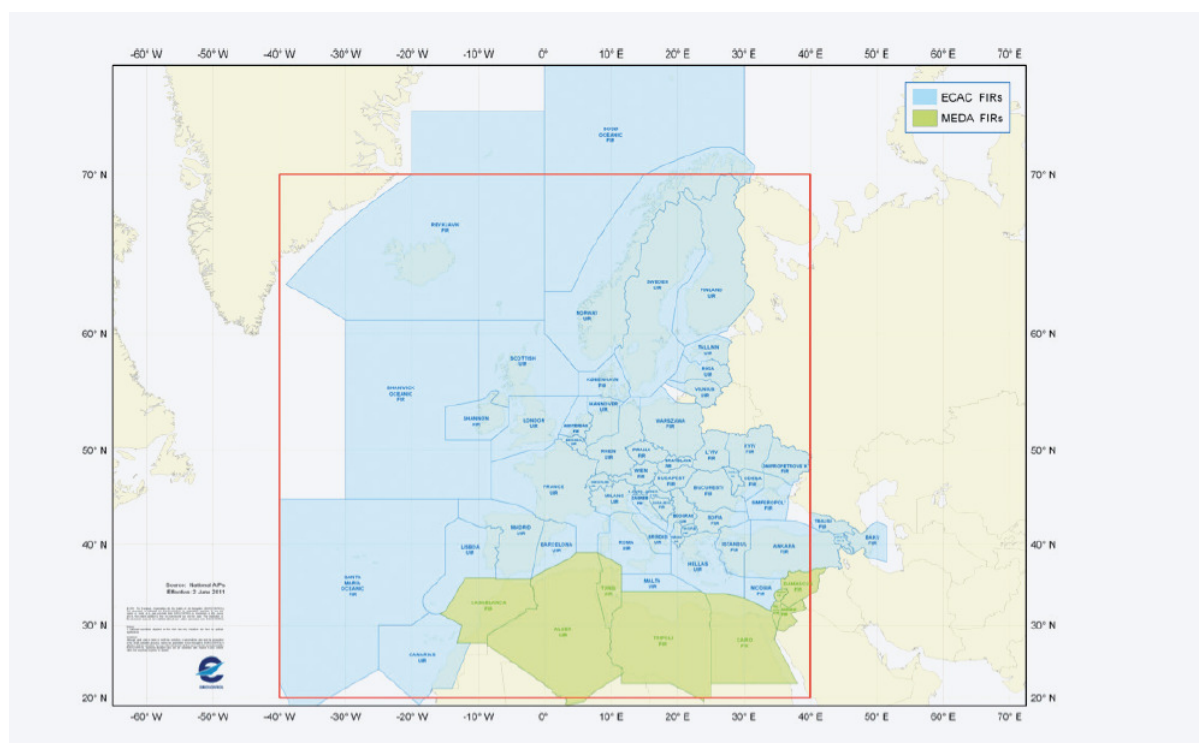


Figura 4.4: Area di copertura del servizio EGNOS OS (in rosso)

Le prestazioni per la classe 1 in generale raggiungono i requisiti dell'ICAO per tale classe di operazioni, tranne che per alcune regioni in cui il rischio di continuità raggiunge una probabilità di  $2.5 \times 10^{-3}/h$ , a fronte di un requisito ICAO per un rischio di continuità inferiore a  $1 \times 10^{-4}/h$ . Nonostante ciò la prestazione raggiunta è

considerata sufficiente per l'uso nell'aviazione civile e le stesse norme ICAO prevedono la possibilità di utilizzare un sistema anche quando non rispetti il requisito di continuità purché le autorità locali definiscano misure operazionali per mitigare il rischio dovuto alla riduzione della continuità.

Accuratezza	Integrità	Disponibilità	Continuità
Orizzontale: 3 m Verticale: 4 m	$2 \times 10^{-7}$ /avvicinamento TTA: < 6 s	0.99	< $1 \times 10^{-4}$ /15 s nell'area centrale dell'ECAC < $5 \times 10^{-4}$ /15 s in gran parte dell'ECAC < $1 \times 10^{-3}$ /15 s nella restante parte dell'ECAC

Tabella 4.11: Requisiti di prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 3

L'area di copertura del servizio Sol classe 3 si basa sui territori dei paesi parte dell'ECAC.

Come per le prestazioni per la classe 1, anche le prestazioni per la classe 3 raggiungono (e superano, in particolare per le prestazioni di accuratezza orizzontale e verticale) i requisiti dell'ICAO, tranne che per la continuità che dovrebbe avere un rischio inferiore a  $8 \times 10^{-6}/15s$ , per la quale valgono le stesse considerazioni fatte sopra.

Dai report annuali del servizio EGNOS possiamo verificare le effettive prestazioni raggiunte dal servizio SoL.

Periodo	Accuratezza	Integrità	Disponibilità	Continuità
<b>Aprile 2012-marzo 2013</b>	Orizzontale: 1.3 m	Nessun evento	>99.9%	Valori compresi tra $5 \times 10^{-3}/h$ e $5 \times 10^{-4}/h$ sull'Europa continentale
<b>Aprile 2013-marzo 2014</b>	Orizzontale: 1.7 m	Nessun evento	>99.9%	Valori compresi tra $2.5 \times 10^{-3}/h$ e $5 \times 10^{-4}/h$ sull'Europa continentale
<b>Aprile 2014-marzo 2015</b>	Orizzontale: 1.9 m	Nessun evento	>99.9%	Valori compresi tra $1 \times 10^{-3}/h$ e $2.5 \times 10^{-4}/h$ sull'Europa

				continentale
<b>Luglio 2015</b>	Orizzontale: 1.4 m	Nessun evento	>99.9%	Valori compresi tra $1 \times 10^{-3}/h$ e $2.5 \times 10^{-4}/h$ sull'Europa continentale

Tabella 4.12: Prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 1

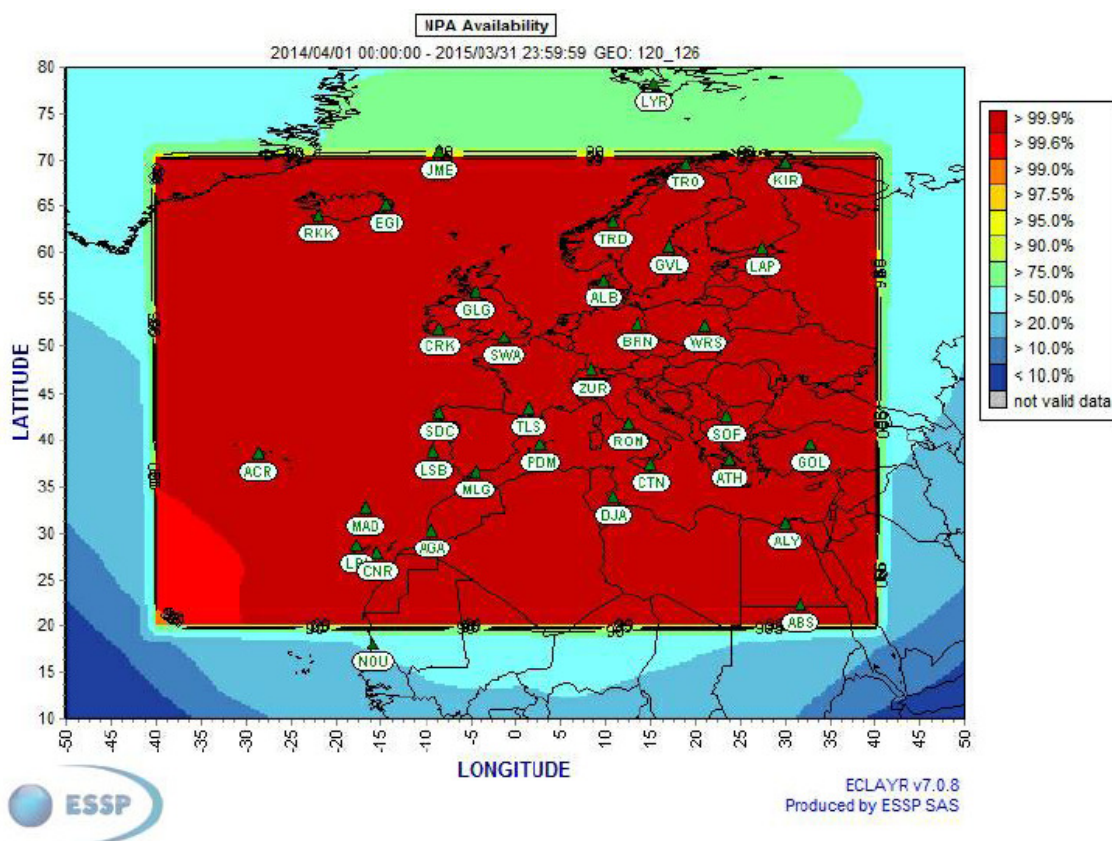


Figura 4.5: Disponibilità di EGNOS SoL classe 1 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015

Durante il periodo considerato non si è riscontrato alcun evento di integrità, definito come l'occorrenza che il Navigation System Error superi il corrispondente livello di protezione per la classe 1.



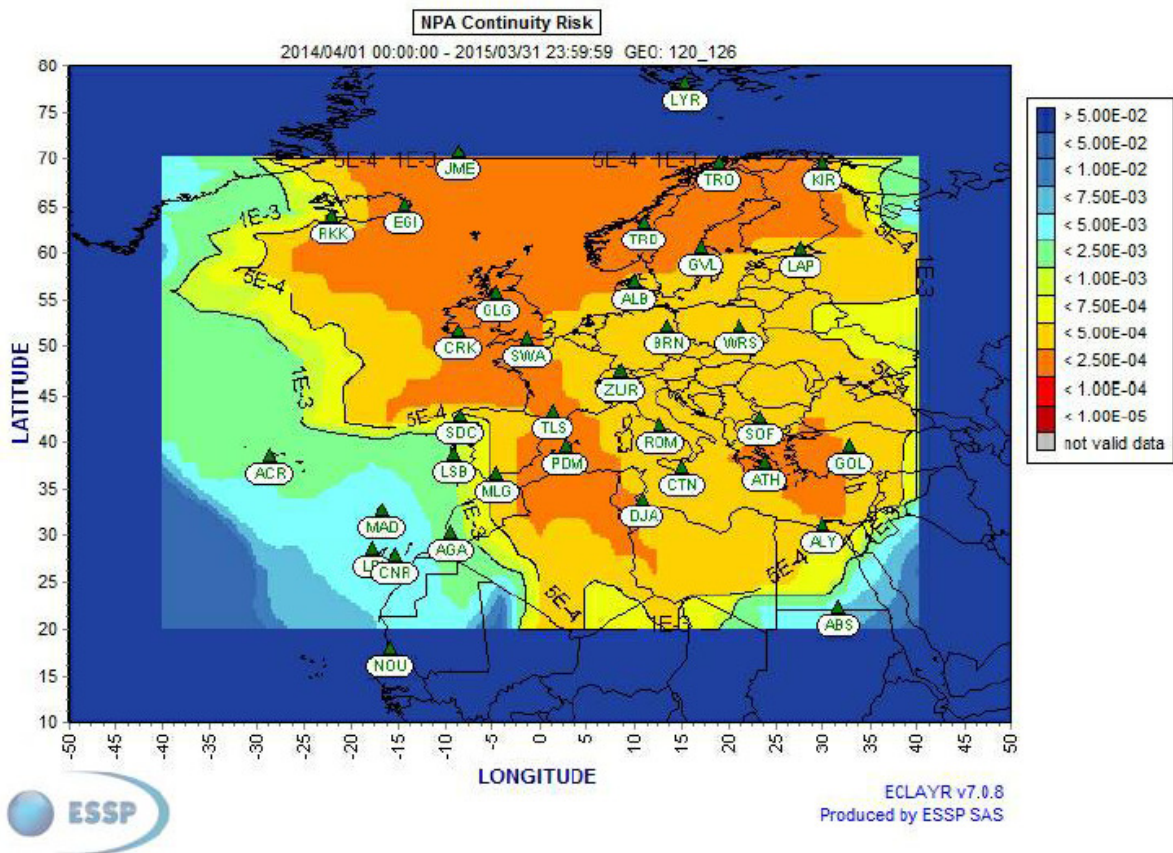


Figura 4.6: Continuità di EGOS SoL classe 1 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015

Nel caso dei requisiti per la classe di operazioni 3 (APV-I) per lo stesso periodo di tempo si nota come la disponibilità non sia riuscita a raggiungere il 99% sull'intera area di servizio; ciò è dovuto principalmente all'aumento dell'attività solare e ai suoi effetti sulla ionosfera. Nonostante ciò la disponibilità è stata superiore al 99% su tutti gli aeroporti che svolgano operazioni EGOS.

