

Università degli studi di Roma  
“*Tor Vergata*”



Facoltà di Ingegneria

Master in sistemi di navigazione e comunicazioni satellitari

*Integrità nel sistema di navigazione satellitare Galileo*

**Antonio D'Ottavio**

# Sommario

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTEGRITÀ .....</b>	<b>5</b>
1.1 Definizione di Integrità.....	5
1.2 Parametri principali che descrivono un sistema di integrità .....	5
1.2.1 Rischio di integrità.....	5
1.2.2 Alarm Limit .....	5
1.2.3 Time To Alarm .....	5
1.2.4 Rischio di continuità .....	6
1.3 Errori dei GNSS ed integrità .....	6
1.3.1 Errori attribuibili alla generazione del segnale.....	6
1.3.2 Errori dovuti alla propagazione del segnale.....	7
1.3.3 Errori dovuti al ricevitore.....	8
1.4 Sistemi per il monitoraggio della integrità .....	9
1.4.1 Monitoraggio integrità a livello Utente.....	9
1.4.2 Monitoraggio integrità a livello Sistema.....	11
<b>2. IL SISTEMA GALILEO.....</b>	<b>15</b>
2.1 Global Component.....	16
2.1.1 Segmento Spaziale .....	16
2.1.2 Segmento di Terra.....	18
2.1.3 Servizi “Satellite Only” .....	21
2.2 Regional Components.....	27
2.3 Local Components .....	27
2.4 User Segment.....	29
<b>3. INTEGRITÀ NEL SISTEMA GALILEO.....</b>	<b>30</b>
3.1 Integrità globale in Galileo.....	30
3.1.1 Componente di sistema .....	31
3.1.2 Componente Utente .....	36

<b>3.2 Integrità Regionale in Galileo .....</b>	<b>40</b>
<b>4. CONCLUSIONI.....</b>	<b>42</b>
<b>LISTA DELLE ABBREVIAZIONI .....</b>	<b>43</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>45</b>

# Introduzione

In questi giorni avviene il lancio di GIOVE-A, Galileo In-Orbit Validation Element A, il primo satellite della costellazione Galileo, esso assolverà a compiti di occupazione delle frequenze che quindi verranno definitivamente assegnate a Galileo come pure consentirà di effettuare numerosi tests delle nuove tecnologie applicate in Galileo, prima tra tutte l'orologio atomico a Maser utilizzato come riferimento temporale a bordo satellite. Si tratta del primo GNSS europeo ma anche di un GNSS che presenta diverse migliorie rispetto al GPS ed al GLONASS pur mantenendo l'interoperabilità con gli stessi, esse riguardano tutti e quattro i parametri caratteristici di un sistema di navigazione satellitare:

- Accuratezza, è il grado di conformità tra la posizione stimata e la posizione effettiva, già con il servizio OS, Open Service, si potrà arrivare a precisioni di 15m con ricevitori a singola frequenza e di 8 metri con ricevitori a doppia frequenza, ulteriore miglioria è possibile con sistemi di augmentation sia su base regionale quale EGNOS e WAAS che su base locale tramite implementazione di Local Components
- Continuità, è la capacità del sistema di navigazione di svolgere correttamente il suo compito per tutta la durata dell'operazione richiesta, tale continuità è senza dubbio funzione del numero di satelliti pertanto essendo Galileo compatibile coi GNSS precedenti ne segue che la continuità complessiva è sicuramente superiore a quanto si ha attualmente, oltre ciò la costellazione Galileo sarà anche quella col maggior numero di satelliti sinora in orbita per sistemi GNSS
- Disponibilità, è la capacità del sistema di fornire il suo servizio all'inizio dell'operazione, anche in questo caso l'incremento del numero di satelliti utili migliorerà le prestazioni in tal senso rispetto ai GNSS precedenti
- Integrità, è l'abilità del sistema di rilevare degradazioni del servizio oltre una soglia fissata e di segnalarlo nei tempi necessari alla sicurezza dell'operazione che si va ad iniziare, tale funzione non era presente ne in GLONASS ne nel GPS, per ovviare si è sinora ricorso a tecniche RAIM localizzate nel ricevitore oppure a sistemi di augmentation quali EGNOS e WAAS i quali però si appoggiano a satelliti geostazionari e quindi le regioni polari e semipolari sono scarsamente servite mentre invece le condizioni ambientali estreme richiedono spesso il ricorso a sistemi di navigazione satellitare

Proprio l'integrità rappresenta probabilmente la maggiore innovazione sistemistica introdotta da Galileo e ad essa è orientato il seguente studio.

# 1. Integrità

## 1.1 Definizione di Integrità

L'integrità è una misura della confidenza che l'utente di un sistema di navigazione può avere nei confronti della posizione calcolata, essa comprende la capacità del sistema di avvertire l'utente tempestivamente qualora l'affidabilità del sistema venga a mancare.

## 1.2 Parametri principali che descrivono un sistema di integrità

I requisiti di integrità vengono generalmente espressi in base a tre parametri, il rischio di integrità, l'Alarm Limit ed il Time To Alarm, tuttavia viene considerato anche il rischio di continuità in quanto un sistema nel quale la soglia di allarme viene superata troppo facilmente e senza motivo è un sistema con un elevato rischio di continuità.

### 1.2.1 *Rischio di integrità*

È la probabilità che a seguito di un qualsiasi problema la posizione calcolata sia affetta da un errore che eccede il valore di una soglia limite e nonostante ciò l'utente non venga avvertito entro un tempo prestabilito. Il calcolo del rischio di integrità si semplifica se tutte le distribuzioni coinvolte sono distribuzioni gaussiane pertanto laddove possibile se la distribuzione interessata è non gaussiana, viene comunque approssimata con una distribuzione gaussiana che la comprende. L'integrità è il complemento ad uno della probabilità di perdita di integrità.

### 1.2.2 *Alarm Limit*

Si tratta dell'errore massimo di posizione tollerato, qualora superato il sistema di integrità deve comunicare all'utente entro i tempi prestabiliti la situazione di allarme. Viene specificata una soglia diversa sul piano orizzontale e sul piano verticale.

### 1.2.3 *Time To Alarm*

È l'intervallo di tempo massimo entro il quale l'utente deve essere avvertito qualora un qualsiasi problema determini un errore sulla posizione superiore alla soglia d'allarme. Le applicazioni più sensibili sono nel campo aeronautico degli atterraggi di precisione e richiedono un TTA, Time To Alarm, di 1 secondo mentre il TTA caratteristico di Galileo è di circa 6 secondi il che lo rende comunque ottimo per molte applicazioni, anche aeronautiche. Il TTA di 1 secondo può essere raggiunto unicamente su base locale mediante l'utilizzo di Local Components.

#### 1.2.4 *Rischio di continuità*

Il rischio di perdita di continuità coincide con la probabilità di falso allarme, si tratta infatti del caso in cui il sistema di monitoraggio dell'integrità avverte l'utente che un problema del GNSS pregiudica il calcolo della posizione da esso effettuato, ma ciò non è vero o quantomeno l'errore sulla posizione calcolata è nei limiti di tolleranza, a seguito di ciò il sistema di integrità rende indisponibile il GNSS che quindi perde di continuità.

### 1.3 Errori dei GNSS ed integrità

Gli errori nel posizionamento mediante sistemi di navigazione satellitare appartengono sostanzialmente a tre grandi categorie, errori dovuti alla generazione del segnale, errori dovuti alla sua propagazione ed errori dovuti al ricevitore, essi possono essere caratterizzati globalmente mediante la UERE, User Equivalent Range Error, tuttavia la stima di posizione finale è anche funzione della geometria con la quale l'utente vede i satelliti, la caratterizzazione di quest'ultima avviene tramite la DOP, Dilution Of Precision.

Molti di questi errori possono essere minimizzati o cancellati con opportune contromisure, il Galileo System Operator è pertanto ritenuto responsabile soltanto di alcune classi di errori, e per essi viene valutata l'integrità del sistema, in particolare si tratta degli errori attribuibili alla generazione del segnale tuttavia nel seguito si darà una breve descrizione di tutti i principali errori riscontrabili nei GNSS.

#### 1.3.1 *Errori attribuibili alla generazione del segnale*

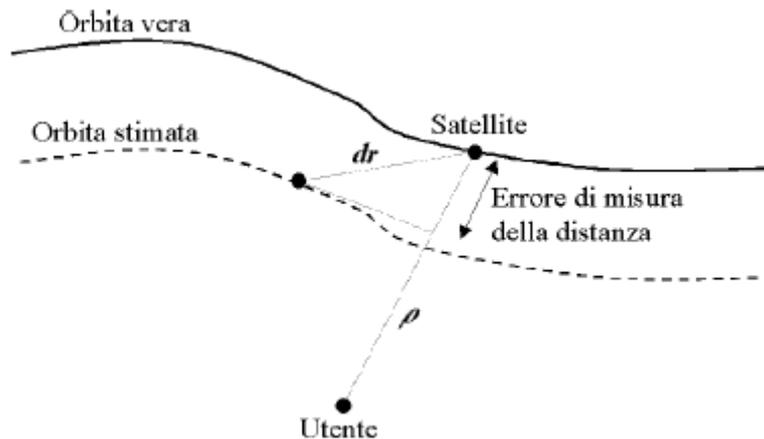
Il processo di generazione del messaggio di navigazione è un processo che inevitabilmente reca con sé un errore in quanto nel messaggio stesso viene inserito il tempo della sua generazione e tale valore deve essere preciso nell'ordine di decimi di ns e questo ha senso se il sistema è sincrono ossia se anche gli altri satelliti che inviano il loro messaggio di navigazione sono perfettamente agganciati temporalmente. Oltre ciò nello stesso messaggio di navigazione viene inserita la posizione del satellite stimata tramite le effemeridi e le sue variazioni, l'aggiornamento però non è frequente e questo determina un errore che si va ad accumulare nel tempo, nel seguito vengono descritte queste due categorie di errori connesse alla generazione del segnale di ranging.

##### 1.3.1.1 *Errore di effemeride*

Le effemeridi vengono calcolate dal GMS, Ground Mission Segment e caricate sui satelliti ogni 100 minuti, esse sono valide soltanto in un istante dopodiché negli istanti successivi vengono calcolate a partire da alcuni parametri che individuano la loro variazione, tali parametri vengono inseriti nel messaggio di navigazione, ovviamente la modellizzazione

genera degli errori che danno luogo ad un errore sul posizionamento del satellite effettivo rispetto al valore calcolato, la componente radiale di tale errore comporta una diversa distanza percorsa dal segnale e quindi si riflette in un errore nel range misurato.

La figura seguente evidenzia come la componente più critica dell'errore di effemeride sia lungo la radiale :



#### 1.3.1.2 Errore del clock del satellite

Le stazioni GSS monitorano i segnali provenienti dai satelliti e stimano l'errore nel clock dei diversi satelliti dopodichè inviano dei dati da inserire nel messaggio di navigazione e che servono appunto a correggere nel ricevitore questo errore del clock del singolo satellite, ovviamente si tratta di una stima ed in quanto tale dà comunque luogo ad un errore che si ripercuote nella misura di range, inoltre l'errore va a crescere quanto più ci si allontana dall'istante di aggiornamento.

#### 1.3.2 Errori dovuti alla propagazione del segnale

Nel percorso tra l'antenna del satellite ed il ricevitore, il segnale subisce ritardi che dipendono dal mezzo nel quale si propaga come pure dalla presenza di ostacoli, i contributi di questi errori possono essere anche rilevanti ma in parte possono essere corretti mediante modelli o con l'utilizzo di frequenze ausiliarie.

##### 1.3.2.1 Errore ionosferico

La ionosfera è situata ad una altezza dalla superficie terrestre compresa tra 70km e 100km, qui sono presenti dei gas i quali si ionizzano per via dei raggi ultravioletti emessi dal Sole, l'entità di questa ionizzazione è funzione dell'ora del giorno e del ciclo solare, l'effetto che ne consegue è una variazione dell'indice di rifrazione e conseguentemente della velocità con la quale viene attraversata la ionosfera, si avrà pertanto un ritardo che si ripercuote sullo pseudorange.

Nella modellizzazione di questo comportamento occorre anche tener conto della inclinazione del satellite rispetto all'utente infatti quanto più il satellite è inclinato, tanto più sarà elevato il contributo d'errore introdotto dalla ionosfera.

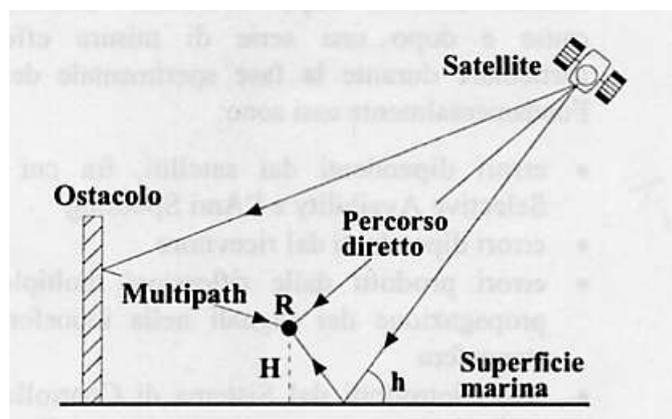
L'aspetto positivo dell'errore ionosferico è che è selettivo in frequenza pertanto ricevendo lo stesso segnale su due frequenze diverse si può eliminare l'errore, al crescere della separazione in frequenza aumenta la bontà della elaborazione ma aumenta anche la complessità ed il costo del ricevitore.

### 1.3.2.2 Errore troposferico

La troposfera si estende da 10km a 50km di altezza rispetto alla superficie della Terra, è non dispersiva sino a frequenze di 15GHz tuttavia i gas in essa presenti introducono un ritardo che può essere facilmente modellato e contribuisce per il 90% all'errore totale introdotto dalla troposfera mentre il vapore acqueo contribuisce soltanto per il restante 10% ma non può essere modellato se non su base statistica.

### 1.3.2.3 Errore dovuto al multipath

Questo errore è particolarmente sentito in ambito urbano, infatti il segnale proveniente dal satellite può subire delle riflessioni e presentarsi sull'antenna del ricevitore con più contributi i quali in particolari combinazioni possono anche annullarsi.



Per risolvere il problema è importante vi sia una schermatura inferiore delle antenne oppure anche l'utilizzo di un canale a banda larga come E5 di Galileo costituito da E5a ed E5b.