<b>Periodo</b>	<b>Accuratezza</b>	<b>Integrità</b>	<b>Disponibilità</b>	<b>Continuità</b>
<b>Aprile 2012-marzo 2013</b>	Orizzontale: 1.3 m Verticale: 2.3 m	Nessun evento	>99% sul 100% dell'ara di servizio	$<5 \times 10^{-4} / 15$ s sul 99.77% dell'area di servizio
<b>Aprile 2013-marzo 2014</b>	Orizzontale: 1.7 m Verticale: 2.6 m	Nessun evento	>99% sul 91.9% dell'ara di servizio	$<1 \times 10^{-3} / 15$ s sul 97.37% dell'area di servizio  $<5 \times 10^{-4} / 15$ s sul 96.10% dell'area di servizio
<b>Aprile 2014-marzo 2015</b>	Orizzontale: 1.9 m Verticale: 2.7 m	Nessun evento	>99% sul 94.95% dell'ara di servizio	$<5 \times 10^{-4} / 15$ s sul 99.48% dell'area di servizio
<b>Luglio 2015</b>	Orizzontale: 1.4 m Verticale: 2.7 m	Nessun evento	>99% sul 99.53% dell'ara di servizio	$<5 \times 10^{-4} / 15$ s sul 100% dell'area di servizio

Tabella 4.13: Prestazioni EGNOS SoL per classe di operazioni 3

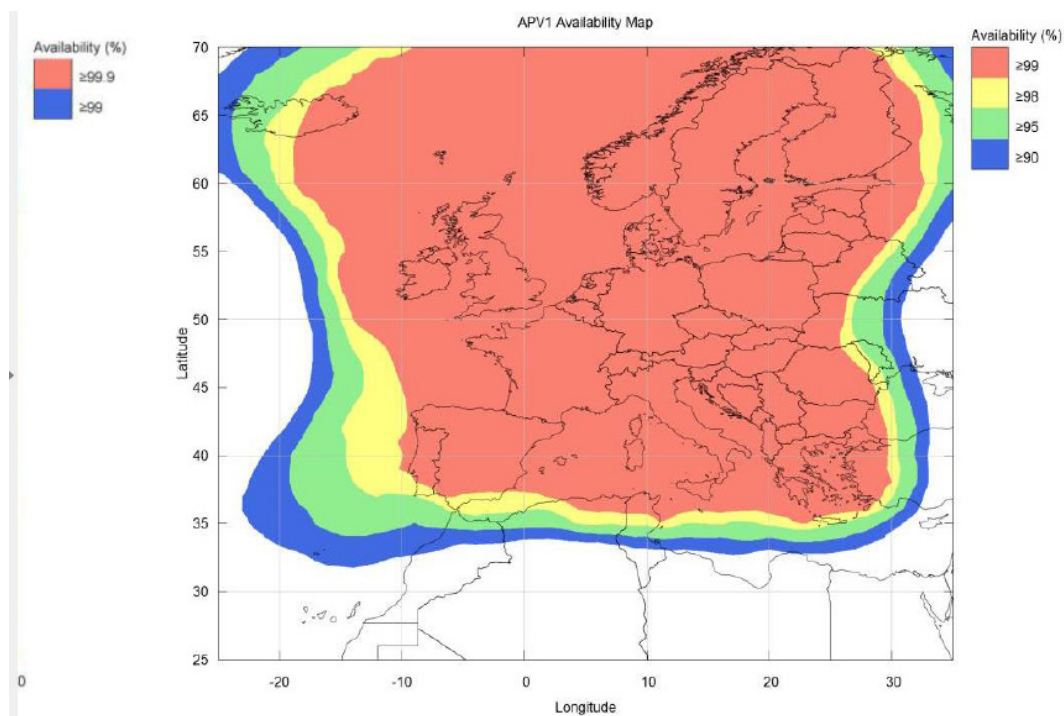


Figura 4.8: Disponibilità di EGNOS SoL classe 3 da marzo 2014 ad aprile 2015



Figura 4.7: Disponibilità di EGNOS SoL classe 3 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015

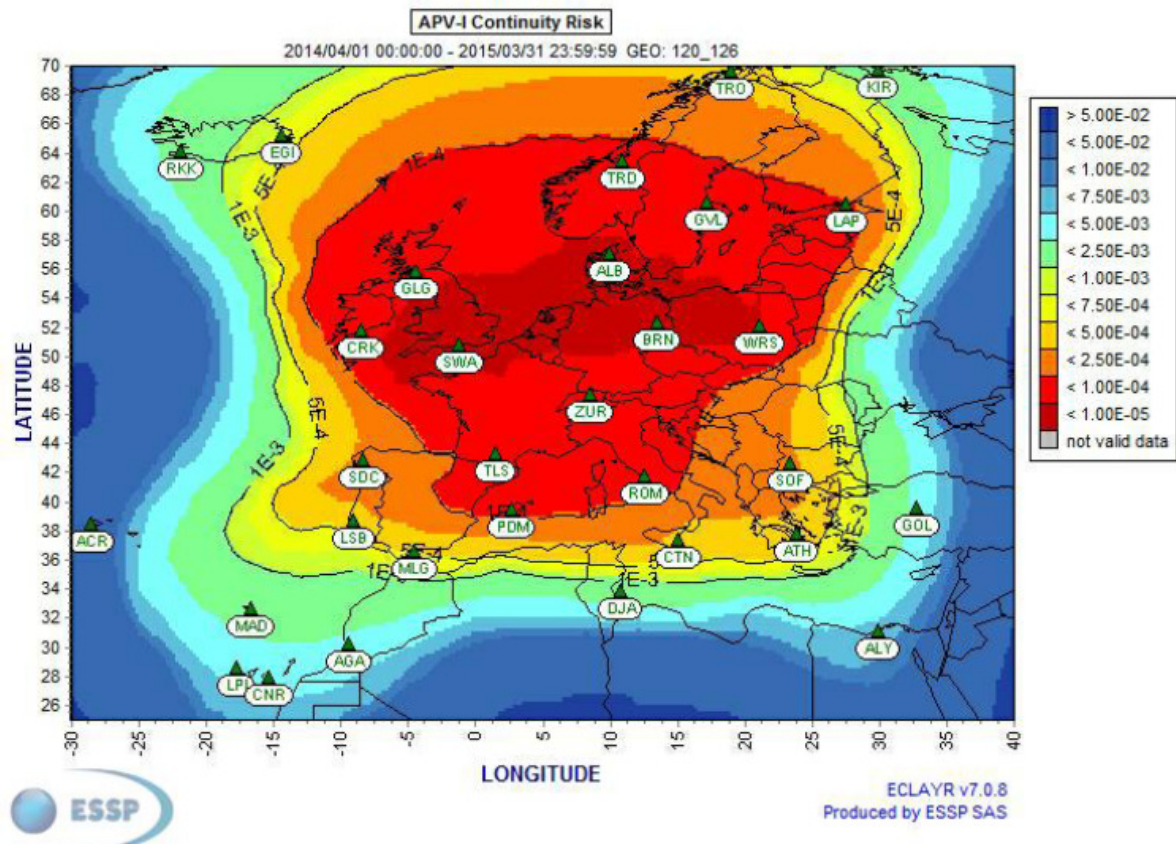


Figura 4.9: Continuità di EGNOS Sol classe 3 per il periodo da marzo 2014 ad aprile 2015

#### 4.1.3.2.3 EGNOS Data Access Service

Il terzo servizio offerto, disponibile dal 26 luglio 2012, è l'EGNOS Data Access Service, che mette a disposizione degli utenti i dati elaborati dal sistema EGNOS in tempo reale, oltre l'accesso ai dati archiviati, previa registrazione al servizio EDAS. Il sistema EDAS si compone di due elementi, il Data Server, che elabora i dati e fa da interfaccia con il Mission Control Center ed il Client SW Component, che funge da interfaccia tra l'utente ed EDAS. La presenza dell'EGNOS Data Server offre alcuni vantaggi rispetto ad un accesso diretto degli utenti ai dati: protegge i protocolli e il formato dei dati EGNOS, introducendo un livello di sicurezza tra EGNOS e l'utenza, nello stesso tempo permette la connessione di un gran numero di utenti. Il Client SW è una componente software che permette agli utenti di connettersi al Data Service, ottenendo i dati EGNOS senza la necessità di avere un ricevitore satellitare. I dati messi a disposizione da EDAS sono: i dati di navigazione in entrambe le frequenze dei satelliti GPS, GLONASS nella frequenza L1, EGNOS GEO nella frequenza L1, raccolti dalle stazioni RIMS e NLES e le correzioni EGNOS elaborate dalla CPF, analoghe a quelle trasmesse agli utenti dai satelliti. I dati sono inviati in tempo reale e aggiornati ogni secondo.

EDAS offre l'accesso ai dati in diverso formato: il service level 0 trasmette dati nel formato ASN.1, mentre il service level 2 trasmette secondo lo standard RTCM 3.1; il service level 1 che trasmetteva con lo standard RTCM 3.0 non è più operativo ed è stato sostituito dal service level 2. A questi si aggiungono altri servizi che sono stati resi disponibili in seguito: il Data Filtering Service permette di filtrare i dati ricevuti dai service level 0 e 2, il servizio FTP permette di accedere ai dati storici EDAS in diversi formati e velocità di trasmissione, il servizio SISNeT permette di scaricare i messaggi dei satelliti EGNOS GEO attraverso internet con il protocollo dell'ESA SISNeT, infine il servizio Ntrip offre i dati GNSS in formato RTCM in tempo reale attraverso il protocollo Ntrip, progettato specificatamente per trasmettere i dati GNSS ad utenti fissi o mobili attraverso internet.

Le performance minime del servizio EDAS vengono quantificate in disponibilità e latenza, definita come il tempo trascorso tra l'invio dell'ultimo bit del messaggio di navigazione da parte segmento spaziale e l'istante in cui lascia il sistema EDAS, nel formato specificato dal livello di servizio richiesto.

Servizio	Disponibilità	Latenza
Service Level 0	98.5%	1.3 s
Service Level 2	98.5%	1.45 s
SISNeT	98%	1.15 s
FTP	98%	N/A (non è un servizio real time)
Data Filtering	98%	Service Level 0: 1.6 s Service Level 2: 1.75 s
Ntrip	98%	1.75 s

Tabella 4.14: Requisiti di prestazioni del servizio EGNOS EDAS

Le prestazioni reali raggiunte dal servizio EDAS sono riportate sotto per il periodo da aprile 2014 a marzo 2015 e per il mese di luglio 2015 e superano in genere i requisiti di latenza, mentre la disponibilità per i servizi più recenti, quali FTP, SISneT, data filtering e Ntrip non sempre ha raggiunto il requisito.

Servizi	Disponibilità	Latenza
Service level 0	99.72%	0.578 s
Service level 1	99.71%	0.585 s
SISNeT	99.24%	0.152 s
FTP	97.72%	N/A (servizio real time)
Data Filtering	97.70%	0.615 s
Ntrip	99.24%	0.410 s

Tabella 4.15: Prestazioni del servizio EGNOS EDAS da aprile 2014 a marzo 2015

Servizi	Disponibilità	Latenza
Service level 0	99.99%	1.195 s
Service level 1	99.99%	1.196 s
SISNeT	GEO sat. 1: 97.95%	0.099 s
	GEO sat 2: 97.81%	0.099 s
FTP	97.69%	N/A (servizio real time)
Data Filtering	97.68%	1.166 s
Ntrip	98.07%	0.614 s

Tabella 4.16: Prestazioni del servizio EGNOS EDAS nel mese di luglio 2015

#### 4.1.3.3 Evoluzione

L'organo responsabile della gestione del programma EGNOS è la Commissione Europea, con L'European Space Agency incaricata per la definizione tecnica del sistema e del suo sviluppo e la European Satellite Service Provider (ESSP) che agisce da service provider.

Nonostante EGNOS abbia raggiunto la piena operatività dal 2011 lo sviluppo del sistema non è ancora completo e la Commissione Europea ha tracciato un piano per l'evoluzione dei servizi offerti dal sistema, descritto in una

serie di documenti disponibili sul sito di supporto di EGNOS: *EGNOS Open Service Roadmap v.3.2*, *EGNOS Safety of Life Service Roadmap v.3.2*, *EGNOS*, *EGNOS Data Access Service Roadmap v.3.2*.

Per ogni servizio offerto, OS, SoL e EDAS, vengono previste quattro principali aree di sviluppo: l'area di copertura del servizio, la robustezza del servizio, la comunicazione con gli utenti ed il livello del servizio offerto.

#### 4.1.3.3.1 Open Service

L'area del servizio, ovvero la zona di copertura di EGNOS OS, dovrebbe subire una estensione nel terzo trimestre 2015. E' infatti previsto che la parte sud dell'area di servizio di EGNOS OS si espanda; i confini precisi della nuova area di copertura verranno pubblicati in una nuova versione del Service Definition Document a inizio 2016. Nel 2017 è prevista un'ulteriore estensione dell'area del servizio: la costruzione di una nuova stazione RIMS nell'est del Mediterraneo permetterebbe di coprire anche Cipro e quindi estendere il servizio OS sull'intera Unione Europea a 28 membri, con l'esclusione delle isole Azzorre.

Altro importante aspetto del servizio da migliorare riguarda la robustezza, ovvero la capacità di mantenere o superare i livelli di prestazione previsti, a dispetto di eventuali interferenze. A tale riguardo verrà iniziato un programma di rinnovamento della flotta di satelliti: a partire dal 2 settembre 2015 il satellite SES 5 (PRN 136), lanciato nel 2012, ha iniziato a trasmettere il segnale di navigazione sostituendo il satellite INMARSAT 4F2 (PRN 126) e nel 2016 ASTRA -5B (PRN 123) andrà a sostituire INMARSAT 3F2 (PRN 120). Inoltre il terzo trimestre del 2015 vedrà l'arrivo di una nuova versione di EGNOS, la ESR v 2.4.1M, con le seguenti caratteristiche a beneficio della robustezza: due nuove stazioni NLES, miglioramenti nel monitoraggio degli Space Vehicles e della ionosfera, in modo da migliorare la risposta del sistema a disturbi della ionosfera.

Per quanto riguarda la comunicazione con gli utenti verranno pubblicate nuove versioni del Service Definition Document, coincidenti con il rilascio delle nuove versioni di EGNOS, ad inizio 2016 e a fine 2017. Infine il terzo trimestre di ogni anno verranno rilasciati dei questionari sulla soddisfazione degli utenti.

#### 4.1.3.3.2 Safety Of Life

Per quanto riguarda il servizio SoL un importante sviluppo riguarderà il livello del servizio: entro la fine del 2015 diventerà operativo il servizio LPV 200, già offerto dal WAAS americano, di cui vengono riportati sotto i requisiti di prestazioni.

Accuratezza	Disponibilità	Continuità	Integrità
16 m, orizzontale 4 m, verticale	0.99	$8 \times 10^{-6} / 15$ s	$2 \times 10^{-7}$ / avvicinamento TTA: 6.2 s HAL: 40 m VAL: 35 m

Tabella 4.17: Requisiti di prestazioni per il servizio SoL LPV 200

All'aumento del livello di servizio corrisponderà la definizione dell'area di copertura di SoL LPV 200, che dovrebbe essere in linea con l'area di copertura del SoL APV I, con la pubblicazione del prossimo Service Definition Document. Con la pubblicazione della prossima versione del sistema EGNOS ESR v 2.4.1 M a fine 2015 si avranno miglioramenti dell'area di copertura anche per altri servizi: il servizio SoL classe 1 (fino a NPA) arriverà a coprire tutti i paesi nordafricani, mediorientali e dell'est Europa detti European Neighbourhood Instrument partner (ENI), con una disponibilità superiore al 99.9%; inoltre la copertura del servizio SoL APV I dovrebbe migliorare nell'area sud-occidentale, comprendente Spagna e Portogallo.

Nel secondo trimestre del 2017 si avrà un'ulteriore versione del servizio EGNOS YSR2, che permetterà di espandere l'area del servizio classe 1 a nord fino al parallelo 72°N per coprire meglio Norvegia e Finlandia. Inoltre una nuova stazione RIMS ad est permetterà di espandere l'area di copertura del servizio SoL APV I nel Mediterraneo, coprendo completamente Malta e le isole greche.

La robustezza del servizio verrà migliorata con l'evoluzione del segmento spaziale e terrestre e il miglioramento del monitoraggio degli veicoli spaziali e della ionosfera già descritti in precedenza. A ciò si aggiungerà un'evoluzione del sistema per la generazione delle proposte di NOTAM.

Per quanto riguarda la comunicazione con gli utenti, oltre all'emissione di nuovi Service Definition Document per riportare i cambiamenti dei servizi offerti e alla pubblicazione di questionari annuali sulla soddisfazione degli utenti, il 2016 vedrà l'aggiornamento del sistema per l'emissione di proposte di NOTAM, in modo da renderlo completamente rispondente ai requisiti ICAO introducendo un nuovo livello di servizio, il service level 5 .

	SL 1	SL 4	SL 5 (dal 2016)
Evento programmato	72 h in anticipo	72 h in anticipo	72 h in anticipo
Evento non programmato	Entro 16 h	Entro 2 h	Entro 10 min.

Tabella 4.18: Caratteristiche servizio per l'emissione di NOTAM

#### 4.1.3.3.3 EDAS

Il servizio EDAS risentirà delle evoluzioni del sistema EGNOS, come l'aggiornamento del segmento spaziale e terrestre, trasmettendo agli utenti anche i dati registrati dalle nuove stazioni a terra, ma non subirà ulteriori modifiche a tipi di servizi offerti o alle loro performance.

#### 4.1.3.3.4 EGNOS v.3

Sul lungo periodo (2020 e oltre) il sistema subirà degli aggiornamenti sostanziali e di vasta importanza con il rilascio di una nuova versione di EGNOS, la v.3 attualmente in fase di definizione; al miglioramento del segnale GPS in singola frequenza L1, che è la missione attuale, si aggiungerà il miglioramento del segnale GPS/GALILEO in doppia frequenza L1/L5 con servizi fino al livello LPV 200.

Le caratteristiche principali di EGNOS v. 3 saranno quindi:



- Prosecuzione degli attuali servizi (ormai definiti servizi legacy) su banda singola L1 fino almeno al 2030.
- Evoluzione su costellazioni multiple. Con l'entrata in servizio del sistema di navigazione GALILEO, EGNOS v.3 dovrà essere in grado di fornire il miglioramento del segnale di satelliti facenti parte di differenti sistemi GNSS.
- Evoluzione in doppia frequenza: la nuova versione di EGNOS trasmetterà in doppia frequenza L1/L5, permettendo una robustezza molto maggiore alle perturbazioni della ionosfera in caso di elevata attività solare.
- Estensione dell'area di copertura del servizio, in particolare miglioramento della copertura sulla regione africana.

#### 4.1.3.4 Applicazioni

Il settore della navigazione satellitare è in forte espansione: il più recente studio di mercato condotto dalla European Global Navigation Satellite System Agency (GSA), il *GNSS Market Report, issue 4*, stima 3.6 miliardi di ricevitori GNSS presenti nel mondo nel 2014 e prevede una rapida crescita che porterà a superare i 9 miliardi di dispositivi per il 2023. Di tali dispositivi la stragrande maggioranza, l'ottantasei per cento, è rappresentata dai dispositivi per telefoni cellulari.

Il valore del mercato per i dispositivi GNSS viene stimato intorno ai 60 miliardi di euro, con una crescita prevista dell'8.3% annuo fino al 2019. Le applicazioni nella telefonia mobile e nel trasporto terrestre rappresentano la maggiore quota del mercato, raggiungendo rispettivamente il 53.2% e il 38% del mercato globale. Le applicazioni nel campo del trasporto aeronautico e navale rappresentano un mercato tutto sommato di nicchia, con quote di appena l'1% del mercato complessivo, un valore inferiore al 4.5% delle applicazioni per le rilevazioni geodetiche e topografiche e all'1.9% dell'agricoltura.