### 1.3.3 Errori dovuti al ricevitore

Questa componente tiene conto dell'errore commesso dal ricevitore nel calcolo del tempo di transito del segnale proveniente dal satellite, viene detto errore di tracking in quanto scaturisce dal non esatto aggancio in fase del codice PRN a causa del rumore termico e dell'interferenza tra canali. L'entità di tale errore è modesta ma può comunque essere minimizzato utilizzando come modello un processo aleatorio gaussiano bianco additivo.

## 1.4 Sistemi per il monitoraggio della integrità

Il monitoraggio della integrità non era stato pensato nel sistema GPS, pertanto gli utenti interessati a questa caratteristica hanno a lungo utilizzato sistemi RAIM per i quali l'integrità viene calcolata a livello utente sfruttando l'intrinseca ridondanza delle informazioni qualora si riescano a ricevere segnali da più di quattro satelliti.

Successivamente sono stati sviluppati dei sistemi di augmentation ed integrità su scala regionale, son così nati sistemi quali WAAS, EGNOS ed MSAS tutti basati sui segnali dei satelliti GPS. La novità che Galileo si appresta ad introdurre è quella di una integrità calcolata e diffusa direttamente dalla costellazione MEO con chiari vantaggi in termini di copertura e disponibilità.

### 1.4.1 *Monitoraggio integrità a livello Utente*

Le tecniche per il monitoraggio della integrità a livello utente sono molto più economiche rispetto alle tecniche di monitoraggio a livello di sistema, non necessitano di infrastrutture né di reti di controllo, ovviamente però i benefici sono per il singolo utente.

Le principali tecniche sono la RAIM, Receiver Autonomous Integrity Monitoring, la RAIM pesata che tiene conto degli angoli di elevazione dei satelliti in vista dall'utente e la AAIM, Aircraft Autonomous Integrity Monitoring, la quale invece utilizza sensori ausiliari per verificare la posizione calcolata tramite il sistema di navigazione satellitare.

#### 1.4.1.1 *RAIM*

La tecnica RAIM consente al ricevitore di determinare da solo se vi sia un problema nel sistema di navigazione satellitare che determina una degradazione nella precisione del calcolo della sua posizione. Alla base della tecnica vi è il fatto che per calcolare la posizione dell'utente occorrono 4 satelliti ma nella pratica nel GPS ne sono sempre visibili molti di più e con l'avvento di Galileo e l'utilizzo congiunto delle due costellazioni aumenterà ulteriormente il numero dei satelliti in vista da un qualsiasi utente in un qualsiasi momento in un qualsiasi punto della Terra.

Oltre ciò vi può essere anche ridondanza temporale ossia per il calcolo della integrità mediante la RAIM si possono utilizzare anche le precedenti misure di pseudorange opportunamente filtrate.

##### 1.4.1.1.1 *Verifica dell'integrità basata sulla ridondanza*

Vengono qui descritti i due metodi principali per verificare l'integrità del sistema a partire dalla ridondanza delle informazioni, essi sono il metodo del confronto delle distanze ed il metodo dei minimi quadrati.

#### **Metodo del confronto delle distanze**

Per calcolare la posizione di un utente occorrono almeno 4 satelliti, supponendo di averne in visibilità un numero superiore abbiamo che vi è una ridondanza di informazione che può essere utilizzata per valutare l'integrità del sistema infatti prendendo un insieme di 4 satelliti si calcola una soluzione, procedendo a ritroso si possono ricavare i valori degli pseudorange per gli altri satelliti in visibilità e quindi stabilire, dal confronto con quelli misurati, se sono stati oltrepassati gli Alarm Limit. Tali soglie possono essere calcolate supponendo che, in assenza di guasti, gli errori sugli pseudorange siano variabili aleatorie gaussiane a media nulla pertanto la densità di probabilità congiunta delle variabili date dalla differenza tra pseudorange misurati e pseudorange calcolati è una multivariata gaussiana.

### **Metodo dei minimi quadrati**

La soluzione dell'algoritmo di navigazione viene calcolata utilizzando tutti i satelliti in visibilità ed applicando il metodo dei minimi quadrati, ricavata la posizione a partire dagli pseudorange misurati si risale agli pseudorange calcolati, la statistica di test SSE è data proprio dalla norma quadrata della differenza tra questi due insiemi, gli Alarm Limit vengono verificati osservando che la SSE divisa per la varianza dell'errore sul singolo pseudorange presenta una distribuzione di tipo  $\chi^2$  con  $N_s - 4$  gradi di libertà dove  $N_s$  è il numero di satelliti in visibilità.

#### 1.4.1.1.2 Metodi di isolamento ed esclusione

Attraverso la tecnica RAIM è possibile non solo rivelare un guasto, ma anche isolarlo ed escluderlo, tutto dipende dal numero di satelliti in vista rispetto all'utente, in particolare se h sono i satelliti guasti occorrono almeno  $4 + h$  satelliti in visibilità.

#### **FDI (Fault Detection and Isolation):**

I satelliti guasti vengono isolati dal ricevitore attraverso un algoritmo di calcolo e successivamente esclusi dall'algoritmo di navigazione.

#### **FDE (Fault Detection and Exclusion):**

Questa tecnica consente di escludere direttamente i satelliti guasti dall'algoritmo di navigazione, a tal fine necessita almeno di 6 satelliti in visibilità. Si procede considerando tutte le combinazioni di n-1 satelliti che si hanno a partire dagli n satelliti disponibili, in presenza di un solo satellite guasto avremo che una sola combinazione di satelliti passerà il test di consistenza pertanto essa verrà utilizzata per il calcolo della posizione. Iterando su gruppi di satelliti via via più piccoli è possibile escludere anche più di un guasto ma aumentano i tempi di elaborazione.

#### 1.4.1.2 RAIM pesata

Nella RAIM pesata viene dato un peso diverso ai diversi pseudorange a seconda dell'angolo di elevazione del satellite cui si riferiscono, viene pertanto data maggiore importanza ai satelliti con un alto angolo di elevazione.

#### 1.4.1.3 AAIM

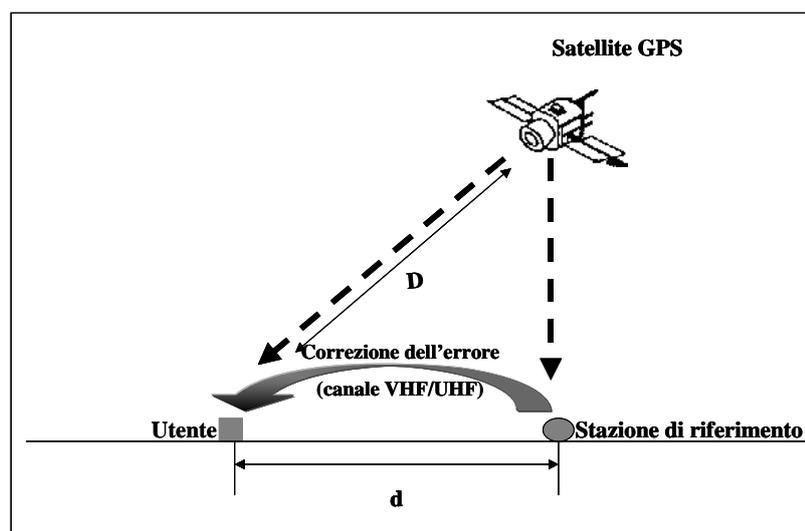
La tecnica AAIM integra le informazioni provenienti dal sistema di navigazione satellitare con informazioni provenienti da altri strumenti, come ad esempio sistemi giroscopici, in tal modo verifica e convalida i risultati dell'algoritmo di posizionamento.

### 1.4.2 Monitoraggio integrità a livello Sistema

Richiedono un grosso onere in termini di infrastrutture di terra ma in cambio offrono un servizio di integrità di alto livello disponibile in regioni estese, teoricamente anche su tutto il pianeta, senza la necessità di ricorrere ad ibridizzazioni.

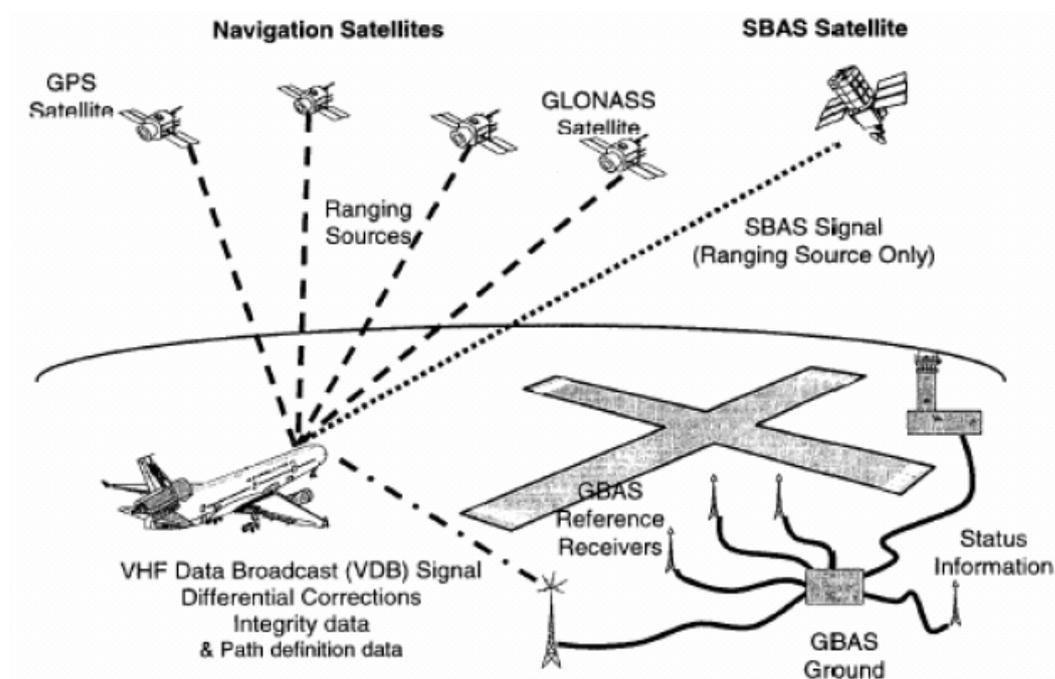
#### 1.4.2.1 Sistemi locali di augmentation ed integrità

Sono sistemi basati sul DGPS, una tecnica che prevede la presenza di una stazione di riferimento la quale essendo dislocata in posizione nota può determinare gli errori sugli pseudorange ricevuti dai satelliti della costellazione, tali errori sono simili per gli utenti che si trovano in un intorno di circa 100 Km pertanto ritrasmettendoli in VHF si ottiene un aumento delle prestazioni per quel che riguarda la precisione.



#### 1.4.2.1.1 GBAS

I Ground Based Augmentation Systems vengono utilizzati principalmente per incrementare precisione e integrità dei GNSS in prossimità di aeroporti al fine di agevolare le manovre di atterraggio.



Vi sono diverse stazioni di riferimento le quali captano i segnali dai satelliti della costellazione come pure da pseudoliti ossia installazioni a terra che si comportano come satelliti del GNSS, tali osservazioni vengono elaborate da un centro nel quale diverse di esse sono ridondanti, si ottiene così l'informazione di augmentation ed integrità che viene poi trasmessa sui canali VDB, VHF Data Broadcast.

#### 1.4.2.1.2 GRAS

Nel Ground based Regional Augmentation System vi sono più GBAS che emettono tramite VDB le loro informazioni di augmentation ed integrità, l'utente che si trova nella intersezione di più celle di copertura sceglie di utilizzare i segnali che hanno la migliore performance indicata.

#### 1.4.2.2 Sistemi regionali di augmentation ed integrità

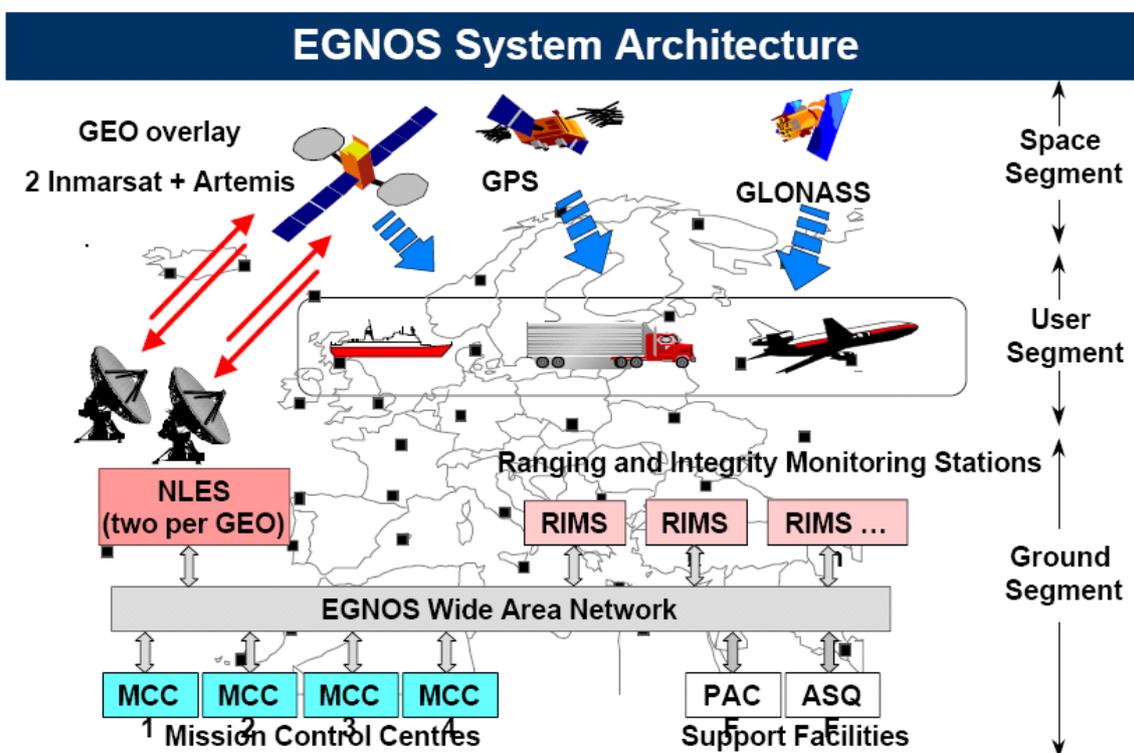
Al crescere della distanza tra l'utente e la stazione di riferimento la correzione allo pseudorange da essa calcolata perde di validità per l'utente in quanto varia sia il ritardo troposferico che ionosferico che l'errore di effemeride.

Una area molto estesa quale la regione ECAC può essere coperta o con un numero molto elevato di GBAS oppure con un numero minore di stazioni di riferimento le quali calcolano non l'errore scalare ma l'errore tridimensionale delle effemeridi e dell'offset del clock. Le correzioni vengono poi calcolate da un'unica stazione master che le diffonde tramite un mezzo opportuno.