Segmento di mercato	Applicazioni per il mercato di massa	Gestione di forza lavoro, risorse, flotte e traffico	Applicazioni Liability-critical	Applicazioni Safety-critical	Applicazioni di precisione	Applicazioni di determinazione del tempo
<b>Campi di Applicazione</b>	Location Based Services (LBS), informazioni ai passeggeri nel trasporto terrestre e su rotaia	LBS, trasporto stradale, su rotaia e agricoltura	Pedaggi nel trasporto stradale, pagamenti nei LBS, gestione di peschiere nell'ambito navale	Trasporto aereo, stradale, marittimo, su rotaia, locazione delle chiamate di emergenza per i LBS	Agricoltura di precisione e rilevazioni topografiche	Determinazione del tempo e sincronizzazione per servizi finanziari, energetici e telecomunicazione
<b>Caratteristiche rilevanti</b>	Accuratezza anche in aree	Accuratezza	Accuratezza, integrità	Integrità, accuratezza,	Accuratezza	Accuratezza

<b>offerte da EGNOS</b>	remote nell'area di copertura			rispetto delle relative norme		
-------------------------	-------------------------------	--	--	-------------------------------	--	--

Tabella 4.19: Valore aggiunto offerto da EGNOS in vari campi di applicazione

A differenza di altri sistemi SBAS attualmente operativi, come il WAAS americano, EGNOS è stato progettato fin dall'inizio per rispondere alle richieste e ai requisiti di una vasta gamma di applicazioni, alle quale offre un notevole valore aggiunto rispetto alla semplice ricezione del segnale GNSS non migliorato.

#### 4.1.3.4.1 Location Based Services

I Location Based Services (LBS) sono una categoria generale che comprende le applicazioni che sfruttano i ricevitori GNSS installati principalmente in smartphone e tablet, ma anche altri dispositivi mobili quali videocamere, notebook o attrezzi per il fitness. Tali applicazioni sono in genere non safety-critical e vanno dalla navigazione, alla pubblicità basata sulla posizione dell'utente, al monitoraggio delle performance degli atleti nello sport. Il settore dei LBS rappresenta il più vasto tra le applicazioni per la navigazione satellitare, sia come ricevitori installati (oltre tre miliardi nel 2014), sia come quota di mercato (oltre il 53% del valore del mercato globale per i GNSS); inoltre tali applicazioni non hanno in genere impatto sulla sicurezza degli utenti e pertanto non richiedono particolari requisiti e l'unica caratteristica rilevante risulta l'accuratezza.

In tali applicazioni la determinazione della posizione può avvenire con tecnologie Handset-based, nelle quali il calcolo della posizione viene attuato dagli strumenti contenuti nel dispositivo mobile, come nel caso dei GNSS, o con tecnologie network-based, nelle quali i calcoli sono effettuati da un network, quali le tecnologie U-TDOA o RF pattern-matching. Rispetto alle tecnologie basate su network, i ricevitori satellitari offrono in genere una maggiore accuratezza nel posizionamento all'aria aperta, mentre le prime sono da preferirsi per applicazioni all'interno di edifici.

L'analisi della European Global Navigation Satellite System Agency (GSA) stima che nel 2014 oltre il 70% dei ricevitori GNSS per i LBS siano in grado di ricevere ed elaborare segnali SBAS; il servizio OS di EGNOS può quindi offrire gratuitamente ottime performance di accuratezza per milioni di utenti di LBS in tutta Europa, con un grande vantaggio soprattutto in aree remote dove le tecnologie network-based non sono disponibili.

#### 4.1.3.4.2 Trasporto stradale

Nell'ambito del trasporto stradale, le tecnologie GNSS trovano una vasta gamma di applicazioni divise in vari campi:

- Generali: comprendono la navigazione su strada, la gestione di parchi mezzi e il monitoraggio del traffico
- Safety-critical: monitoraggio del trasporto di oggetti pericolosi
- Liability-critical: comprendono applicazioni il cui malfunzionamento può causare seri problemi economici e/o legali, quali la gestione dei pagamenti autostradali e la raccolta di dati per le

assicurazioni

- Regulated: comprendono le applicazioni che sono parte di leggi e regolamentazioni nazionali o internazionali, quali il sistema eCall europeo, che invia automaticamente una notifica di emergenza alle autorità competenti in caso di incidenti

Viene stimato che oltre l'80% dei ricevitori basati su veicoli terrestri siano in grado di elaborare segnali SBAS ed EGNOS offre diversi vantaggi rispetto alla semplice ricezione dei segnali GNSS, come una maggiore accuratezza ed informazioni sull'integrità. I servizi EGNOS utilizzati nel campo del trasporto terrestre sono OS e EDAS.

Esempi di applicazioni di EGNOS nell'ambito del trasporto stradale includono:

- La gestione dei pedaggi autostradali basata su tecnologie GNSS, già operativa in Germania e Slovacchia
- Il monitoraggio del trasporto di beni pericolosi: tra il 2010 ed il 2011 è stato condotto il progetto SCUTUM (SeCuring The GNSS adoption in the dangerous Material transport).

Finanziato dalla Commissione Europea e svolto in collaborazione con la compagnia italiana ENI, il progetto ha monitorato il trasporto di oltre 300 carichi di idrocarburi e altri prodotti chimici in ambienti urbani tramite la ricezione dei segnali GPS/EGNOS (Di Fazio Antonella, Bettinelli Daniele, O'Keefe Kyle, *EGNOS and GALILEO Track Dangerous Goods*, <http://gpsworld.com/egnos-and-galileo-track-dangerous-goods/>, 1/4/2013 ed il sito di SCUTUM: <http://www.scutumgnss.eu/>). Tale monitoraggio si basava sul software di navigazione LoCation Server (LCS) di Telespazio che combinava il servizio EGNOS OS con i dati ricevuti da EGNOS EDAS ottenendo notevoli vantaggi quali: maggiore disponibilità del sistema, in quanto le correzioni EGNOS sono rese disponibili anche in caso di bassa o nulla visibilità del Signal In Space tramite network terrestri con EDAS, miglioramento dell'accuratezza del servizio OS, elaborazione dei dati di integrità per il calcolo dei protection levels.

I risultati dei test hanno dimostrato che il sistema basato sulla ricezione dei segnali EGNOS OS ed EDAS migliora notevolmente l'accuratezza della soluzione di navigazione rispetto ad un sistema basato esclusivamente sulla ricezione del segnale GPS, oltre a fornire informazioni sui protection levels, permettendo il trasporto di materiali pericolosi in sicurezza.

Ambiente di guida	Accuratezza GPS	Accuratezza GPS/EGNOS OS	Accuratezza GPS/EGNOS OS + EDAS con sistema LCS	HPL GPS/EGNOS OS + EDAS con sistema LCS	Disponibilità GPS/EGNOS OS + EDAS con sistema LCS
<b>Ambiente urbano</b>	2.2 m	1.9 m	2.1 m	10.1 m	56.56%
<b>Ambiente extra-urbano</b>	3.3 m	2 m	1.2 m	9 m	92.11%
<b>Tutti gli ambienti</b>	2.6 m	1.9 m	1.7 m	9.6 m	64.99%

Tabella 4.20: Prestazioni del sistema LCS che riceva GPS/EGNOS OS+EDAS rispetto a GPS/EGNOS e GPS

	Accuratezza (95%)
<b>Trasporto stradale:</b>	
<b>Aiuto alla navigazione</b>	5-20 m
<b>Monitoraggio e identificazione automatici dei veicoli</b>	30 m
<b>Resource management</b>	30 m
<b>Risposta ad incidenti o emergenze</b>	30 m
<b>Sistemi anticollisione</b>	< 1 m
<b>Sistemi di transito:</b>	
<b>Comando e controllo dei veicoli</b>	30 m
<b>Risposta alle emergenze</b>	75-100 m
<b>Annuncio automatico all'arrivo dei bus</b>	5 m

Tabella 4.21: Requisiti indicativi di accuratezza per il trasporto terrestre

#### 4.1.3.4.3 Trasporto ferroviario

Nell'ambito del trasporto su rotaia le applicazioni sono costituite dal comando e controllo dei treni sulle linee principali (i sistemi European Train Control System in Europa e Positive Train Control negli Stati Uniti d'America) e sulle linee secondarie, offrendo capacità di segnalazione basate sui GNSS sulle linee con basso traffico, dalla gestione dei parchi mezzi delle vetture ferroviarie e dall'offerta in tempo reale di informazioni sulla circolazione ai passeggeri.

Le applicazioni non safety-critical nell'ambito del trasporto ferroviario sono già ampiamente basate sui sistemi GNSS, mentre l'implementazione di sistemi GNSS per le applicazioni safety-critical è in corso di sviluppo. In particolare i requisiti per le prestazioni dell' European Train Control System sono in corso di definizione da parte di UNISIG e è previsto che siano molto stringenti sia per quanto riguarda l'accuratezza (nell'ambito di pochi metri se non meno) che l'integrità.

L'uso di sistemi GNSS per le applicazioni safety-critical permetterà di conoscere la posizione precisa dei convogli senza la necessità di una fitta rete di sensori a terra, consentendo un contenimento dei costi. Considerati i probabili requisiti di accuratezza e la necessità di conoscere l'integrità per applicazioni safety-critical, l'uso di EGNOS per migliorare il segnale GPS/GALILEO risulterà fortemente auspicabile o addirittura necessario; a tale riguardo il progetto Galileo Signal Priority FP7 ha concluso che l'integrazione di sistemi SBAS con il sistema GALILEO è il fattore principale per ulteriori miglioramenti delle prestazioni di accuratezza. EGNOS è già capace di offrire accuratezza orizzontale inferiore ai 2 metri e con la futura operatività di GALILEO e il conseguente passaggio ad un sistema multi-costellazione, capace di migliorare segnali GPS/GALILEO allo stesso tempo, tali prestazioni sono destinate a migliorare ulteriormente, permettendo il rispetto dei requisiti più stringenti.

	<b>Accuratezza (95%)</b>
<b>Positive Train Control (PTC)</b>	1 m
<b>Track Defect Location (TDL)</b>	0.3 m
<b>Automated Asset Mapping (AAM)</b>	0.1 m

*Tabella 4.22: Requisiti indicativi di accuratezza per il trasporto ferroviario*

#### 4.1.3.4.4 Trasporto navale

Per quanto riguarda la navigazione marittima, la International Maritime Organization (IMO) suddivide le applicazioni GNSS in navigazione e posizionamento. La navigazione per i natanti con una stazza lorda di 500 tonnellate (300 per i viaggi internazionali), è regolamentata dalla International Convention for the Safety of Life At Sea (SOLAS) ed essi possiedono in genere ricevitori GNSS con almeno tripla ridondanza. I sistemi di navigazioni GNSS sono predominanti anche sui natanti più piccoli che non rientrano in tali regolamenti.

Le applicazioni di posizionamento riguardano invece la sorveglianza del traffico navale, con sistemi di identificazione automatica e identificazione e tracciamento a lungo raggio basati su sistemi GNSS. Altre applicazioni di posizionamento navale che sfruttano sistemi GNSS riguardano le operazioni portuali di attracco e carico/scarico, operazioni di costruzione navale come il posizionamento di cavi e oleodotti, la sorveglianza dai vascelli da pesca e la ricerca e soccorso (SAR) in mare.

La normativa applicabile è la IMO Resolution A.915(22) che impone i seguenti requisiti per la navigazione generale, distinguendo varie fasi di navigazione.

La navigazione oceanica è la fase di operazione nella quale l'imbarcazione si trova oltre la piattaforma continentale, in acque con una profondità di almeno 200m e ad una distanza di almeno 50 miglia nautiche dalla costa. La navigazione oceanica si svolge ad una tale distanza dalle coste che i pericoli legati alla profondità del

fondale e il rischio di collisione sono ridotti rispetto alle altre fasi.

Fase di navigazione	Accuratezza	Area di copertura	Integrità	Disponibilità	Intervallo tra le informazioni sulla posizione
<b>Oceanica</b>	10 m	globale	10 <sup>-5</sup> /3 h TTA: 10s Alert limit: 25 m	99.8%	1 s

Tabella 4.23: Requisiti per la navigazione in acque oceaniche

Nella fase di navigazione costiera l'imbarcazione si trova entro 50 miglia nautiche dalla costa o entro il limite della piattaforma continentale (profondità meno di 200 metri), con un piano di separazione del traffico che garantisca un tragitto sicuro sull'acqua largo almeno un miglio nautico, se è ad un solo senso, o almeno due miglia nautiche se è a due sensi.

In tale fase di navigazione le rotte di navigazione tendono a seguire delle direzioni precise: il traffico transoceanico converge verso i porti di destinazione, mentre il traffico tra i porti locali si svolge su rotte essenzialmente parallele alla costa. Vaste distese di acque interne, come le acque dei Grandi Laghi, che rispettino i requisiti riportati in precedenza, vengono anch'esse considerate acque costiere.

Fase di navigazione	Accuratezza	Area di copertura	Integrità	Disponibilità	Intervallo tra le informazioni sulla posizione
<b>Costiera</b>	10 m	globale	10 <sup>-5</sup> /3 h TTA: 10s Alert limit: 25 m	99.8%	1 s

Tabella 4.24: Requisiti per la navigazione in acque costiere

La fase di avvicinamento ai porti inizia generalmente con una zona di transizione tra le acque costiere e le acque sottoposte a restrizioni in prossimità dell'ingresso ad una baia, fiume o porto. L'entrata ai porti generalmente implica il passaggio per un canale di navigazione ben definito la cui larghezza è tipicamente tra gli 800 e i 180 metri al lato sul mare, per restringersi fino a 120 metri (30 metri per i porti accessibili sono dalle imbarcazioni più piccole).

Fase di navigazione	Accuratezza	Area di copertura	Integrità	Disponibilità	Intervallo tra le informazioni sulla posizione	Continuità
<b>Avvicinamento ai porti</b>	10 m	Regionale	10 <sup>-5</sup> /3 h TTA: 10s Alert limit: 25 m	99.8%	1 s	99.97%/3 h*

Tabella 4.25: Requisiti per l'avvicinamento ai porti

\*: nelle norme IMU la continuità viene espressa come probabilità che il servizio prosegua senza interruzioni in un dato lasso di tempo piuttosto che come rischio di continuità.

La navigazione all'interno dei porti risulta particolarmente critica per la sicurezza e ha i requisiti più stringenti.

Fase di navigazione	Accuratezza	Area di copertura	Integrità	Disponibilità	Intervallo tra le informazioni sulla posizione	Continuità
<b>Portuale</b>	1 m	Locale	10 <sup>-5</sup> /3 h TTA: 10s Alert limit: 2.5 m	99.8%	1 s	99.97%/3 h

Tabella 4.26: Requisiti per la navigazione portuale

L'ultima fase di navigazione prevista risulta la navigazione nelle acque interne (fiumi, laghi canali navigabili).

Fase di navigazione	Accuratezza	Area di copertura	Integrità	Disponibilità	Intervallo tra le informazioni sulla posizione	Continuità
Acque interne	10 m	Regionale	10 <sup>-5</sup> /3 h TTA: 10s Alert limit: 25 m	99.8%	1 s	99.97%/3 h

Tabella 4.27: Requisiti per la navigazione nelle acque interne

La IMO Resolution A.915(22) prevede inoltre una lunga serie di requisiti per il posizionamento in ambito navale che non vengono riportati per comodità.

Una serie di test condotta dalla commissione europea ha dimostrato che la navigazione marittima con EGNOS risponde ai requisiti IMO di accuratezza per navigazione in acque costiere e di alert limit per la navigazione fuori dai porti. Gli unici requisiti che il sistema non è sempre stato in grado di rispettare sono quelli estremamente rigorosi per la navigazione nei porti, com'è peraltro possibile rilevare dalle prestazioni raggiunte negli ultimi anni. EGNOS è pertanto già ampiamente usato per la navigazione sia nelle acque marine che nelle acque interne ed è in grado di integrarsi ai sistemi di navigazione ed infrastrutture attuali, quali i sistemi DGNS e Automatic Identification System (AIS), offrendo valore aggiunto per ognuna delle principali operazioni:

	Valore aggiunto di EGNOS
<b>Navigazione Costiera</b>	EGNOS può sostituire i sistemi DGNS nelle aree con infrastruttura rada o non esistente
<b>Acque interne</b>	Possibilità di ricevere le correzioni EGNOS tramite EDAS, sfruttando il sistema AIS
<b>Acque portuali</b>	Informazioni sull'integrità Possibilità di essere usato nelle Portable Pilot Unit

Tabella 4.28: Valore aggiunto da EGNOS nella navigazione marina

Tutti i servizi offerti da EGNOS vengono sfruttati per la navigazione marina: EGNOS OS per le attività non safety-critical, quali l'intrattenimento, EGNOS SoL offre le necessarie informazioni sull'integrità per la navigazione costiera e nelle acque interne, EGNOS EDAS può venire usato per ricevere le correzioni durante la navigazione nelle acque interne.



#### 4.1.3.4.5 Agricoltura

Nel campo dell'agricoltura i sistemi GNSS possono venire sfruttati per una vasta gamma di applicazioni, dalla guida delle macchine agricole, all'applicazione selettiva dei fertilizzanti, alla sorveglianza del bestiame, alla delimitazione dei campi. In generale tali applicazioni vengono classificate come agricoltura di precisione e consentono di incrementare notevolmente la produttività in tutte le fasi delle operazioni agricole. Le applicazioni agricole sono uno sviluppo relativamente recente, e come tale dispongono in genere di ricevitori piuttosto avanzati; oltre l'80% sono in grado di elaborare segnali GNSS e altrettanti sono in grado di ricevere segnali da costellazioni multiple. In tale campo EGNOS, ed in particolare il servizio OS o EDAS, è in grado di migliorare l'efficienza e la produttività delle fattorie, offrendo una maggiore accuratezza rispetto alla ricezione dei segnali GNSS non migliorati, con costi aggiuntivi nulli (servizio OS) o comunque limitati.

#### 4.1.3.4.6 Rilevazioni geodetiche e topografiche

Le rilevazioni geodetiche e topografiche impiegano sistemi GNSS per una serie di applicazioni nell'ambito della geodesia, dei rilevamenti catastali, dell'agrimensura, della cartografia, dei rilevamenti per le costruzioni.

I requisiti in tale campo sono in genere tra i più stringenti per quanto riguarda l'accuratezza tra tutte le applicazioni GNSS e raggiungono spesso l'ordine dei decimetri piuttosto che dei metri. E' evidente che con tali requisiti risulta spesso difficile l'impiego del solo segnale GNSS non migliorato, anche in doppia frequenza, e l'uso di tecniche di miglioramento del segnale diventa una necessità.

I metodi più usati risultano quelli DGNS, spesso sviluppati appositamente per le applicazioni del settore, e che richiedono il posizionamento di una rete di stazioni a terra.

Un esempio è il sistema International GNSS Service (IGS) sviluppato dalla International Association of Geodesy (IAG), che opera una rete di reference station per il GPS sparse in tutto il mondo allo scopo di migliorare i dati di navigazione GPS per applicazioni scientifiche legate alla geodesia. I dati prodotti dalle stazioni IGS consentono di migliorare i dati sull'orbita dei satelliti fino ad un'accuratezza di 5-10 cm, producendo anche dati sul clock, sui parametri di troposfera e ionosfera, per ottenere localmente dati sulla posizione con l'alta accuratezza richiesta dalle applicazioni nel campo della geodesia.

Un particolare tipo di DGNS impiegato nell'ambito delle rilevazioni geodetiche e topografiche è costituito dal rilievo cinematico in tempo reale, o Real Time Kinematics (RTK), basato sulla misura dello sfasamento tra il segnale dei satelliti e quello generato dai ricevitori in doppia frequenza e sulla trasmissione da una stazione fissa ad un ricevitore mobile, o "rover", delle correzioni delle misure di fase. Tale metodo consente di raggiungere accuratezze estremamente elevate, nell'ordine di pochi centimetri, entro un raggio di 10-20 chilometri dalla stazione di riferimento.

In base all'accuratezza raggiunta da EGNOS e riportata in precedenza risulta evidente che attualmente il sistema da solo non risulta adeguato per le applicazioni con requisiti di accuratezza di pochi centimetri o decimetri, quali le rilevazioni geodetiche, catastali e sismologiche. Tuttavia i futuri sviluppi di EGNOS, come la trasmissione in doppia frequenza e il supporto di più costellazioni, permetteranno di aumentare ulteriormente l'accuratezza, rendendo il sistema appetibile anche per alcune di tali applicazioni, in particolare per rilevazioni su vaste aree di terreno, per le quali occorrerebbe un'intera rete di stazioni DGNS a terra.

I sistemi SBAS come EGNOS risultano tuttavia un'opzione interessante e molto utilizzata per le applicazioni nell'ambito della cartografia, che in genere richiedono una precisione intorno al metro, quali i Geographic Information System (GIS) per la ricezione e l'analisi di dati geografici, misure per la delimitazione dei campi e misure per la sorveglianza delle foreste. In tale ambito EGNOS offre notevoli benefici, quali: l'ampia area di copertura, il risparmio economico dovuto alla mancanza di stazioni o attrezzatura a terra in aggiunta al ricevitore, la capacità di ottenere la posizione in tempo reale e la possibilità di ricevere le correzioni anche tramite reti di comunicazione terrestri grazie al servizio EDAS.

Il campo di applicazione dei sistemi GNSS legato alle rilevazioni geodetiche e topografiche è vastissimo e in passato ha dato un contributo notevole allo sviluppo dei sistemi per il miglioramento del segnale di navigazione; rappresenta quindi un settore di grande importanza anche per i sistemi SBAS.

Requisiti	Accuratezza		Disponibilità	Intervallo tra le informazioni sulla posizione
	Orizzontale	Verticale		
<b>Rilevazioni statiche</b>	0.3 m	0.5 m	99%	30 min
<b>Rilevazioni geodetiche</b>	0.1 m	0.2 m	99 %	4 hr

Tabella 4.29: Requisiti indicativi per le rilevazioni geodetiche e topografiche

#### 4.1.3.4.7 Determinazione del tempo

Ultima applicazione dei sistemi di navigazione satellitare non connessa al trasporto è la determinazione di tempo e frequenza, usata per la sincronizzazione dei network di comunicazione per la telefonia mobile o fissa, o dalle compagnie energetiche; i dati di tempo e frequenza sono infatti utilizzati per misurare le differenze di fase nelle stazioni di trasmissione dell'energia, per la misura della frequenza relativa tra le stazioni energetiche e per la registrazione dei dati.