## 1.4.2.2.1 SBAS

Nel caso degli SBAS, Satellite Based Augmentation Systems le informazioni di augmentation e di integrità vengono diffuse nell'area di servizio tramite dei satelliti solitamente geostazionari, essi stessi trasmettono anche dei segnali di ranging concorrendo quindi ad aumentare il numero di segnali utili per la valutazione delle correzioni.

L'architettura SBAS pur essendo molto complessa e costosa si sta affermando in quanto orientata agli utenti dell'aviazione i quali sono raggruppati in regioni in ciascuna delle quali si hanno diverse specifiche di sicurezza, di qui lo sviluppo di EGNOS in Europa, di WAAS negli USA e di MSAS in Giappone, nel descrivere l'architettura di sistema si farà riferimento a EGNOS secondo la figura sottostante:



I segnali di ranging vengono ricevuti dalle stazioni di riferimento le quali li reinviano tramite rete terrestre ad un centro di processamento che, per ogni satellite, calcola le correzioni sul clock e sulle effemeridi, elabora una griglia con la stima del ritardo verticale dovuto all'errore ionosferico e valuta le informazioni di integrità, il tutto viene poi inviato ai GEO per la diffusione nella regione ECAC.

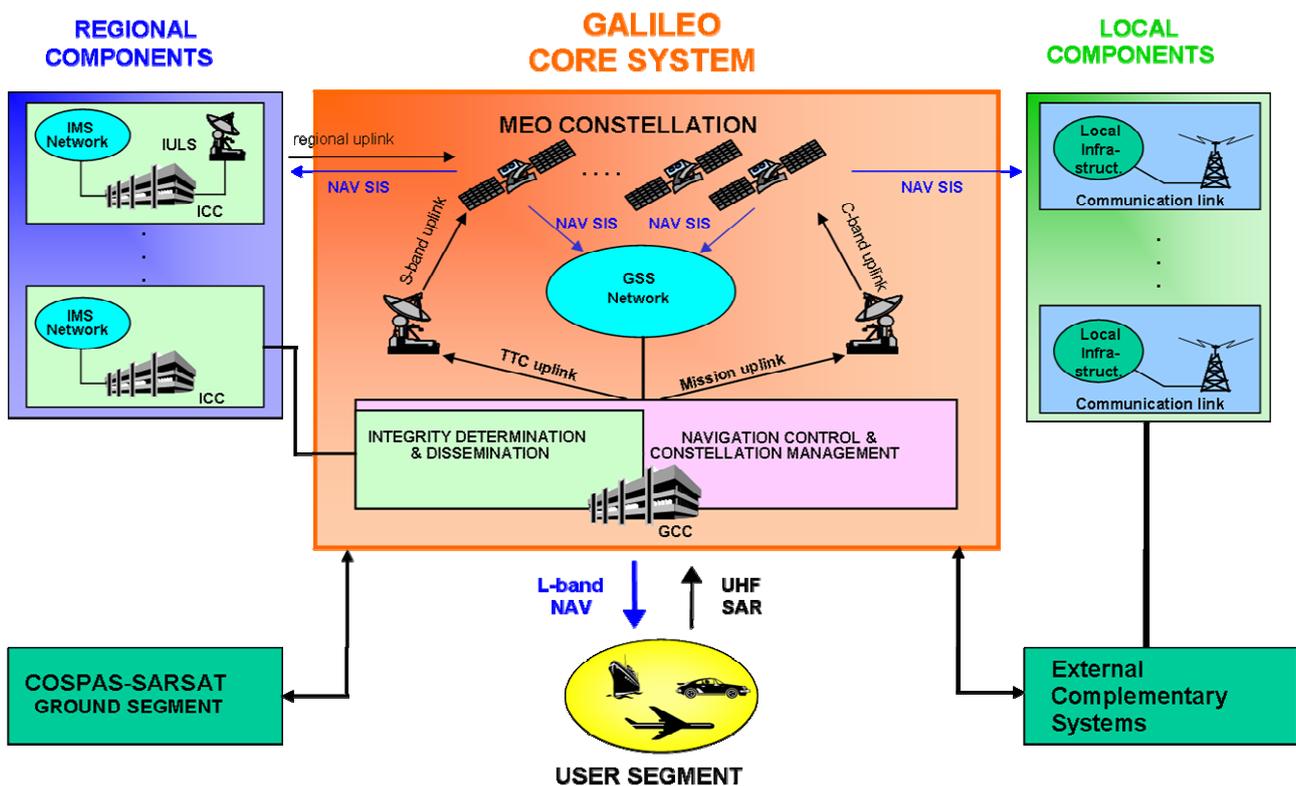
## 1.4.2.3 Sistemi globali di augmentation ed integrità

Il principale svantaggio dei sistemi SBAS è che utilizzano dei satelliti GEO per la ritrasmissione delle correzioni e della integrità nella regione di interesse, se questa si estende

in prossimità dei poli si incorre nella limitazione dei sistemi geostazionari che è appunto di avere un basso angolo di elevazione ai poli dove quindi un qualsiasi ostacolo può oscurare il segnale. Per risolvere il problema la soluzione è di sfruttare gli stessi satelliti della costellazione MEO, è quanto fatto dal GIC, Galileo Integrity Channel, il quale in sostanza ritrasmette l'informazione di integrità tramite i suoi stessi satelliti come pure può ritrasmettere una informazione di augmentation calcolata su base regionale. Si tratta anche in questo caso di un sistema SBAS con l'unica differenza che i satelliti utilizzati per la diffusione sono MEO e non GEO e che diffondono le informazioni concernenti il loro stesso funzionamento elaborate dal segmento di Terra.

## 2. Il sistema Galileo

Il sistema di navigazione satellitare Galileo è stato pensato e sviluppato seguendo le richieste di diversi gruppi di utenti, la disomogeneità di tali gruppi come pure delle loro esigenze si riflette sia nell'elevato numero di segnali utilizzati, undici, che nella stessa architettura del sistema descritta dalla seguente:



Si ha il Galileo Core System che già da solo racchiude tutte le funzionalità del GPS oltre ad aggiungere diverse nuove potenzialità quali l'integrità, l'autenticazione e la gestione del servizio SAR di Search & Rescue. La sua copertura è globale, sia per quel che riguarda la navigazione che per quel che riguarda l'integrità, ciò fa sì che su base regionale o locale siano possibili delle migliorie, in particolare per quanto riguarda l'integrità si ha una interfaccia verso dei possibili sistemi regionali nei quali gruppi di utenti aventi specifiche di utilizzo più stringenti si dotano con attrezzature ausiliarie e tuttavia fanno uso della costellazione di Galileo per trasmettere agli utenti le informazioni più accurate da essi ottenute. Una terza dimensione del sistema è quella dei sistemi locali, anche essi si interfacciano al Galileo Core System e si prefiggono di migliorare prestazioni quali la precisione, i tempi di allarme, l'acquisizione del segnale ed altro, tale miglioria, valida in ambiti ristretti, avviene attraverso l'utilizzo di strutture ausiliarie i cui costi sono a carico di enti pubblici o privati i quali debbono gestire direttamente la garanzia delle prestazioni, l'accesso al servizio ed eventualmente la fatturazione.

## 2.1 Global Component

La Global Component è il cuore del sistema Galileo, essa comprende il segmento spaziale con la costellazione dei satelliti ed il segmento di Terra che monitora e controlla sia la costellazione che i dati di navigazione ed integrità che essa diffonde a livello globale. Nel seguito vengono descritti il Segmento Spaziale, il Segmento di Terra, i servizi "Satellite Only", che sono prerogativa della Global Component ed i segnali e canali utilizzati per la loro diffusione.

### 2.1.1 *Segmento Spaziale*

Molte scelte effettuate nel progetto del segmento spaziale sono orientate alla compatibilità con i GNSS esistenti, GPS e GLONASS, la stessa costellazione Walker prescelta è tale da massimizzare le prestazioni nel caso di utilizzo congiunto di più GNSS da parte di un unico ricevitore.

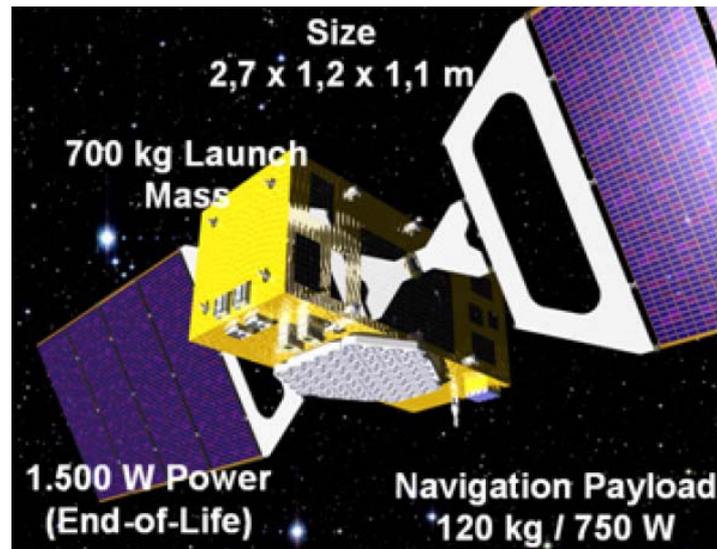
#### 2.1.1.1 *Caratteristiche della costellazione*

La costellazione prescelta è una Walker 27/3/1 costituita da 30 satelliti distribuiti equamente su 3 piani aventi una inclinazione nominale di  $56^\circ$ , su ogni piano ci sono 9 satelliti equispaziati tra loro ed un satellite di scorta che consente di sostituire in pochi giorni un eventuale satellite in avaria.

Si tratta di orbite MEO circolari situate a 23 222 km di altezza, i satelliti hanno quindi elevata visibilità ed inoltre le manovre per il mantenimento della posizione dovrebbero essere limitate aumentando quindi la vita del satellite stimata in circa 12 anni.

#### 2.1.1.2 *Caratteristiche dei satelliti*

Le dimensioni contenute dei satelliti,  $2.7 \times 1.1 \times 1.2\text{m}$ , ed il peso di 700Kg consentono l'utilizzo di diversi lanciatori, anche a lancio multiplo, il che riduce i costi di installazione della costellazione.

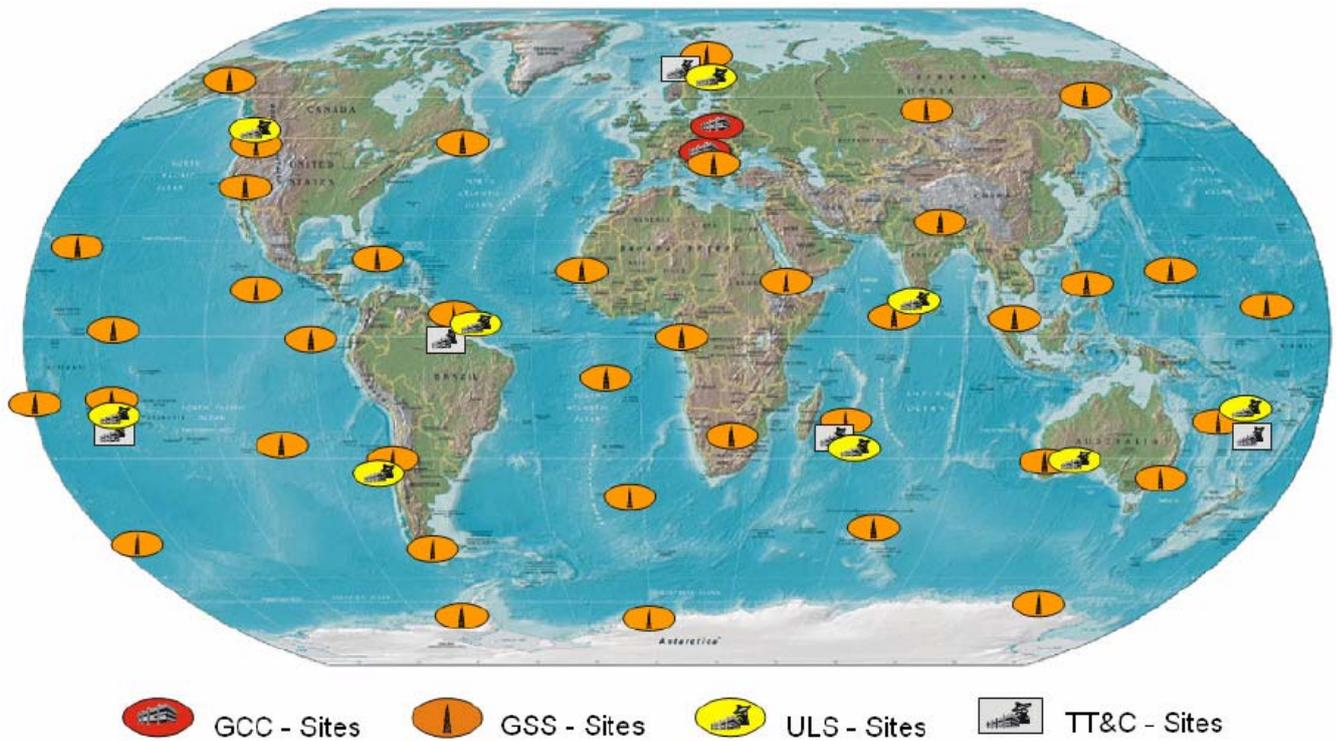


Ciascuno dei satelliti della costellazione Galileo è così costituito :