In tale campo i sistemi GNSS, o SBAS, fungono da fonte per il tempo in un master clock che provvede a distribuire il dato alla rete dei restanti orologi slave. Usando EGNOS per migliorare il segnale GPS si ottiene un'informazione temporale espressa in EGNOS Network Time (ENT), che viene convertita in UTC tramite le informazioni contenute nel messaggio 12. Il master clock può quindi ritrasmettere il tempo ottenuto, in UTC, agli orologi slave, modificando il dato in base al tempo necessario ai calcoli e alla trasmissione. Si ottiene così la

perfetta sincronizzazione della rete con il tempo UTC dell'osservatorio di Parigi.

Requisiti	Accuratezza	Disponibilità	Intervallo tra i dati
<b>Sincronizzazione di reti di comunicazione</b>	microsecondi	99.7%	continuo
<b>Ricerca scientifica</b>	nanosecondi	99.7%	continuo
<b>Sincronizzazione di reti elettriche</b>	microsecondi	99.7%	1 s

Tabella 4.30: Requisiti indicativi per la determinazione del tempo

#### 4.1.3.4.8 Trasporto aereo

Nell'ambito aeronautico i sistemi GNSS sono ormai onnipresenti nei velivoli operanti sotto le Instrumental Flight Rules (IFR), ma si stanno diffondendo anche nei velivoli ricreativi operanti secondo le Visual Flight Rules (VFR), fungendo da complemento alle tecniche di navigazione visiva. Oltre che per la navigazione, ricevitori GNSS sono utilizzati per la sorveglianza del traffico aereo tramite sistemi Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) e spesso per i radiofari d'emergenza Emergency Locator Transmitters (ELTs).

Per quanto riguarda i sistemi SBAS, questi trovano impiego soprattutto durante la fase di avvicinamento e atterraggio, supportando atterraggi strumentali del tipo Localizer Performance with Vertical Guidance (LPV), nei quali la guida laterale e verticale è fornita da segnali GNSS migliorati con gli SBAS, con una altezza di decisione pari a 250 piedi. La categoria LPV 200, già supportata dal WAAS e in corso di certificazione per EGNOS, riduce ulteriormente l'altezza di decisione a 200 metri, con requisiti simili a quelli della categoria I (CAT-I) nell'atterraggio strumentale.

Ai sistemi SBAS si affiancano i Ground Based Augmentation System (GBAS) che si appoggiano ad una o più reference station a terra per migliorare il segnale GNSS nei pressi degli aeroporti e fornire supporto agli atterraggi. Tali sistemi offrono in genere prestazioni superiori agli SBAS, raggiungendo al momento la CAT I, mentre si prevede che nel prossimo futuro, con l'introduzione di sistemi multicostellazione, saranno certificati anche per le categorie CAT II e CAT III, affiancando o sostituendo i sistemi ILS tradizionali.

Si prevede che i sistemi SBAS non saranno in grado, nonostante i miglioramenti e le evoluzioni previsti nei prossimi anni, a raggiungere prestazioni tali da garantire la certificazione CAT III, pertanto non andranno a sostituire i sistemi ILS o i GBAS, ma si affiancheranno ad essi, garantendo comunque prestazioni tali da consentire l'atterraggio nella maggior parte dei casi, senza la necessità di una specifica attrezzatura a terra nei pressi dell'aeroporto.

Nell'ambito europeo la disponibilità di ricevitori compatibili con gli SBAS risulta diseguale; si stima che quasi il 90% dei velivoli per l'aviazione generale e il business siano dotati di ricevitori compatibili con EGNOS, mentre i ricevitori adatti alla ricezione SBAS risultano disponibili in appena il 10% dei velivoli per l'aviazione commerciale e il 30% dei velivoli per l'aviazione regionale, fatto dovuto principalmente ai maggiori costi di sostituzione dei ricevitori GNSS esistenti.

Inoltre, rispetto ad altri settori, i requisiti di sicurezza e la necessità di certificazione fanno sì che i ricevitori installati a bordo siano in genere più vecchi, per la stragrande maggioranza, oltre il 90%, capaci di ricevere il segnale da una singola costellazione, in genere il GPS. Il passaggio a sistemi multi-costellazione risulta quindi rallentato, ma costituirà un'importante innovazione; si prevede che ricevitori multi-costellazione, uniti a tecniche di Advanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring (ARAIM), permetteranno di raggiungere i requisiti LPV senza la necessità di un miglioramento del segnale, estendendo l'introduzione di avvicinamenti LPV anche ad aree del mondo non coperte da sistemi SBAS.

I requisiti per i sistemi di navigazione in ambito aeronautico sono stati definiti nelle normative ICAO SARPS annex 10, vol. 1, dividendo i requisiti in base alle fasi di volo.

Requisiti	Accuratezza (95%)	Integrità	Continuità	Disponibilità
<b>Crociera (oceanica, continentale)</b>	Orizzontale: 3.7 Km	1x10 <sup>-7</sup> /h  TTA: 5 min  HAL: 7.4 Km, (crociera continentale): 3.7 Km	1x10 <sup>-4</sup> /h a 1x10 <sup>-8</sup> /h	Da 0.99 a 0.99999
<b>Crociera, terminale</b>	Orizzontale: 0.74 Km	1x10 <sup>-7</sup> /h  TTA: 15 s  HAL: 1.85 Km	1x10 <sup>-4</sup> /h a 1x10 <sup>-8</sup> /h	Da 0.99 a 0.99999
<b>Avvicinamento iniziale e intermedio, Non Precision Approach, decollo</b>	Orizzontale: 220 m	1x10 <sup>-7</sup> /h  TTA: 10 s  HAL: 556 m	1x10 <sup>-4</sup> /h a 1x10 <sup>-8</sup> /h	Da 0.99 a 0.99999

<b>Avvicinamento con guida verticale I (APV-I)</b>	Orizzontale: 16 m Verticale: 20 m	1x10 <sup>-7</sup> /avvicinamento  TTA: 10 s  HAL: 40 m  VAL: 50 m	8x10 <sup>-6</sup> /15 s	Da 0.99 a 0.99999
<b>Avvicinamento con guida verticale II (APV-II)</b>	Orizzontale: 16 m Verticale: 8 m	2x10 <sup>-7</sup> /avvicinamento  TTA: 6 s  HAL: 40 m  VAL: 20 m	8x10 <sup>-6</sup> /15 s	Da 0.99 a 0.99999
<b>Precision Approach, categoria I</b>	Orizzontale: 16 m Verticale: da 6 a 4 m	2x10 <sup>-7</sup> /avvicinamento  TTA: 6 s  HAL: 40 m  VAL: da 15 a 10 m	8x10 <sup>-6</sup> /15 s	Da 0.99 a 0.99999

Tabella 3.32: requisiti in ambito aeronautico (ICAO SARPS annex 10, vol 1)

#### 4.1.3.4.9 Situazione attuale

Cercando di valutare lo stato attuale delle applicazioni di EGNOS, è difficile capire in quale percentuale il sistema sia effettivamente impiegato nei vari ambiti, poiché non sono stati rilasciati dati ufficiali a riguardo, tuttavia è possibile farne una stima basandosi sulle registrazioni al sito di supporto di EGNOS nei vari anni. È possibile notare come in generale il settore dell'aviazione abbia sempre rappresentato la maggioranza relativa dell'utenza, con oltre il 30% degli utenti sul totale, seguito sorprendentemente dall'agricoltura che ha sempre superato il 20%, mentre gli altri ambiti legati al trasporto hanno generalmente rappresentato una piccola frazione degli utenti complessivi.

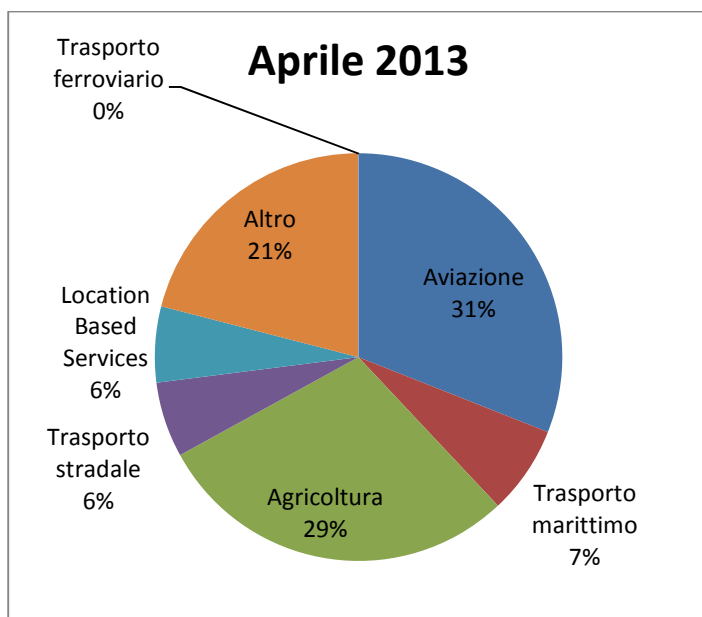


Grafico 4.1: Categorie degli utenti registrati al sito di supporto dell'utenza EGNOS nel 2013

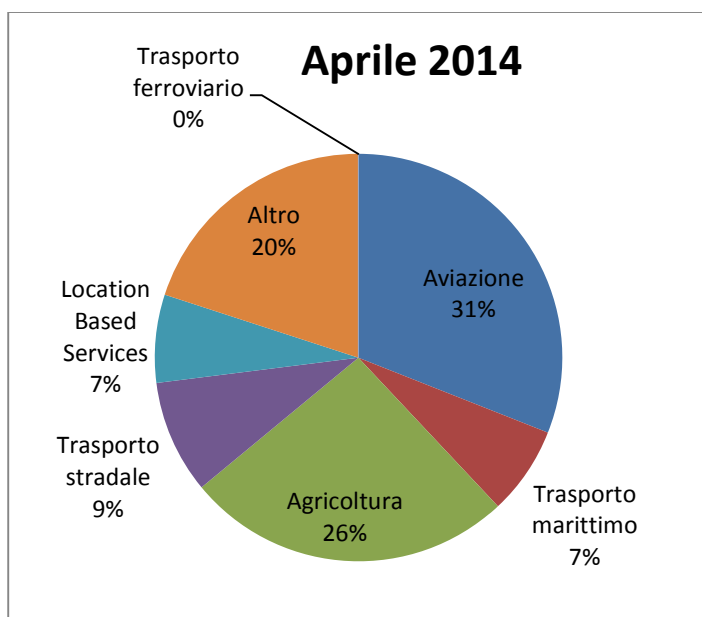


Grafico 4.2: Categorie degli utenti registrati al sito di supporto dell'utenza EGNOS nel 2014