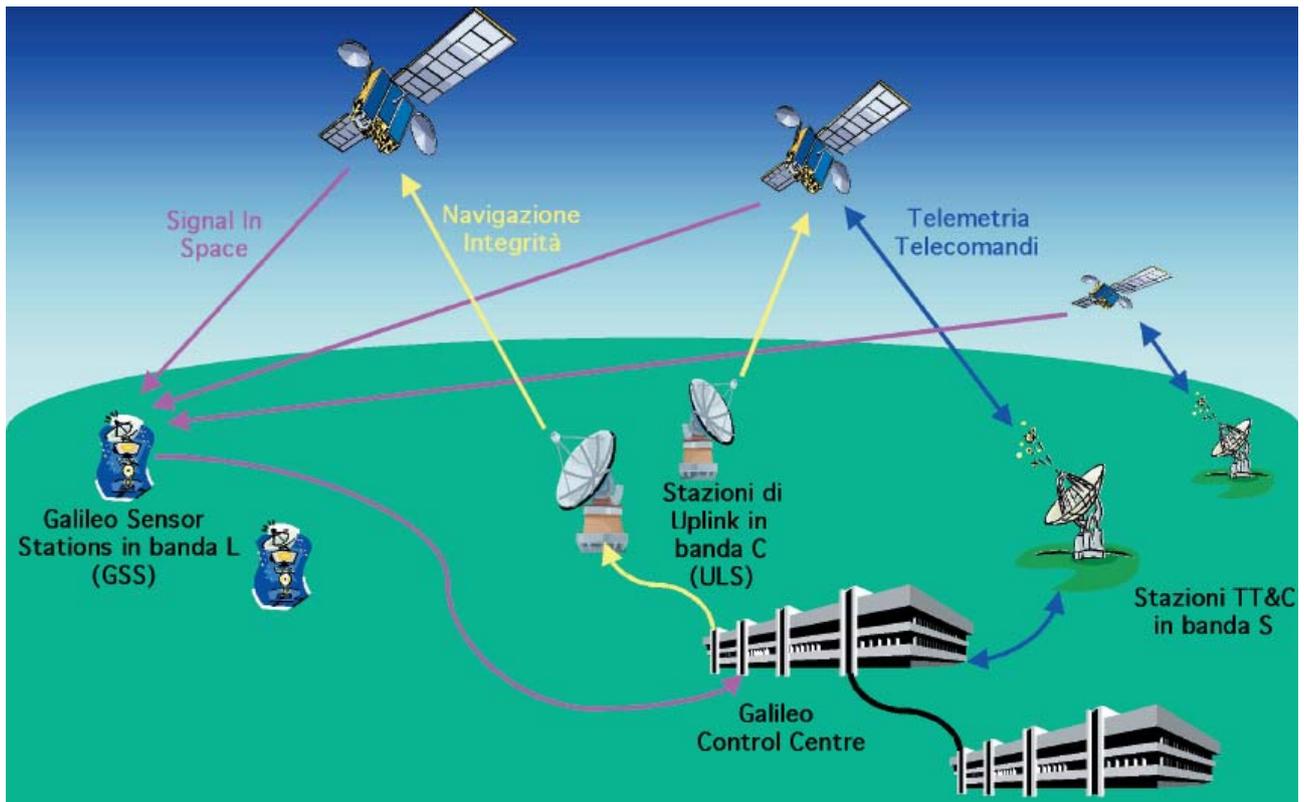
- Una antenna in banda L con range di frequenza 1200-1600Mhz utilizzata per la trasmissione del segnale di navigazione
- Una antenna per il servizio Search And Rescue utilizzata per la ricezione di segnali di emergenza e per la segnalazione verso le stazioni di Terra
- Una antenna in banda C per la ricezione dalle Galileo Uplink Stations dei segnali di missione, sincronizzazione del clock e dati di integrità, che poi verranno ritrasmessi agli utenti nel segnale di navigazione
- Una antenna in banda S per i segnali di TT&C
- Sensori di Terra
- Sensori di Sole
- Laser retro-riflettore per la misura dell'altezza con precisione di alcuni centimetri, viene utilizzato una volta l'anno in quanto normalmente si utilizza l'antenna in banda S con la quale si ottengono precisioni comparabili
- Un payload costituito da :
  - 2 clock al Maser che sfruttano la transizione dell'idrogeno a 1.4GHz , uno è di riserva e va in funzionamento unicamente dopo alcuni giorni dal malfunzionamento del clock principale il quale nel frattempo è sostituito da uno dei due clock al rubidio, la precisione è di 0.45ns su 12 ore
  - 2 clock al Rubidio con precisione di 1.8ns su 12 ore
  - Unità di controllo del clock e di interfaccia con l'unità di generazione dei segnali di navigazione
  - Unità di generazione del segnale di navigazione a partire dai messaggi di navigazione ed integrità che giungono dalle stazioni di uplink in banda C e dal clock di bordo
  - Unità di servizio

2.1.2 *Segmento di Terra*

Il cuore del Segmento di Terra di Galileo sono i due centri GCC, Ground Control Center, uno principale e l'altro di riserva. Entrambe assolvono sia a funzioni di controllo sulla costellazione mediante il GCS, Ground Control Segment che a funzioni di missione ossia di controllo del sistema di navigazione mediante il GMS, Ground Mission Segment.



Il GCS comunica con la costellazione mediante 5 stazioni di TT&C mentre 35 GSS, Galileo Sensor Station, monitorano i segnali provenienti dai satelliti e raccolgono informazioni meteo locali per inviarle al fine di processamento al GMS.



### 2.1.2.1 Ground Control Segment

Il GCS comunica con la costellazione mediante 5 stazioni TT&C equipaggiate con antenne in banda S da 13 metri. riceve le telemetrie dai satelliti della costellazione ed invia a quest'ultimi i telecomandi necessari per variare la configurazione delle apparecchiature interne del satellite e/o per correggere l'assetto e l'orbita del satellite stesso.

Le funzionalità svolte possono dividersi in tre macro aree:

- funzioni base per il controllo dei satelliti, incluse le fasi di LEOP, Launch and Early Orbit Phase, e IOV, In Orbit Validation
- funzioni di supporto alle operazioni quali sostituzioni di satelliti, gestione di database sulla costellazione, aggiornamento di software di bordo nonché tests e validazione
- funzioni di pianificazione delle operazioni

### 2.1.2.2 Ground Mission Segment

Il GMS utilizza una rete globale di 30 GSS le quali sono dislocate in posizioni note e sono dotate di ricevitori di riferimento pertanto possono monitorare la qualità dei segnali di navigazione emessi dai satelliti della costellazione.

Ciascuna GSS include 3 diverse catene riceventi, configurabili remotamente, una per l'integrità, una per la navigazione ed una mantenuta in riserva nel caso di guasto ad una delle precedenti, la comunicazione verso il GCC avviene ove possibile mediante una rete Frame Relay altrimenti mediante collegamenti satellitari VSAT.

Le comunicazioni del GMS verso la costellazione avvengono mediante una rete costituita da 9 ULS, Up-Link Station, ciascuna dotata di diverse antenne da 3 metri per le comunicazioni nella banda satellitare dei 5GHz.

Le GSS vengono utilizzate sia per la funzione OD&TS, Orbitography Determination and Time Synchronisation, che per la funzione IPF, Integrity Processing function. La OD&TS ha il compito di raccogliere ogni dieci minuti le osservazioni dei satelliti e del meteo effettuate dalle GSS al fine di calcolare le orbite e l'offset dei clock dei satelliti oltre che una previsione delle variazioni valida per le prossime ore. I calcoli effettuati per un determinato satellite vengono caricati sullo stesso ogni 100 minuti mediante una ULS. La funzione IPF effettua invece osservazioni istantanee dalle GSS al fine di verificare l'integrità dei segnali, i risultati della costellazione completa vengono caricati sui satelliti ed emessi in modo che ciascun utente possa ricevere almeno due messaggi di integrità costituiti da un flag di integrità che in caso di guasto deve essere settato non oltre i 6 secondi e da tabelle di integrità utili al ricevitore per ricostruire lo stato del sistema.

Il GMS è interfacciato anche verso importanti entità esterne al fine di rilanciare i dati ricevuti verso gli utenti, è il caso delle informazioni d'integrità su scala regionale ricevute in tempo reale dai Regional Integrity Systems, i dati commerciali del servizio CS provenienti dai Navigation Supplementary Data Service Providers, i messaggi ricevuti dal centro servizi Cospas-Sarsat, il Time Reference Provider, utilizzato per valutare le correzioni da apportare agli orologi di riferimento, ed il Geodetic Reference Provider che fornisce al GCC le informazioni necessarie per stabilire e mantenere una struttura di coordinate geocentriche indipendente ed autonoma.

### 2.1.3 Servizi “Satellite Only”

I servizi “Satellite Only” sono quelli messi a disposizione dal Galileo Core System su base mondiale, le loro prestazioni sono superiori o non confrontabili col GPS per via del fatto che molti servizi sono innovativi, tuttavia si può ottenere un ulteriore miglioramento delle prestazioni sia su base regionale che locale per quel che riguarda l’integrità, l’accuratezza e la disponibilità di informazioni aggiuntive. A seguire vengono descritte le caratteristiche dei servizi “Satellite Only” cioè Open Service, Commercial Service, Safety Of Life, Public Regulated Service e Search & Rescue inoltre vengono descritti i segnali ed i canali utilizzati per la loro diffusione.

#### 2.1.3.1 Open Service

E’ il servizio pensato per le applicazioni di massa, in particolare la navigazione satellitare nel settore automobilistico e i servizi Location Based associati alle reti mobili, caratteristica principale è che si tratta di un servizio gratuito così come ora accade per il GPS col quale si integra perfettamente, il che fa sì che specialmente in ambito urbano aumenti il numero dei satelliti a disposizione per il calcolo della posizione.

Per il servizio OS, Open Service, potranno essere utilizzati sia ricevitori a singola frequenza come pure ricevitori più complessi e costosi a doppia frequenza al fine di cancellare l’errore introdotto dalla ionosfera.

Nel caso di ricevitori locati in posizioni fisse sarà possibile ricavare dal servizio OS anche un riferimento temporale preciso utilizzabile per la sincronizzazione di applicazioni in rete o per applicazioni scientifiche.

Le specifiche emesse [4] per il servizio OS sono le seguenti :

		<b>Open Service</b>	
<b>Type of Receiver</b>	<b>Carriers</b>	Single Frequency	Dual-Frequency
	<b>Computes Integrity</b>	No <sup>11</sup>	
	<b>Ionospheric correction</b>	Based on simple model	Based on dual-frequency measurements
<b>Coverage</b>		Global	
<b>Accuracy (95%)<sup>12</sup></b>		H: 15 m V: 35 m	H: 4 m V: 8m
<b>Integrity</b>	<b>Alarm Limit</b>	Not Applicable	
	<b>Time-To-Alarm</b>		
	<b>Integrity risk</b>		
<b>Continuity Risk</b>		$8 \times 10^{-6} / 15 \text{ s}$	
<b>Timing Accuracy wrt UTC/TAI</b>		Not defined	50 nsec <sup>13</sup>
<b>Certification/Liability</b>		No	No
<b>Availability</b>		99% - 99.9%	

per il funzionamento a singola frequenza potranno essere utilizzati i segnali L1, E5a, E5b come pure E5a ed E5b insieme, per il funzionamento a doppia frequenza si utilizzano invece insieme i segnali E5a, E5b ed L1, vi è poi anche la possibilità di utilizzare una terza

frequenza al fine di ottenere precisioni dell'ordine del centimetro particolarmente apprezzate per rilevazioni topografiche.

2.1.3.2 *Commercial Service*

Tramite il servizio CS, Commercial Service, degli operatori privati potranno fornire migliori prestazioni di navigazione su base locale, come pure servizi dati aggiuntivi tramite un canale ad alto data rate nella banda E6, essi offriranno la garanzia dei servizi i quali però verranno cifrati e quindi saranno disponibili soltanto a pagamento.

2.1.3.3 *Safety of Life Service*

Il servizio SOL, Safety Of Life, si differenzia dal servizio OS per l'informazione di integrità, la quale permette di determinare se l'informazione satellitare ricevuta è affidabile, è necessaria in diverse applicazioni del trasporto civile dove un errore nel sistema di navigazione può determinare la perdita di vite umane.

Il servizio verrà certificato e sarà disponibile gratuitamente a livello globale per ricevitori di alta qualità anch'essi certificati, le performance saranno compatibili con quelle dell'approccio APV-II definite dall'ICAO, e quindi saranno ampiamente sovradimensionate per altri servizi quale il trasporto marittimo e ferroviario, come illustrato dalla seguente tabella dove il servizio A è relativo ad applicazioni di trasporto stradale, ferroviario o aeronautico con approcci di tipo APV-II, il servizio B è relativo alla fase di volo "en-route" mentre il servizio C è orientato al trasporto marittimo:

SoL Integrity Service Level	A	B	C
Coverage	World land masses	Global	Global
Alarm Limit	H: 40m V: 20m	H: 556m V: ~m	H: 25m V: ~m
Time-To-Alarm	6 s	10 s	10 s
Integrity Risk	$3.5 \times 10^{-7}$ / 150 s period	$10^{-7}$ / 1 hr period	$10^{-5}$ / 3 hr period
Continuity Risk	$8 \times 10^{-6}$ / 15 s period	(TBD)/ 1 hr period	$3 \times 10^{-4}$ / 3 hr period
Availability	99.5%	99.5%	99.5%
Applications	Aviation APV II, Road, Rail	Aviation en-route to NPA	Maritime

Si potranno ottenere prestazioni adeguate ad approcci aeronautici in CAT-1 mediante l'utilizzo congiunto di Galileo, GPS ed EGNOS.

Le prestazioni offerte [4] a livello globale dal servizio SOL sono le seguenti :

		<b><i>Safety-Of-Life Service</i></b>
<b><i>Type of Receiver</i></b>	<b><i>Carriers</i></b>	<i>Dual Frequency (single frequency under evaluation)</i>
	<b><i>Computes Integrity</i></b>	<i>Yes</i>
	<b><i>Ionospheric correction</i></b>	<i>Based on dual-frequency measurements</i>
<b><i>Coverage</i></b>		<i>Global</i>
<b><i>Accuracy (95%)</i></b>		<i>H: 4 m V: 8 m</i>
<b><i>Integrity</i></b>	<b><i>Alarm Limit</i></b>	<i>HAL: 12 m VAL: 20 m</i>
	<b><i>Time-To-Alarm</i></b>	<i>6 seconds</i>
	<b><i>Integrity risk</i></b>	<i>2x10<sup>-7</sup> / 150 s</i>
<b><i>Continuity Risk</i></b>		<i>8x10<sup>-6</sup>/15 s</i>
<b><i>Timing Accuracy wrt UTC/TAI</i></b>		<i>50 nsec</i>
<b><i>Certification/Liability</i></b>		<i>Yes</i>
<b><i>Availability</i></b>		<i>99 % - 99.9 %</i>

esse possono essere migliorate su base regionale attraverso sistemi personalizzati sulle specifiche di determinati gruppi di utenti i quali però utilizzano la costellazione Galileo per la ritrasmissione dei messaggi di integrità.

2.1.3.4 *Public Regulated Service*

Il servizio PRS, Public Regulated Service, è dedicato alle istituzioni pubbliche impegnate nel rispetto delle leggi ed in servizi di emergenza per i quali è richiesta una elevata disponibilità del servizio, a tal fine vengono utilizzati dei segnali molto robusti sia nei confronti del jamming che dello spoofing. Si tratta di un servizio cifrato avente le seguenti caratteristiche [4] :

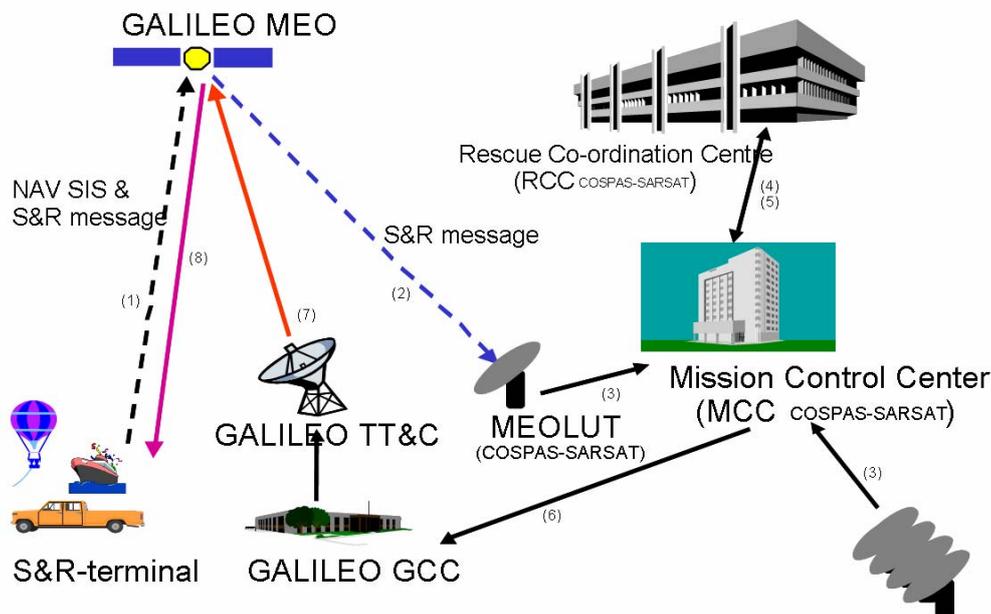
		<b><i>Public-Regulated Service</i></b>
<b><i>Type of Receiver</i></b>	<b><i>Carriers</i></b>	<i>Dual-Frequency</i>
	<b><i>Computes Integrity</i></b>	<i>To be defined</i>
	<b><i>Ionospheric correction</i></b>	<i>Based on dual-frequency measurements</i>
<b><i>Coverage</i></b>		<i>Global</i>
<b><i>Accuracy (95%)</i></b>		<i>H: 4 m V: 8 m</i>
<b><i>Integrity</i></b>	<b><i>Alarm Limit</i></b>	<i>Level to be defined during 2001</i>
	<b><i>Time-To-Alarm</i></b>	
	<b><i>Integrity risk</i></b>	
<b><i>Continuity Risk</i></b>		<i>8x10<sup>-6</sup>/15 s</i>
<b><i>Timing Accuracy wrt UTC/TAI</i></b>		<i>50 nsec</i>
<b><i>Certification/Liability</i></b>		<i>Under analysis</i>
<b><i>Availability</i></b>		<i>99 % - 99.9 %</i>
<b><i>Signal Robustness</i></b>		<i>High (TBD)</i>

2.1.3.5 Search and Rescue Service

Il servizio SAR, Search and Rescue, si propone di integrare e migliorare il sistema Cospas – Sarsat per la individuazione delle emergenze, sinora infatti si utilizzano 4 satelliti LEO e 3 satelliti GEO il che dà luogo a tempi di attesa di circa un’ora, localizzazione approssimata nel raggio di 5 Km e soprattutto frequente trasmissione di informazioni errate.

I 30 satelliti della costellazione Galileo, ciascuno in grado di gestire sino a 300 emergenze simultanee, consentiranno la ricezione dei messaggi di emergenza da qualsiasi luogo della Terra quasi in tempo reale e comunque entro non più di 10 minuti, la localizzazione avrà precisione di alcuni metri e più satelliti potranno rilevare la stessa segnalazione.

Il funzionamento del sistema è descritto dalla seguente figura :



in particolare in caso di emergenza il mezzo in difficoltà emette sulla frequenza 406MHz il messaggio SAR, uno o più satelliti della costellazione Galileo lo rilevano e lo inviano verso Terra utilizzando la frequenza 1544MHz, successivamente il messaggio d’allarme viene convogliato al GCC che a sua volta lo reinvia al centro per il controllo delle emergenze, di qui la novità introdotta da Galileo, infatti viene generato un messaggio di conferma il quale viene recapitato mediante la costellazione Galileo all’unità che ha generato l’allarme.

Le specifiche emesse [4] per il servizio SAR sono le seguenti:

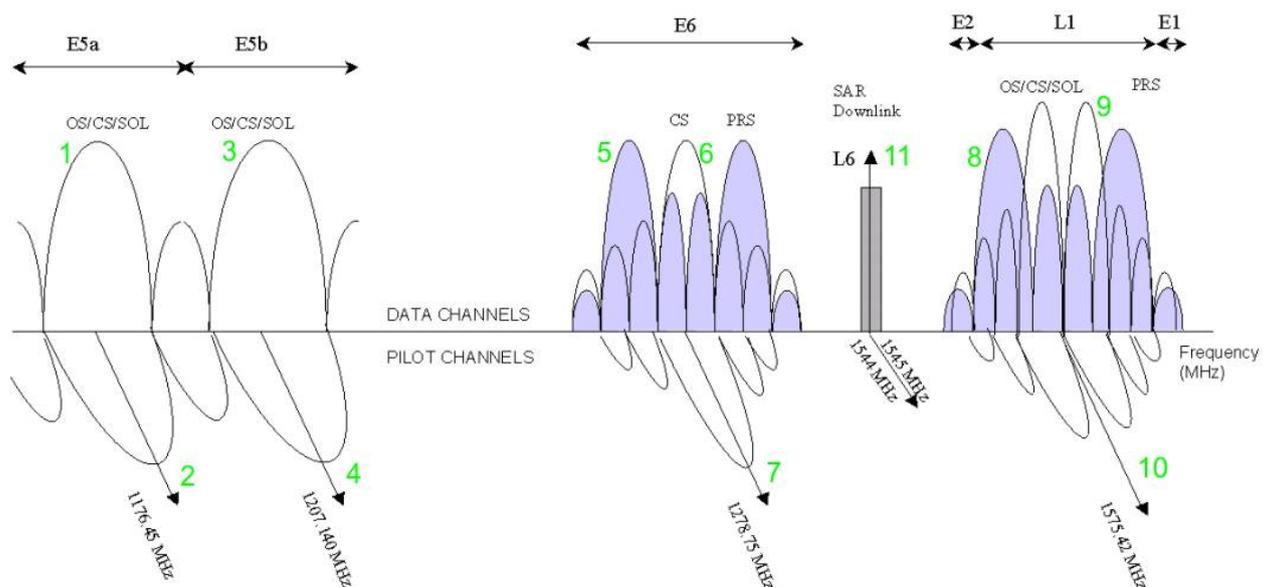
<b>Search and Rescue Service (SAR)</b>	
Capacity	Each satellite shall relay signals from up to 300 simultaneous active beacons
Forward System Latency Time	The communication from beacons to S&R ground stations shall allow to detect and locate a distress emission in less than 10 mn. The latency time goes from beacon first activation to distress location determination .
Quality of Service	Bit Error Rate <math>< 10^{-5}</math> for communication link: beacon to S&R ground station
Acknowledgment Data Rate	6 messages of 100 bits each, per minute
Coordination Messages Data Rate	18 messages of 420 bits each, per minute
Availability	> 99%

2.1.3.6 Segnali utilizzati

I servizi di Galileo vengono implementati tramite 11 segnali emessi dai satelliti della costellazione, un numero così elevato di segnali si è reso necessario per i seguenti scopi:

- Interoperabilità tra Galileo e GPS che quindi debbono avere almeno due bande in comune, esse sono L1 ed E5a quest'ultima infatti è in comune con la L5 del GPS. L'interoperabilità non deve però dar luogo ad un degrado delle prestazioni, di qui l'utilizzo della modulazione BOC, che consente di riallocare lo spettro ai lati della frequenza centrale, e della modulazione AltBOC che invece consente di spostare lo spettro in alto o in basso rispetto alla portante e quindi di modulare con segnali diversi la semibanda inferiore rispetto alla superiore
- Per eliminare l'errore ionosferico nel ranging occorre che ogni servizio abbia a disposizione almeno due bande distinte, precisioni centimetriche possono essere raggiunte con l'utilizzo di una terza banda come avviene per il servizio commerciale
- L'utilizzo di segnali pilota costituiti da portanti in quadratura agevola l'aggancio del segnale di ranging anche in situazioni difficili come in ambienti urbani
- Viene utilizzata come per il GPS la modulazione CDMA, Code Division Multiple Access, i satelliti sono quindi distinti da un codice unico assegnato a ciascuno di essi

I segnali utilizzati sono tutti RHCP, Right Hand Circular Polarization, e sono illustrati nella seguente figura:



Mentre i servizi che sono mappati su di essi sono mostrati in tabella :

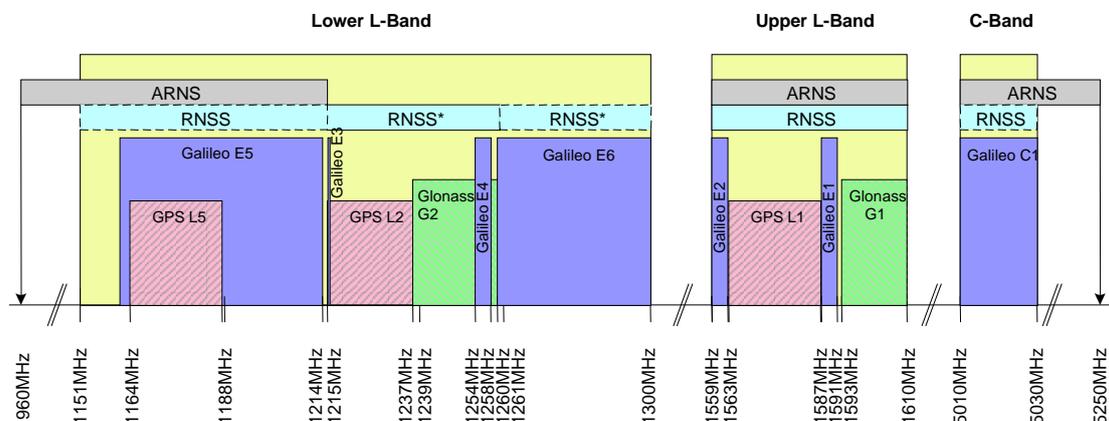
Signal			Central Frequency MHz	Chip rate Mchip/s	Ranging Code Encryption	Data rate symbol/s (bit/s)	Data encryption	Reference Service
Id	Name							
1	E5a-I	data	1176.45	10	None	50 (25)	None	OS/SoL
2	E5a-Q	pilot	1176.45	10	None	No data	~	OS/SoL
3	E5b-I	data	1207.14	10	None	250 (125)	some	OS/SoL/CS
4	E5b-Q	pilot	1207.14	10	None	No data	~	OS/SoL/CS
5	E6-A	data	1278.75	5	Government	tbd	Yes	PRS
6	E6-B	data	1278.75	5	Commercial	1000 (500)	Yes	CS
7	E6-C	pilot	1278.75	5	Commercial	No data	~	CS
8	E2-L1-E1-A	data	1575.42	M	Government	tbd	Yes	PRS
9	E2-L1-E1-B	data	1575.42	2	None	250 (125)	Some	OS/SoL/CS
10	E2-L1-E1-C	pilot	1575.42	2	None	No data	~	OS/SoL/CS
11	L6 downlink	data	1544.10	~	~	~	~	SAR

Ogni servizio può avere diverse varianti, ad esempio il servizio OS può essere monofrequenza o a doppia frequenza, qualora utilizzi sia E5a che E5b si ottiene un segnale a banda molto ampia che aumenta la precisione e aiuta a ridurre il multipath in quanto così come avviene per l’UWB, Ultra Wide Band, al crescere della banda utilizzata aumenta la risoluzione spaziale.

Il servizio SOL richiede al minimo un ricevitore a doppia frequenza, in quanto per le applicazioni cui si rivolge è fondamentale eliminare l’errore ionosferico prima ancora di valutare l’integrità dei segnali.

Per le bande E6 ed E2-L1-E1 viene utilizzata la modulazione CASM, Coherent Adaptive Subcarrier Modulation, al fine di ottenere un segnale ad inviluppo costante che pertanto consente di ottimizzare le prestazioni degli amplificatori di potenza dei satelliti.