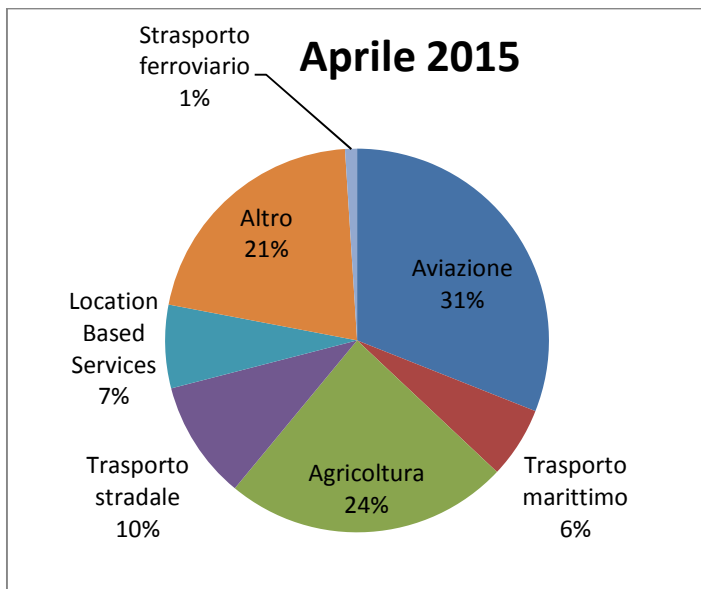


Grafico 4.3: Categorie degli utenti registrati al sito di supporto dell'utenza EGNOS nel 2015

Data	Totale utenti del sito di supporto EGNOS
Aprile 2013	Circa 1000
Aprile 2014	1351
Aprile 2015	1599

Tabella 4.31: Totale degli utenti registrati al sito di supporto EGNOS

Il bollettino ufficiale di EGNOS riporta i dati sull'introduzione delle procedure LPV pubblicate negli aeroporti europei al 25/06/2015:

<b>Paese</b>	<b>Aeroporti con procedure LPV</b>	<b>Procedure LPV complessive</b>
<b>Francia</b>	70	104
<b>Svizzera</b>	6	6
<b>Guernsey*</b>	1	2
<b>Germania</b>	18	27
<b>Italia</b>	5	11
<b>Spagna</b>	2	3
<b>Finlandia</b>	1	2
<b>Austria</b>	2	2
<b>Repubblica Ceca</b>	4	8
<b>Norvegia</b>	7	14
<b>Polonia</b>	2	4
<b>Regno Unito</b>	4	4
<b>Svezia</b>	4	3
<b>Olanda</b>	4	3
<b>Slovacchia</b>	4	4
<b>Danimarca</b>	1	2
<b>Portogallo</b>	1	2
<b>Totali</b>	128	201

*Tabella 4.32: Procedure LPV basate su EGNOS pubblicate in Europa*

*\*: Guernsey è un'isola nel canale della Manica che gode di uno status particolare in quanto possesso diretto della corona britannica*

A partire dal 2011, anno nel quale sono state pubblicate le prime procedure LPV basate su EGNOS, si è avuto un



progressivo e costante aumento del numero di procedure LPV pubblicate in Europa, fino a raggiungere un totale di 201 a metà di quest'anno. L'aumento delle procedure LPV basate su EGNOS è stato notevole, tuttavia la diffusione del sistema negli aeroporti europei risulta ancora estremamente ridotta, soprattutto se paragonata alla situazione negli Stati Uniti d'America. Il sito della FAA riporta i dati sulle procedure LPV basate sul WAAS negli Stati Uniti al 20 agosto 2015: sono attualmente pubblicate 3567 procedure LPV per 1739 aeroporti; di queste 2424 sono basate su piste che non dispongono di un sistema ILS.

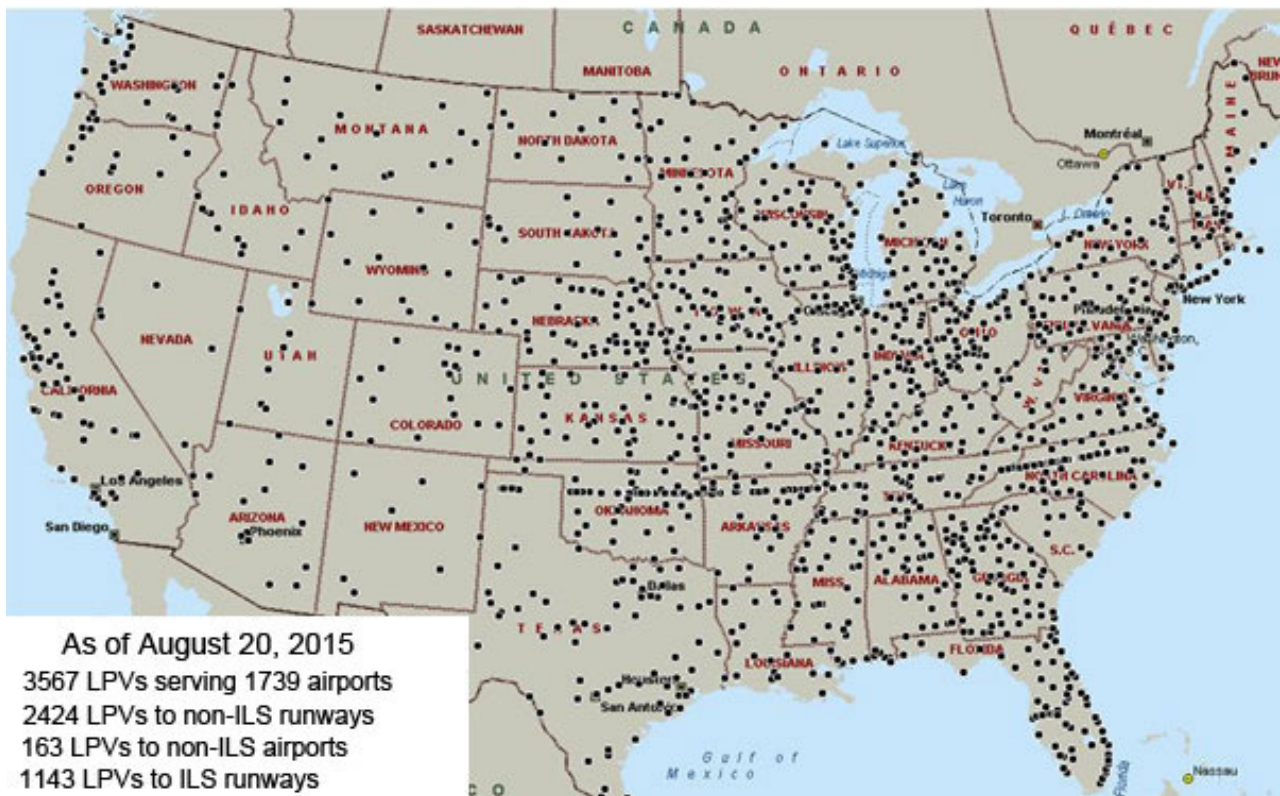


Figura 4.10: Procedure LPV pubblicate negli Stati Uniti

L'implementazione così diffusa di procedure basate su SBAS in America non è da imputarsi esclusivamente al fatto che il sistema WAAS sia più maturo di EGNOS, essendo entrato in servizio diversi anni in anticipo e già in grado di offrire atterraggi LPV 200, ma anche ad una determinata politica a sostegno dell'introduzione del WAAS da parte del governo USA e delle autorità competenti.

Per colmare tale lacuna, le autorità europee hanno recentemente avviato vari progetti volti a favorire la diffusione di EGNOS in ambito aeronautico, tra i quali a partire dal 2014 il progetto annuale Grant, un invito per la presentazione di richieste per favorire l'introduzione operativa dei servizi EGNOS e GALILEO nell'ambito dell'aviazione.

Parallelamente all'avvio del servizio SoL è iniziata l'introduzione di EGNOS anche nell'ambito dei velivoli ad ala rotante, pur con lentezza a causa della necessità di definire nuove Instrumental Flight Procedures (IFP) basate sull'utilizzo di EGNOS. A tale riguardo si sono conclusi recentemente i progetti CleanSky GARDEN e CARE per lo

sviluppo di procedure per il volo IFR di velivoli ad ala rotante basate sulla navigazione satellitare che minimizzino l'impatto ambientale. Nei prossimi anni è pertanto prevista l'introduzione di EGNOS in diversi eliporti europei.

## 5 Conclusioni

A più di un decennio dall'avvio delle operazioni iniziali nel luglio 2005, EGNOS è ormai pienamente operativo, supportando non solo il trasporto aereo, ma anche una miriade di applicazioni negli ambiti più disparati, dall'agricoltura di precisione al trasporto di sostanze pericolose.

Il sistema EGNOS garantisce prestazioni paragonabili a quelle di altri sistemi SBAS già operativi, quali il WAAS americano e lo MSAS giapponese; entro la fine dell'anno il sistema sarà certificato per gli atterraggi LPV 200, con requisiti simili alla categoria CAT I degli ILS.

I sistemi SBAS si stanno diffondendo nel mondo; oltre ai sistemi già citati sono in fase di sviluppo il GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN) in India ed il System of Differential Correction and Monitoring (SDCM) in Russia. Tali sistemi andranno ad affiancare i sistemi ILS e GBAS nella guida delle fasi terminali del volo e negli Stati Uniti offrono già adesso procedure strumentali di atterraggio LPV in oltre duemila piste prive di una strumentazione ILS.

A differenza di altri sistemi analoghi, EGNOS è stato progettato sin dall'inizio per garantire la massima versatilità, scelta che si concretizza nell'offerta di tre servizi, l'Open Service (OS), il servizio Safety of Life (SoL) e l'EGNOS Data Access Service (EDAS), con caratteristiche, aree di copertura e modalità di accesso distinte. Tale scelta progettuale è condivisa con il futuro sistema di navigazione satellitare globale europeo, GALILEO, e garantisce una maggiore facilità di utilizzo in applicazioni non legate al trasporto aereo. Dai recenti studi di mercato pubblicati dalla European GNSS Agency si evince come l'ambito aeronautico rappresenti solo una piccola fetta di un mercato in rapida espansione ed evoluzione come quello dei sistemi di navigazione satellitari. EGNOS ha un grosso valore aggiunto da offrire a tutti i settori di tale mercato, spesso con costi molto ridotti, e le istituzioni europee hanno avviato molte iniziative volte a promuovere l'applicazione di EGNOS in una vasta rosa di campi, ad esempio conducendo la certificazione del sistema secondo le norme della International Maritime Organization per la navigazione in mare e nelle acque interne.

Nonostante EGNOS sia ormai pienamente operativo è ben lungi dall'aver raggiunto la maturità, sia per quanto riguarda le applicazioni operative che per quanto riguarda lo sviluppo tecnologico.

Riguardo al primo campo è possibile notare come l'applicazione nel sistema in ambito aeronautico sia ancora ridotta, con appena 128 aeroporti che hanno pubblicato operazioni LPV, contro gli oltre 1700 negli Stati Uniti d'America; nell'ambito dei velivoli ad ala rotante l'adozione di EGNOS è solo ai primi passi, mentre si stanno definendo nuove procedure per il volo strumentale degli elicotteri. Per favorire l'applicazione dei sistemi SBAS ad un livello paragonabile a quello americano è necessario un forte impegno da parte delle istituzioni europee, coinvolgendo tutti i settori interessati, e a tale riguardo sono già stati avviati numerosi progetti.