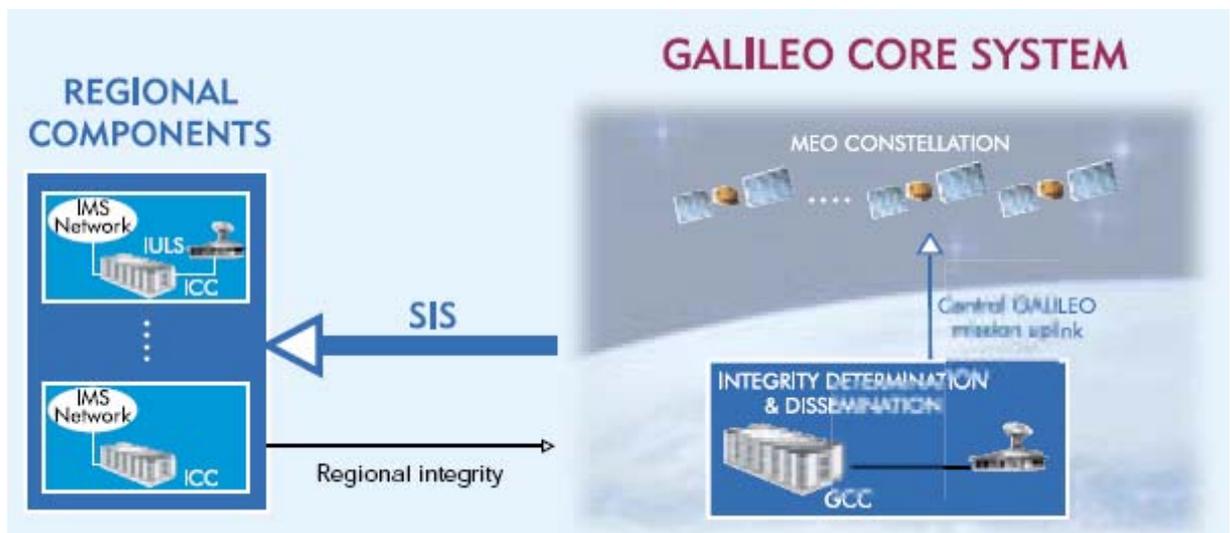
Nella figura successiva viene riportato lo spettro di frequenza utilizzato dai diversi GNSS



## 2.2 Regional Components

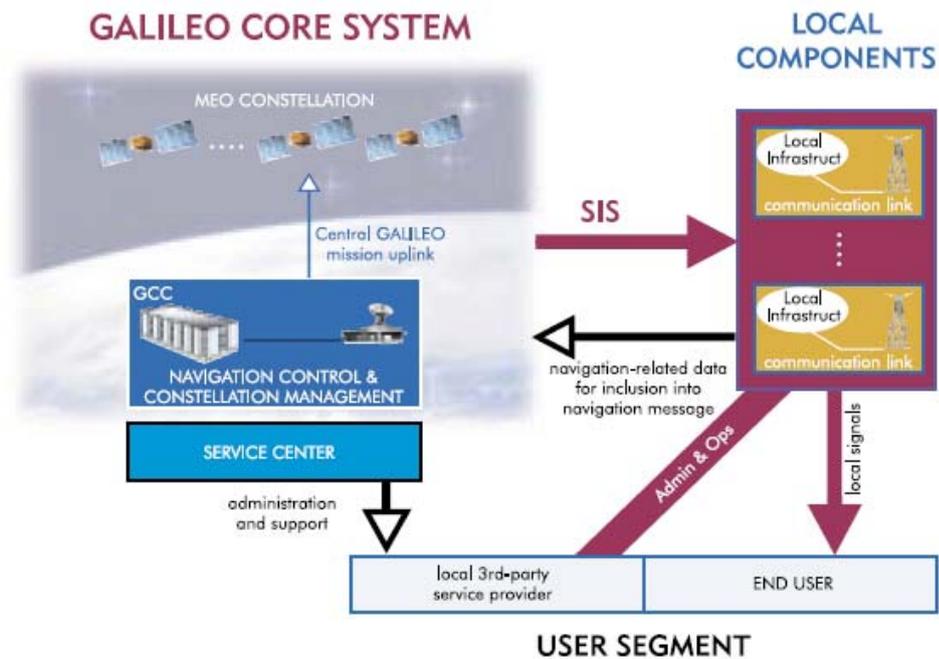
Il Galileo Core System può interfacciarsi con un massimo di 5 sistemi di integrità regionali esterni detti Regional Components, implementati ed operati da organizzazioni, paesi o gruppi non europei che richiedano requisiti di integrità superiori a quelli offerti dal servizio globale di Galileo.

Tali soggetti provvederanno pertanto ad installare un proprio sistema di integrità ed augmentation le cui informazioni verranno però erogate nell'area di interesse tramite i satelliti di Galileo.



## 2.3 Local Components

Sono costituiti da infrastrutture a terra dimensionate per soddisfare specifiche esigenze di utenti che richiedono, per aree geografiche limitate, prestazioni più spinte d'accuratezza e integrità rispetto a quelle che Galileo è in grado di offrire a livello globale, è il caso di un aereo in fase di atterraggio, una nave all'interno di un porto o semplicemente un'area dove i segnali dei satelliti non possono essere ricevuti. Le infrastrutture di Terra possono essere costituite da sistemi di comunicazione o navigazione preesistenti oppure realizzate appositamente, la copertura può andare da pochi metri all'interno di edifici a centinaia di km nel caso di sistemi di correzione differenziale in rete.



Un esempio di Local Element sono gli pseudoliti i quali sono sistemi di trasmissione che si comportano come i satelliti di navigazione ma sono a terra, essi consentono un miglioramento della continuità, della disponibilità e della accuratezza verticale, l'utilizzo viene raccomandato nel caso di atterraggi di precisione e di posizionamento indoor.

Le possibili architetture di Local elements individuate sono le seguenti :

- Network Assisted, la posizione viene calcolata da un server centrale che calcola la posizione sulla base dei dati inviati dal terminale e delle informazioni provenienti da una reference station e le correla ad un centro servizi che associa dei punti di interesse
- Location Based Services, il terminale calcola la posizione assistito dalle informazioni ricevute dal server centrale
- Indoor, tramite trasmettitori UWB si rende possibile il posizionamento all'interno di edifici con precisioni dell'ordine del metro
- Servizi ad alta precisione, utili per rilevazioni marine e misure topografiche, si ottengono precisioni dell'ordine del centimetro mediante le tecniche RTK, Real Time Kinematics, e TCAR, Three Carrier Ambiguity Resolution, le quali richiedono una rete di stazioni poste nel perimetro di copertura dell'area interessata, i dati da esse vengono inviati al server che calcola le correzioni emesse da una ipotetica stazione posta accanto all'utente, tali correzioni gli vengono inviate tramite una rete mobile.
- Broadcast RTK, il server invia i dati di navigazione ricevuti dalle sue reference station a tutti gli utenti nell'area di copertura del trasmettitore utilizzato per la diffusione

- Settore aereo, una stazione di riferimento invia dati di augmentation ed integrità mediante un canale VHF
- Settore marittimo, mediante le tecniche TCAR/RTK si possono raggiungere precisioni dell'ordine del centimetro durante la fase di navigazione portuale, occorrono pertanto delle stazioni di riferimento ed un centro di monitoraggio dell'integrità mentre i dati vengono trasmessi tramite rete mobile a terminali certificati
- Trasporto su strada, delle stazioni di riferimento posizionate lungo le principali autostrade diffondono correzioni ed informazioni mediante il DAB consentendo così il controllo automatico del veicolo come pure la segnalazione di percorsi alternativi

Nella tabella seguente troviamo il miglioramento delle prestazioni in termini di precisione, Time To Alarm e disponibilità che si ha mediante l'utilizzo di Local Elements :

<i>Type of Local Components</i>	Broadcast of differential corrections for Single or dual Frequency Users	Broadcast of Differential corrections for Triple-Frequency Users (TCAR)	UMTS-assisted user position computation
<b>Accuracy</b>	< 1 m	< 10 cm	50 m (TBC)
<b>Integrity Time to Alarm</b>	1 s	1 s	Not applicable
<b>Availability</b>	High under open field-of-view conditions	High under open field-of-view conditions	Increased in urban canyons and for indoor applications

## 2.4 User Segment

In questo segmento troviamo i diversi ricevitori che l'utente può avere a disposizione per usufruire dei vari servizi, evidentemente quanti più servizi e canali il ricevitore è in grado di gestire, tanto più elevato sarà il suo costo, tali ricevitori dovranno poi in alcuni casi essere certificati come per il servizio Safety Of Life, oppure dovranno essere in grado di processare le informazioni provenienti dai canali di comunicazione, è questo il caso dei servizi commerciali per il quale dovrà essere implementata anche una forma di accesso e di pagamento.

### 3. Integrità nel sistema Galileo

Nella valutazione dell'integrità del sistema di navigazione satellitare Galileo si considerano i soli contributi d'errore inerenti alla generazione del segnale, in particolare l'errore d'effemeride e l'errore di clock, si considera cioè l'errore presente nel SIS, Signal In Space, nel momento in cui esso lascia il centro di fase dell'antenna, tale errore viene denominato SISE, SIS Error, e comprendendo l'errore d'effemeride dipende anche dalla posizione del ricevitore.

L'integrità consente pertanto al ricevitore di valutare l'errore di posizione derivante dal sistema assumendo che tutti gli altri contributi d'errore siano stati ridotti o eliminati mediante accorgimenti come l'utilizzo della doppia frequenza nel caso dell'errore ionosferico oppure l'utilizzo di modelli atmosferici per l'errore troposferico.

Nel seguito verrà descritto il funzionamento del GIC di Galileo nei confronti del calcolo dell'integrità sia a livello globale che regionale.

#### 3.1 Integrità globale in Galileo

L'integrità globale di Galileo è un servizio offerto gratuitamente a livello mondiale, le prestazioni vengono tuttavia garantite soltanto nel caso l'utente sia dotato di opportuni ricevitori a doppia frequenza di qualità superiore e certificati.

Il servizio in questione è il SOL, i canali utilizzati L1, E5a ed E5b ed infine le prestazioni attese da Galileo in termini di integrità sono riassunte nella seguente tabella:

Accuracy (95%)	horizontal: 4m
	vertical: 8m
Availability	99.8 % of service life time
Continuity Risk	$< 8 \times 10^{-6} / 15s$
Integrity	HAL: 40m
	VAL: 20m
	TTA: 6 seconds
	Integrity Risk: $< 2.0 \times 10^{-7} / 150s$ (system contribution)

In particolare il requisito sulla disponibilità è un ordine di grandezza maggiore rispetto a quanto si ha per sistemi quali EGNOS e WAAS e rende pertanto necessario un approccio diverso alla implementazione della integrità.

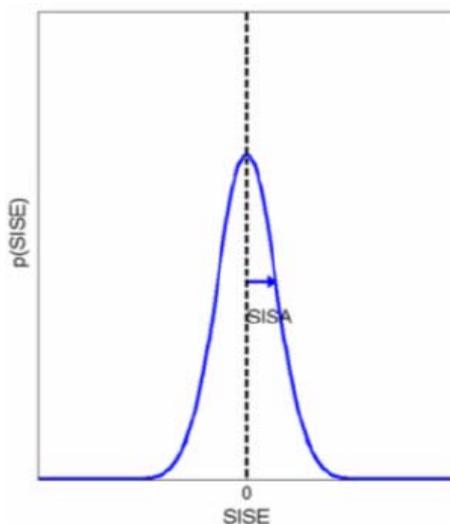
### 3.1.1 Componente di sistema

In questa sezione vengono descritte le operazioni effettuate dal Galileo Core System al fine di consentire all'utente di operare in sicurezza il sistema di navigazione satellitare, nella fattispecie esse sono il calcolo del SISA, la stima del SISE, il calcolo dell'Integrity Flag e del SISMA ed infine la generazione dei messaggi di integrità e di allerta.

#### 3.1.1.1 Calcolo del SISA

Il SISA, SIS Accuracy, è una previsione che consente all'utente di calcolare il rischio di integrità nei prossimi 100 minuti di operatività del sistema a patto che esso sia in condizioni nominali ossia che siano operativi sia il segmento di Terra che il segmento spaziale.

Si tratta di uno scalare, espresso in metri, attraverso il quale il sistema intende mettere a conoscenza gli utenti di quella che è la distribuzione statistica del SISE relativo ad un determinato satellite, tale distribuzione non è gaussiana ed oltre ciò è anche funzione della posizione del ricevitore in quanto dipendente dall'errore di effemeride, al fine pertanto di agevolare i calcoli nel ricevitore e di trasmettere un unico valore essa viene inclusa in una distribuzione gaussiana che racchiude tutte le distribuzioni del SISE relative a differenti posizioni dell'utente, la deviazione standard di tale gaussiana è proprio il SISA.



Si tratta di una previsione generata dall'OD&TS, Orbit Determination and Time Synchronization, sulla base di misure effettuate dalle 35 GSS sparse nel mondo, viene calcolata ogni 10 minuti e caricata sui satelliti ogni 100 minuti per essere disseminata all'interno del messaggio di navigazione insieme alle correzioni per il clock e per le effemeridi per il medesimo satellite.

La distribuzione gaussiana individuata dal SISA deve essere in grado di contenere la distribuzione dell'errore sul SIS che si ha nel punto peggiore del footprint del satellite, il WUL,

Worst User Location, l'approccio è pertanto fortemente conservativo per il resto del volume di servizio del satellite.

L'ultima importante osservazione riguarda il fatto che il SISA è una grandezza calcolata a livello globale e che viene inserita nel messaggio di navigazione del solo satellite cui è riferita.

### 3.1.1.2 *Stima del SISE*

La stima del SISE si rende necessaria per soddisfare il requisito di tempestività nella segnalazione del malfunzionamento del sistema, secondo le specifiche del servizio SOL infatti entro 6 secondi esso deve essere segnalato agli utenti, tale segnalazione non può avvenire quindi tramite il SISA il quale è soltanto una previsione dell'errore per i prossimi 100 minuti qualora il segmento di Terra ed il segmento spaziale operino correttamente.

La stima del SISE viene quindi effettuata in un flusso di segnale diverso da quello di navigazione, esso è detto flusso di integrità e si genera ugualmente dalle GSS le quali forniscono ogni secondo delle misure di precisione alla IPF, Integrity Processing Function, la quale applica quindi degli algoritmi volti a stimare il SISE massimo nell'area di servizio del satellite considerato, essi sono il metodo dell'approssimazione lineare, il metodo della approssimazione quadratica ed il metodo del posizionamento inverso.

#### 3.1.1.2.1 Metodo dell'approssimazione lineare

Si assume che in una certa zona della Terra il SISE possa essere uno scalare approssimato da una superficie piana, tramite le misure del SISE effettuate dalle GSS ed utilizzando un algoritmo basato sui minimi quadrati si ricavano quindi i parametri che descrivono l'andamento planare dell'errore nell'area di copertura del satellite interessato.

E' una approssimazione valida principalmente per sistemi di integrità regionali aventi quindi un'area di servizio limitata, ad esempio viene utilizzata nel sistema EGNOS il quale consente di ottenere augmentation ed integrità nell'area ECAC, European Civil Aviation Conference.

#### 3.1.1.2.2 Metodo dell'approssimazione quadratica

Il metodo dell'approssimazione lineare può essere esteso a regioni più ampie utilizzando una approssimazione quadratica invece che lineare, in tal caso sono però necessari 6 parametri e quindi si complica l'elaborazione rispetto al caso precedente.

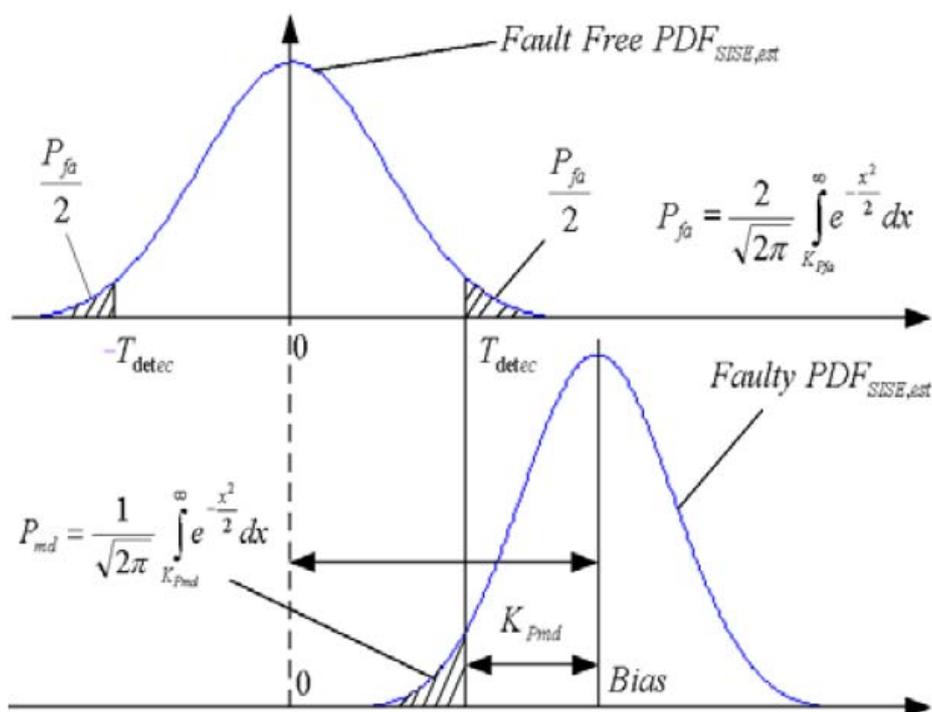
#### 3.1.1.2.3 Metodo del posizionamento inverso

In questo caso il SISE viene calcolato risolvendo un sistema di equazioni simile alle equazioni di navigazione, con la differenza che al posto dei satelliti si considerano le GSS e le incognite sono l'errore sul clock e sulle effemeridi, espresse in coordinate ECEF, del satellite considerato.

### 3.1.1.3 Calcolo dell'Integrity Flag

L'integrity Flag ha il compito di segnalare un problema nel sistema di navigazione satellitare entro il Time To Alarm che per il servizio SOL è fissato in 6 secondi, per il suo calcolo si considera il SISA attualmente diffuso agli utenti e la stima del SISE effettuata ogni secondo dalla IPF a partire dai rilevamenti delle GSS.

L'approccio utilizzato è quello del MDB, Minimum Detectable Bias, tramite il quale vengono soddisfatte le specifiche sulla probabilità di falso allarme e sulla probabilità di mancata detenzione del malfunzionamento nel SIS valutato.



Il caso "Fault Free" riguarda un SIS privo di errori tali da pregiudicare il funzionamento del sistema, per esso la distribuzione del SISE attuale è una gaussiana a valor medio nullo con deviazione standard pari al SISA attualmente diffuso agli utenti, la sua stima contiene anche un termine di errore dovuto all'algorithmo di calcolo effettuato dalla IPF.

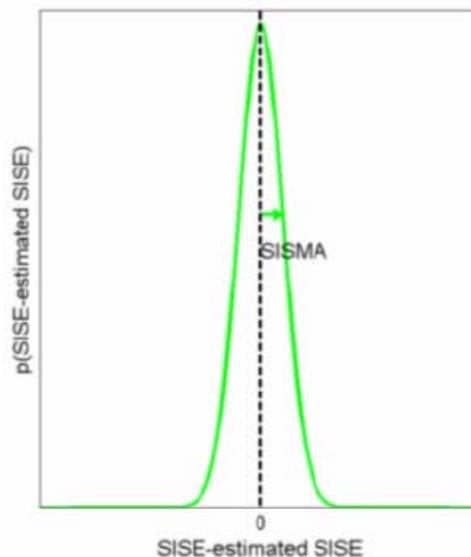
Il caso "Faulty" riguarda invece un SIS affetto da errori in grado di pregiudicare il funzionamento del sistema, per esso la distribuzione del SISE attuale è una gaussiana con una polarizzazione il cui valore deve essere determinato nel calcolo effettuato dalla IPF.

Utilizzando l'approccio MDB è possibile associare all'Integrity Flag uno dei tre valori, "Not OK", qualora la probabilità di falso allarme non sia soddisfatta, oppure "OK" o "Not Monitored".

Il confronto viene fatto con l'IF Threshold un valore che tiene conto della distribuzione del SISE, della distribuzione della differenza tra SISE effettivo e SISE stimato e della probabilità di falso allarme consentita, anche l'IF Threshold viene diffusa all'utente all'interno del messaggio di integrità.

#### 3.1.1.4 *Calcolo del SISMA*

Attraverso il SISMA il sistema di integrità intende descrivere il livello di accuratezza con il quale la IPF è in grado di stimare il SISE di un satellite, esso è definito come la deviazione standard della gaussiana che include la distribuzione del SISE reale intorno al SISE stimato, in particolare dipende dalla geometria delle GSS disponibili rispetto ai satelliti, dalla qualità degli osservabili e dalla qualità dei modelli di propagazione.



Il SISMA viene calcolato dalla IPF sulla base delle rilevazioni effettuate dalle GSS, l'invio alla costellazione avviene mediante un messaggio di integrità che viene aggiornato ogni 30 secondi, oppure in caso di allarme.

Ogni utente deve poter ricevere il valore del SISMA da almeno 2 satelliti i quali inviano l'informazione sul SISMA relativa a tutti i satelliti.

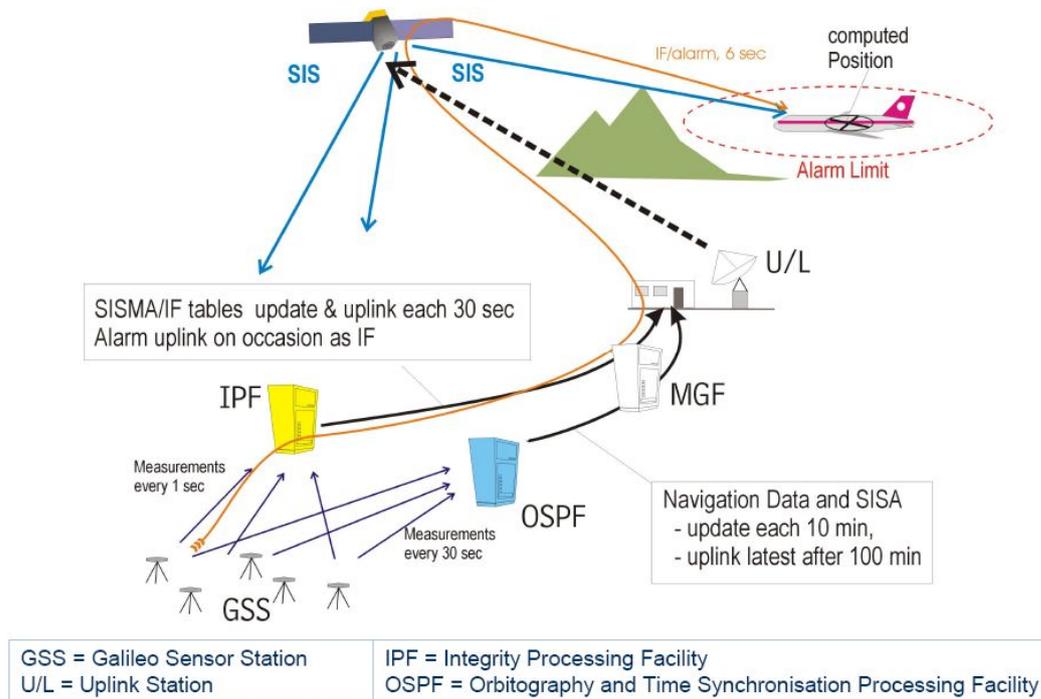
#### 3.1.1.5 *Generazione del messaggio di integrità*

Il messaggio di integrità viene inviato ai satelliti ogni 30 secondi oppure entro un secondo in caso di allarme, al suo interno vi è la tabella di integrità costituita dai valori dell'IF e/o dal SISMA per tutti i satelliti della costellazione, in particolare ad ognuno di essi sono

associati 4 bit, alla combinazione "0000" corrisponde la segnalazione di non utilizzare il SIS in questione in quanto non è rispettata la probabilità di falso allarme, alla combinazione "1111" corrisponde invece la segnalazione che il satellite in questione non è monitorato, infine alle restanti 14 combinazioni sono associati valori del SISMA in intervalli compresi tra 30cm e 520cm.

3.1.1.6 Operatività della componente di sistema

Le 35 GSS distribuite opportunamente nel mondo provvedono a monitorare i SIS provenienti dai satelliti della costellazione Galileo, da esse si ricavano i dati sia per il calcolo del SISA, e quindi del rischio di integrità, che per il calcolo del SISMA e dell'IF.



Per quanto riguarda il calcolo del rischio di integrità da parte del ricevitore d'utente si ha che le GSS inviano ogni 30 secondi le proprie rilevazioni all'OSPF, Orbit Synchronisation Processing Facility, che provvede al calcolo del SISA su intervalli temporali di 10 minuti.

I valori calcolati vengono inviati al centro per la generazione dei messaggi il quale li invia alla costellazione contestualmente al successivo aggiornamento del clock e delle effemeridi per il satellite interessato, esso avviene al più ogni 100 minuti, valore per il quale il sistema riesce comunque a rimanere nelle specifiche del servizio SOL.

Nel caso di un malfunzionamento il flusso del messaggio di navigazione è troppo lento per consentire di rispettare la specifica sul Time To Alarm che, per il servizio SOL, è di 6 secondi, è stato pertanto progettato un flusso di integrità che ugualmente si origina dalle GSS le quali stavolta inviano le misure sul SISE alla IPF ogni secondo, essa provvede a effettuare la stima del SISE e sulla base di essa e del SISA attualmente diffuso dalla costellazione calcola le

tabelle SISMA/IF le quali vengono caricate sui satelliti una volta ogni 30 secondi oppure istantaneamente nel caso di un allarme, per ottemperare ai requisiti imposti dal Time To Alarm soltanto un sottoinsieme dei satelliti della costellazione Galileo provvederà alla diffusione delle tabelle SISMA/IF.

### 3.1.2 *Componente Utente*

Le informazioni che giungono al ricevitore utente sono il SISA, all'interno del messaggio di navigazione dei rispettivi satelliti che ha in visibilità, il SISMA, l'IF e l'IF Threshold all'interno del messaggio di integrità, da queste informazioni il ricevitore può calcolare il rischio d'integrità per la posizione nella quale si trova a partire dagli Alarm Limit caratteristici dell'applicazione per il quale il ricevitore stesso viene utilizzato.

Oltre ai dati precedenti nel calcolo del rischio di integrità il ricevitore tiene anche conto della UERE e della sua geometria riferita ai satelliti in vista.

#### 3.1.2.1 *Situazioni Operative*

Viene analizzato un caso bidimensionale in cui la posizione effettiva dell'utente viene confrontata con le due soglie, quella dell'Alarm Limit, impostata dalle specifiche del sistema per la determinata applicazione, ed il PL, Protection Level che invece è funzione del rischio di integrità e pertanto può essere determinato a partire dal SISA.

Le situazioni che possono verificarsi sono diverse a seconda che il sistema di navigazione satellitare venga dichiarato disponibile dal sistema di integrità oppure indisponibile.

##### 3.1.2.1.1 Sistema dichiarato disponibile

Nel caso il sistema venga dichiarato disponibile si hanno i seguenti 3 casi :



Il caso A è la situazione ottimale per la quale il sistema è disponibile e ricopre adeguatamente l'errore di posizione con entrambe le soglie.

Nel caso B si ha un evento di mancanza di integrità in quanto l'errore di posizione ha superato entrambe le soglie ma il sistema continua ad essere considerato disponibile.

Nel caso C l'errore di posizione è ancora all'interno dell'Alarm Limit ma il Protection Level è stato oltrepassato e nonostante ciò il sistema viene ancora dichiarato come disponibile.

### 3.1.2.1.2 Sistema dichiarato indisponibile

Qualora il sistema venga dichiarato indisponibile si hanno i seguenti casi:



Nel caso D si ha un falso allarme in quanto il sistema viene dichiarato indisponibile ma l'errore di posizione è compreso all'interno di entrambe le soglie.

Nel caso E il Protection Level non tiene conto adeguatamente dell'errore di posizione sebbene per quanto riguarda l'Alarm Limit la segnalazione di indisponibilità del sistema sia corretta.

Nel caso F l'errore di posizione è racchiuso dal Protection Level e viene correttamente segnalata l'indisponibilità del sistema.

### 3.1.2.2 Calcolo del rischio di integrità

Per il calcolo del rischio di integrità vengono considerati i soli satelliti non esclusi da uno stato "Not OK" oppure "Not Monitored" nella tabella SISMA/IF diramata nel messaggio di integrità, tali satelliti possono trovarsi in uno di due stati, lo stato "Fault Free", qualora il loro SIS non sia affetto da errori tali da pregiudicare la stima della posizione d'utente, oppure lo stato "Faulty" nel caso in cui l'errore sul SIS possa invece pregiudicare il posizionamento.

Nel caso "Fault Free" la distribuzione del SISE attuale è una gaussiana a valor medio nullo con deviazione standard pari al SISA attualmente diffuso agli utenti, la sua stima contiene anche un termine di errore dovuto all'algoritmo di calcolo effettuato dalla IPF.

Un satellite nello stato "Faulty" è caratterizzato da una distribuzione gaussiana con valore atteso pari al SISE stimato e deviazione standard pari al SISMA, essendo il SISE stimato incognito all'utente si assume per esso, come stima pessimistica, il valore dell'IF Threshold.

Nel calcolo del rischio di integrità vengono considerati i contributi dovuti a tutti i satelliti "Faulty" e "Fault Free" pesati con le opportune probabilità di stato, inoltre il rischio di integrità complessivo risulta essere la somma del rischio di integrità orizzontale e verticale.

Per il rischio di integrità verticale la distribuzione da considerare per l'errore è una gaussiana a media nulla nel caso di satelliti che si trovano nello stato "Fault Free" mentre è una gaussiana a media non nulla nel caso di satelliti nello stato "Faulty".

Per il rischio di integrità orizzontale invece la distribuzione da considerare per l'errore è una  $\chi^2$  per i satelliti che si trovano nello stato "Fault Free" mentre è una  $\chi^2$  non centrale per i satelliti che si trovano nello stato "Faulty".