Per quanto riguarda invece lo sviluppo tecnologico di EGNOS i prossimi anni saranno cruciali, e il sistema che emergerà verso il 2020 presenterà diversi cambiamenti rispetto a quello attuale. Il primo e forse più importante sviluppo sarà l'integrazione con il sistema GNSS europeo GALILEO, consentendo di migliorare indistintamente i segnali GPS/GALILEO in un'ottica multi-costellazione che presenta numerosi vantaggi rispetto al miglioramento

dei segnali di una singola costellazione, primo tra tutti l'aumento del numero di satelliti visibili. Seconda fondamentale evoluzione di EGNOS sarà il passaggio dalla trasmissione su frequenza singola alla doppia frequenza, permettendo di aumentare notevolmente la resistenza alle perturbazioni della ionosfera, fattore indicato finora come una delle principali cause di degrado delle prestazioni.

Per concludere, è possibile prevedere che EGNOS rappresenterà sempre più uno strumento di grande rilevanza per la navigazione non solo in ambito aeronautico, ma in svariati campi di applicazione. Uno strumento che, insieme all'imminente GALILEO, permetterà agli stati europei di diventare attori di primo piano in un ambito strategico come la navigazione satellitare, e che presenta vaste possibilità di implementazione e di crescita.

## 6 Bibliografia

1. BLANCH Juan., WALTER Todd., ENGE Per., *Satellite Navigation for Aviation in 2025*, < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6184264&tag=1> >, 13/5/2012, consultato a settembre 2015
2. BLANCH Juan, WALTER Todd, PHELTS R. Eric, ENGE Per, *Near Term Improvements to WAAS Availability*, Stranford University, < [http://gps.stanford.edu/papers/Blanch\\_IONITM\\_2013\\_A1\\_nr1\\_L1WAAS\\_paper.pdf](http://gps.stanford.edu/papers/Blanch_IONITM_2013_A1_nr1_L1WAAS_paper.pdf) >, consultato ad agosto 2015
3. Commissione Europea, *Piano d'azione relativo alle applicazioni del sistema globale di radionavigazione via satellite (GNSS)*, Bruxelles, 14/6/2010
4. EGNOS service notice, *Upgrade of EGNOS performance status*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/service\\_notice\\_13.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/service_notice_13.pdf) >, 29/6/2015, consultato a settembre 2015
5. European Aviation Safety Agency, *NPA 2013/25: Revision of operational approval criteria for performance-based navigation, 2013*
6. European GNSS Agency, *Overview of Results from GNSS Research Under the FP7 R&D programme (2007-2013): from Research Applications to market*, < [http://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/FP7-brochure2015\\_7.pdf](http://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/FP7-brochure2015_7.pdf) >, 2015, consultato a settembre 2015
7. European GNSS Agency, *EGNOS Safety of Life Service Definition Document v. 2.2*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/egnos\\_sol\\_sdd\\_in\\_force.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/egnos_sol_sdd_in_force.pdf) >, 7/4/2015, consultato ad agosto 2015
8. European GNSS, *EGNOS Open Service Definition Document v. 2.2*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/egnos\\_os\\_sdd\\_v2\\_2.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/egnos_os_sdd_v2_2.pdf) >, 12/2/2015, consultato ad agosto 2015
9. European GNSS Agency, *EGNOS Data Access Service Service Definition Document v. 2.1*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/egnos\\_edas\\_sdd\\_v2\\_1.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/egnos_edas_sdd_v2_1.pdf) >, 19/12/2014, consultato ad agosto 2015
10. European GNSS Agency, *GNSS Market Report, issue 4*, Lussemburgo: Publications Office of the European Union, 2015
11. European GNSS Agency, *EGNOS Exploitation Grant Plan 2015 v1.2*, < [http://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/2015%20EGNOS%20Grants%20Plan\\_0.pdf](http://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/2015%20EGNOS%20Grants%20Plan_0.pdf) >, 23/2/2015, consultato a settembre 2015
12. European Satellite Services Provider, *EGNOS Monthly Performance Report, July 2015*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/Monthly%20Performance%20Reports/51%20-%20Monthly%20Performance%20Report%20-%20%20July%202015.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/Monthly%20Performance%20Reports/51%20-%20Monthly%20Performance%20Report%20-%20%20July%202015.pdf) > 6/8/2015, consultato ad agosto 2015
13. European Satellite Services Provider, *Service Provision Yearly Report, April 2012-March 2013*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202012%20-%202013.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202012%20-%202013.pdf) > 19/6/2013, consultato ad agosto 2015
14. European Satellite Services Provider, *Service Provision Yearly Report, April 2013-March 2014*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202013%20-%202014.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202013%20-%202014.pdf) >, 19/6/2013, consultato ad agosto 2015

[sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202013%20-%202014.pdf](http://sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202013%20-%202014.pdf) >, 9/7/2014, consultato ad agosto 2015

15. European Satellite Services Provider, *Service Provision Yearly Report, April 2014-March 2015*, < [http://egnos-user-support.essp-](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202014%20-%202015.pdf)

[sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202014%20-%202015.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/EGNOS%20Yearly%20Reports/EGNOS%20Service%20Provision%20Yearly%20Report%202014%20-%202015.pdf) >, 10/7/2015, consultato ad agosto 2015

16. European Satellite Services Provider, *EGNOS safety of Life Service Roadmap v.3.2*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/egnos\\_sol\\_roadmap.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/egnos_sol_roadmap.pdf) > 5/6/2015, consultato a settembre 2015

17. European Satellite Services Provider, *EGNOS Open Service Roadmap v.3.2*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/egnos\\_os\\_roadmap.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/egnos_os_roadmap.pdf) > 5/6/2015, consultato a settembre 2015

18. European Satellite Services Provider, *EGNOS Data Access Service Roadmap v.3.2*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/library/official\\_docs/edas\\_roadmap.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/library/official_docs/edas_roadmap.pdf) >, 5/6/2015, consultato a settembre 2015

19. European Satellite Services Provider, *EGNOS bulletin n.15, Q2 2015*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/Egnos%20Bulletin/EGNOS%20Bulletin%2015%20-%20Q2%202015.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/Egnos%20Bulletin/EGNOS%20Bulletin%2015%20-%20Q2%202015.pdf) >, consultato a settembre 2015

20. European Satellite Services Provider, *EGNOS bulletin n.14, Q1 2015*, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/sites/default/files/Egnos%20Bulletin/EGNOS%20Bulletin%2014%20-%20Q1%202015.pdf](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/sites/default/files/Egnos%20Bulletin/EGNOS%20Bulletin%2014%20-%20Q1%202015.pdf) >, consultato a settembre 2015

21. European Space Agency, *GALILEO Mission High Level Definition*, < [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf) >, 23/9/2002, consultato ad agosto 2015

22. FAA/William J. Hughes Technical Center, *Wide Area Augmentation System Performance Analysis Report n.53*, < <http://www.nstb.tc.faa.gov/DisplayArchive.htm> > 7/2015, consultato ad agosto 2015

23. FAIRBANKS M., BASKER S., VENTURA-TRAVERSE J., DE MATEO J.C., *EGNOS performance for maritime users*, < [http://www.egnos-pro.esa.int/Publications/GNSS%202000/gnss2000\\_MAR.pdf](http://www.egnos-pro.esa.int/Publications/GNSS%202000/gnss2000_MAR.pdf) >, consultato ad agosto 2015

24. International Civil Aviation Organization, *Standards And Recommended Practices, Annex 10, Vol 1 (Radio Navigation Aids)*

25. *International Maritime Organization, Resolution A.915(22): Revised Maritime Policy And Requirements For a Future Global Navigation Satellite System (GNSS)*, 29/11/2001

26. SANZ SUBIRANA J., JUAN ZORNOZA J.M., HERNANDEZ-PAJARES M., *GNSS Data Processing, Vol I, Fundamentals and Algorithms*, Noordwijk: ESA Communications, 2013.

27. US Department Of Defence, *Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard*, < <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf> > 9/2008, consultato ad agosto 2015

28. US Department Of Defence, *Global Positioning System Precise Positioning Service Performance Standard*, < <http://www.gps.gov/technical/ps/2007-PPS-performance-standard.pdf> >, 2/2007, consultato ad agosto 2015

29. US Department of Defense, Department of Homeland Security, and Department of Transportation,

2008 Federal radionavigation plan, <

[http://www.navcen.uscg.gov/pdf/frp/frp2008/2008\\_Federal\\_Radionavigation\\_Plan.pdf](http://www.navcen.uscg.gov/pdf/frp/frp2008/2008_Federal_Radionavigation_Plan.pdf) >, consultato a luglio 2015

30. US Department of Defense, *Department of Homeland Security, and Department of Transportation, 2014 Federal radionavigation plan*, < <http://www.navcen.uscg.gov/pdf/FederalRadionavigationPlan2014.pdf> >, consultato a settembre 2015

31. US Department Of Transportation, Federal Aviation Administration, *Global Positioning System Wide Area Augmentation System (WAAS) Performance Standard*, < <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-WAAS-performance-standard.pdf> >, 31/10/2008, consultato ad agosto 2015

32. WALTER Todd., *GNSS Augmentations: When a Signal in Space isn't Enough*, in: Inside GNSS, settembre/ottobre 2012

## 7 Sitografia

1. DI FAZIO Antonella, BETTINELLI Daniele, O'KEEFE Kyle, *EGNOS and GALILEO Track Dangerous Goods*, < <http://gpsworld.com/egnos-and-galileo-track-dangerous-goods/> >, 1/4/2013, consultato a settembre 2015
2. EGNOS portal, < <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/> >, consultato a settembre 2015
3. EGNOS User Support Website, < [http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new\\_egnos\\_ops/index.php](http://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/index.php) >, consultato a settembre 2015
4. European GNSS Agency, 13 Projects Funded to Foster EGNOS Implementation in Aviation, < <http://www.gsa.europa.eu/news/13-projects-funded-foster-egnos-implementation-aviation> >, 25/6/2015, consultato a settembre 2015
5. European GNSS Agency, < <http://www.gsa.europa.eu/egnos/what-egnos> >, consultato a settembre 2015
6. European Space Agency, Navpedia, < [http://www.navipedia.net/index.php/Main\\_Page](http://www.navipedia.net/index.php/Main_Page) >, consultato a settembre 2015
7. Federal Aviation Administration, GPS/WAAS approaches, < [http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/approaches/](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/approaches/) >, consultato a settembre 2015
8. Federal Aviation Administration, WAAS, < [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/techops/navservices/gnss/waas/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/) >, consultato a settembre 2015
9. GPS World Staff, *GSA Flight Celebrated, Demonstrated EGNOS*, < <http://gpsworld.com/gsa-flight-event-celebrated-demonstrated-egnos/> >, 11/6/2015, consultato a settembre 2015
10. Russian System of Differential Correction and Monitoring, SDCM (versione inglese), < <http://www.sdc.ru/smglo/staticpages?version=eng&site=extern&title=about> > consultato a settembre 2015
11. Progetto SCUTUM, < <http://www.scutumgnss.eu/> >, consultato a settembre 2015
12. WAAS Test Team, < <http://www.nstb.tc.faa.gov/> >, consultato a settembre 2015