Il rischio di integrità complessivo è dato dalla seguente equazione:

$$\begin{aligned}
 P_{HMI} = & \overbrace{\left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{VAL}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{u,v}}\right)\right)}^{\text{term}_1} + \overbrace{\sum_{i_0=1}^n p_{fail} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{VAL - |M_u[3, i_0] \cdot B_{0, i_0}|}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{u,v}'(i_0)}\right)\right)}^{\text{term}_2_0} \\
 & + \overbrace{\sum_{i_0=1}^n p_{fail} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left(\frac{VAL + |M_u[3, i_0] \cdot B_{0, i_0}|}{\sqrt{2} \cdot \sigma_{u,v}'(i_0)}\right)\right)}^{\text{term}_2_1} + \\
 & + \overbrace{\chi_{f=2}^2\left(\frac{HAL^2}{\xi^2}\right)}^{\text{term}_3} + \overbrace{\sum_{i_0=1}^n p_{fail} \cdot \chi_{nc, f=2}^2\left(\left(\frac{HAL^2}{(\xi'(i_0))^2}\right), \left(\frac{(M_u[1, i_0] \cdot B_{0, i_0})^2 + (M_u[2, i_0] \cdot B_{0, i_0})^2}{(\xi'(i_0))^2}\right)\right)}^{\text{term}_4}
 \end{aligned}$$

Dove si ha che :

- Term\_1 è la probabilità che l'errore di posizione verticale ecceda l'Alarm Limit verticale nel caso "fault free" anche se tra le misure di pseudorange dei satelliti non ve ne sia nessuna polarizzata
- Term\_2\_0 + Term\_2\_1 è la probabilità che uno dei satelliti sia nello stato "faulty", ossia presenti una polarizzazione, e l'errore di posizione verticale associato a questa polarizzazione non viene rilevato dalla IPF
- Term\_3 è la probabilità che l'errore di posizione orizzontale ecceda l'Alarm Limit orizzontale nel caso "fault free" anche se tra le misure di pseudorange dei satelliti non ve ne sia nessuna polarizzata
- Term\_4 è la probabilità che uno dei satelliti sia nello stato "faulty", ossia presenti una polarizzazione, e l'errore di posizione orizzontale associato a questa polarizzazione non viene rilevato dalla IPF

Il significato dei termini nella precedente equazione è il seguente:

- ✓ VAL è l'Alarm Limit Verticale
- ✓ HAL è l'Alarm Limit Orizzontale

- ✓  $\sigma_{u,v}$  è la deviazione standard della distribuzione che include l'errore di posizione verticale nel caso di satellite "Fault Free"
- ✓  $\chi_{f=2}^2$  è la distribuzione  $\chi^2$  con due gradi di libertà
- ✓  $\xi^2$  è la varianza della distribuzione che include l'incertezza sulla posizione nel caso "Fault Free" lungo il semiasse maggiore dell'ellisse dell'errore nel piano xy
- ✓ n è il numero di misure valide
- ✓  $i_0$  è l'indice di un satellite con un SIS "faulty"
- ✓ M è la matrice per il calcolo della posizione dell'utente
- ✓  $P_{fail}$  è la probabilità che in ogni 150 secondi vi sia un solo SIS fuori dalle specifiche e venga comunque ad esso assegnato IF pari ad "OK"
- ✓  $\sigma_{u,v}(i_0)$  è la deviazione standard della distribuzione che include l'errore di posizione verticale quando il satellite  $i_0$  è "faulty"
- ✓  $B_{0,i_0}$  è l'errore di polarizzazione del SIS del satellite  $i_0$
- ✓  $\chi_{nc,f=2}^2(*,p)$  è la distribuzione  $\chi^2$  non centrale con due gradi di libertà e parametro p
- ✓  $(\xi'(i_0))^2$  è la varianza della distribuzione che include l'incertezza sulla posizione, per il segnale  $i_0$  lungo il semiasse maggiore dell'ellisse dell'errore nel piano xy quando il satellite  $i_0$  è nello stato "Faulty"

### 3.1.2.3 Algoritmo per il calcolo dell'integrità da parte dell'utente

La disponibilità del servizio SOL per l'utente è assicurata qualora siano verificate le seguenti condizioni:

- Il ricevitore è in grado di ottenere una soluzione dall'algoritmo di navigazione
- Il ricevitore è in grado di predire le prestazioni in termini di integrità e continuità
- La probabilità di HMI, Hazardous Misleading Information per il prossimo periodo critico non eccede il valore specificato
- La probabilità di discontinuità di servizio per il prossimo periodo critico non eccede il valore specificato
- Il messaggio di integrità è ricevuto da almeno due satelliti distinti

In particolare per quel che riguarda integrità e continuità l'algoritmo di integrità deve essere in grado di generare i seguenti messaggi da presentare all'utente:

- "Normal Operation" qualora tutte le condizioni precedenti siano soddisfatte

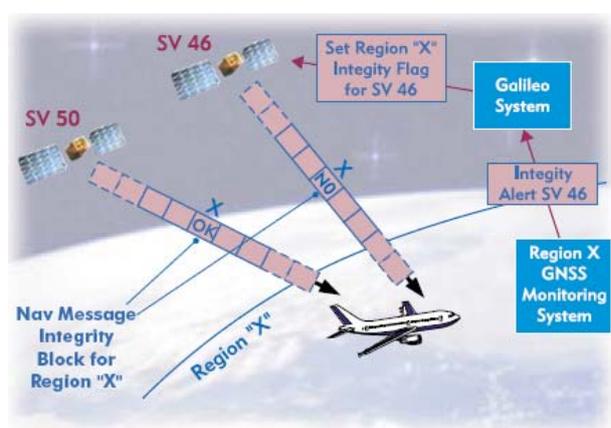
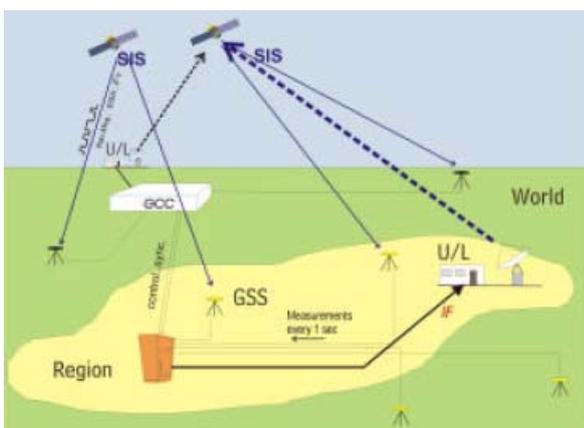
- “Don’t Use” qualora il rischio di integrità ecceda il valore specificato oppure il ricevitore non sia in grado di ricevere messaggi di navigazione
- “Don’t Initiate” nel caso il rischio di integrità sia inferiore al valore specificato ma il rischio di discontinuità sia invece superiore al valore consentito, si ha quindi che una nuova operazione critica non deve essere iniziata mentre se ce n’è una in corso può essere ultimata in sicurezza.

Nel determinare la disponibilità del servizio SOL in un dato istante il ricevitore si avvale quindi del rischio di integrità che deve essere inferiore al valore prefissato e del numero di satelliti critici che deve essere anche esso inferiore ad un valore prefissato, intendendo per satellite critico un satellite che se non considerato nel calcolo del rischio di integrità determina il superamento della soglia prefissata.

### 3.2 Integrità Regionale in Galileo

L’integrità calcolata a livello globale ha delle prestazioni che sono descritte dal servizio SOL, qualora esse non soddisfino determinati gruppi di utenti che intendano tuttavia avvalersi dei segnali generati della costellazione Galileo è possibile realizzare dei sistemi di integrità regionali interconnessi che utilizzano soltanto alcune funzionalità di Galileo.

Nella fattispecie le organizzazioni di cui sopra devono realizzare all’interno della propria regione una rete di GSS opportunamente distribuite e collegate ad un IPF regionale che replicare a livello regionale le elaborazioni svolte dall’IPF di Galileo a livello globale, i messaggi di integrità generati vengono poi caricati sui satelliti di Galileo mediante una stazione di uplink che può essere anche essa regionale.



Si ottengono in tal modo delle prestazioni superiori in quanto le GSS possono essere distribuite in maniera più capillare nella regione d’interesse come pure si possono ridurre i tempi di elaborazione scendendo ad un Time To Alarm inferiore ai 6 secondi.

Il numero massimo di regioni che può essere gestito da Galileo è 5, dimensionato immaginando una regione per ogni continente, esse potranno calcolare i messaggi di integrità

a livello regionale ed utilizzare i satelliti di Galileo per diffonderli all'interno della regione stessa, il calcolo del SISA continua invece ad essere assegnato alla Global Component di Galileo in quanto si tratta di una grandezza valutata a livello globale.

## 4. Conclusioni

Il Sistema di navigazione satellitare Galileo è un sistema molto complesso che si propone di risolvere diverse problematiche irrisolte dal suo predecessore, tra queste sicuramente la gestione dell'integrità che nel GPS non è affatto implementata se non a livello utente tramite la tecnica RAIM o la tecnica AAIM.

L'implementazione dell'integrità apre le porte alla certificazione del sistema di navigazione satellitare e ne consente l'utilizzo per applicazioni sensibili quali quelle inerenti al trasporto delle persone e delle pericolose.

In questo contesto riveste importanza uno studio delle caratteristiche principali dell'implementazione della integrità all'interno del sistema Galileo, essa viene definita sia a livello globale, con il servizio SOL aperto a tutti gratuitamente, che a livello regionale sotto forma di apertura del sistema verso implementazioni esterne che vogliono comunque utilizzare alcune funzionalità di Galileo quali i SIS, il calcolo del SISA o la possibilità di coprire adeguatamente anche zone polari e semipolari dove invece i satelliti geostazionari di eventuali sistemi SBAS arrivano con angoli di elevazione troppo bassi.

Dopo una descrizione generale di cosa ci si attende da un sistema di integrità e delle diverse modalità con le quali esso può essere realizzato si è passati a descrivere il sistema Galileo ed i servizi da esso offerti, tra di essi particolare attenzione è stata rivolta al servizio SOL il quale è orientato ad utenti che necessitano oltre del posizionamento anche di informazioni di integrità al fine di garantire la sicurezza, sono state quindi descritte sia la componente di sistema che la componente utente coinvolte nella valutazione dell'integrità.

## Lista delle abbreviazioni

<b>AAIM</b>	Airborne Autonomous Integrity Monitoring
<b>ABAS</b>	Aircraft Based Augmentation System
<b>AL</b>	Alarm Limit
<b>AltBOC</b>	Alternate BOC
<b>BOC</b>	Binary Offset Coding
<b>CASM</b>	Coherent Adaptive Subcarrier Modulation
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CS</b>	Commercial Service
<b>DGPS</b>	Differential Global Positioning System
<b>DOC</b>	Depth Of Coverage
<b>DOP</b>	Dilution Of Precision
<b>ECAC</b>	European Civil Aviation Conference
<b>EGNOS</b>	European Geostationary Navigation Overlay Service
<b>EIDS</b>	European Integrity Determination System
<b>eSISE</b>	estimated SISE
<b>F/NAV</b>	Free NAVigation Msg
<b>FDE</b>	Fault Detection and Exclusion
<b>FDI</b>	Fault Detection and Isolation
<b>G/NAV</b>	Governmental NAVigation Msg
<b>GBAS</b>	Ground Based Augmentation System
<b>GCC</b>	Galileo Control Center
<b>GCS</b>	Ground Control Segment
<b>GEO</b>	Geostationary Earth Orbit
<b>GIC</b>	Galileo Integrity Channel
<b>GIDS</b>	Global Integrity Determination System
<b>GIOVE-A</b>	Galileo In-Orbit Validation Element A
<b>GLONASS</b>	Global Orbiting Navigation Satellite System
<b>GMS</b>	Ground Mission Segment
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GRAS</b>	Ground Based Regional Augmentation System
<b>GSS</b>	Galileo Sensor Station
<b>HAL</b>	Horizontal Alarm Limit
<b>HMI</b>	Hazardous Misleading Information
<b>I/NAV</b>	Integrity NAVigation Msg
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization
<b>IF</b>	Integrity Flag
<b>IOV</b>	In Orbit Validation
<b>IPF</b>	Integrity Processing function
<b>LAAS</b>	Local Area Augmentation System
<b>LBS</b>	Location Based Services
<b>LEOP</b>	Launch and Early Orbit Phase
<b>MDB</b>	Minimum Detectable Bias
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit
<b>MI</b>	Misleading Information
<b>NEIDS</b>	Non-European Integrity Determination System

---

<b>NSE</b>	Navigation System Error
<b>OD&amp;TS</b>	Orbit Determination and Time Synchronization
<b>OS</b>	Open Service
<b>OSPF</b>	Orbitography and Synchronisation Processing Facility
<b>PRN</b>	Pseudo Random Noise
<b>PRS</b>	Public Regulated Service
<b>RAIM</b>	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
<b>RHCP</b>	Right Hand Circular Polarization
<b>RNP</b>	Required Navigation Performance
<b>RTK</b>	Real Time Kinematics
<b>SAR</b>	Search And Rescue
<b>SBAS</b>	Satellite Based Augmentation System
<b>SIS</b>	Signal in Space
<b>SISA</b>	Signal in Space Accuracy
<b>SISE</b>	Signal In Space Error
<b>SISMA</b>	Signal In Space Monitoring Accuracy
<b>SOL</b>	Safety Of Life
<b>SSgt</b>	Space Segmet
<b>SVS</b>	Service Volume Simulation
<b>TCAR</b>	Three Carrier Ambiguity Resolution
<b>TT&amp;C</b>	Telemetry, Tracking and Command
<b>TTA</b>	Time To Alarm
<b>UERE</b>	User Equivalent Range Error
<b>ULS</b>	Up-Link Station
<b>UWB</b>	Ultra Wide Band
<b>VAL</b>	Vertical Alarm Limit
<b>VDB</b>	VHF Data Broadcast
<b>VHF</b>	Very High Frequency
<b>VSAT</b>	Very Small Aperture Terminal
<b>WAAS</b>	Wide Area Augmentation System
<b>WUL</b>	Worst User Location

---

## Bibliografia

- [1] *“The Galileo Integrity Concept and Performance”* Velt Oehler, Francesco Luongo, Hans L. Trautenberg, Juan Pablo Boyero, Jan Krueger, Tanya Rang, GNSS 2005
- [2] *“Assessment of the Galileo global and regional integrity performance”*, Dr. Helmut Blomenhofer, Walter Ehret, GNSS 2003
- [3] *“Investigation of the GNSS/Galileo Integrity Performance for Safety of Life Applications”*, Dr. Helmut Blomenhofer, Walter Ehret, Eduarda Blomenhofer, GNSS 2005
- [4] *“Galileo Mission High Level Definition”*, Issue 3, ESA, 23 Settembre 2002
- [5] *“Problemi di integrità nel sistema di navigazione satellitare Galileo”*, F.Lo Zito, 2000.
- [6] *“Valutazione dei sistemi di navigazione satellitare in termini di accuratezza, disponibilità, integrità”*, M.Sanna, 1999.
- [7] *“Applicazioni della Navigazione Satellitare: Prestazioni “augmentation” in applicazioni aeronautiche”*, C.Mariti, 2001.