

CAPITOLO 7.1

SETUP E RISULTATI SPERIMENTALI DI UNA STAZIONE EGNOS (STATIC MODE) NELL'ITALIA MERIDIONALE

Armando Pacifico, Mario Vultaggio

Department of Applied Sciences - Navigation Section, Università degli Studi di Napoli Parthenope
via F. Acton n°38 - 80133 Napoli - Italy
e-mail: armando.pacifico@uniparthenope.it, mario.vultaggio@uniparthenope.it

SOMMARIO

I sistemi satellitari GNSS (GPS+GLONASS), pur assicurando una copertura globale, una buona precisione ed una semplicità d'uso, per talune applicazioni nel settore della Navigazione Aerea e Marittima hanno necessità di sistemi di potenziamento (noti come Augmentation Systems). In questi anni sono stati notevoli gli sforzi, a livello Europeo, orientati allo sviluppo di tali sistemi di potenziamento basati su satelliti SBAS (Satellite Based Augmentation System) e su infrastrutture terrestri GBAS (Ground Based Augmentation System).

Questi due filoni di studio e ricerca hanno permesso la realizzazione di prototipi per supportare la Navigazione Aerea nelle operazioni di Cat. I e per fornire opportuni servizi di posizionamento.

I due sistemi attualmente attivi in via sperimentale operanti nell'aeroporto di Linate per il GBAS (attualmente in fase di trasferimento presso l'aeroporto di Catania), e sulla regione ECAC per il sistema SBAS.

Scopo di questa ricerca finanziata COFIN04 è stato quello di verificare le potenzialità del sistema SBAS europeo denominato EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service).

I risultati possono considerarsi omogenei in quanto ottenuti con programmi standard di riferimento ed utilizzati nei principali centri di ricerca europei.

L'attività scientifica è stata presentata nelle due conferenze internazionali ENC2006 (Manchester,UK) e all' IAIN2006 (Jeju,Korea).

1 INTRODUZIONE

Relativamente alla storia della Navigazione, sono recenti le applicazioni satellitari in questo campo, incentivate dalla volontà di superare i limiti dei "vecchi" sistemi di radionavigazione (Loran C, Omega, etc.), limitati nella precisione e/o nella copertura.

Il primo tentativo in questo senso fu il sistema NNSS – TRANSIT divenuto operativo nel 1964 ma riservato esclusivamente per scopi militari fino al 1967, anno in cui fu reso disponibile anche agli utenti civili fino al 1996 termine dell'operatività del sistema.

Il successo del TRANSIT stimolò lo sviluppo di un sistema di navigazione satellitare più avanzato, a copertura globale e tale da permettere la determinazione della posizione e della velocità con continuità ed elevata precisione.

Nacque così, nel 1973 il progetto NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System), sistema che si basa su misure di distanza tra il ricevitore e un certo numero di satelliti le cui posizioni sono note con grande precisione.

Nato e sviluppato per soddisfare le esigenze delle forze armate USA il GPS divenne operativo nel 1993 e fu messo a disposizione degli utenti civili con volontarie limitazioni che comunque non ne compromisero le applicazioni nelle fasi non critiche della navigazione.

Parallelamente agli USA l'Unione Sovietica sviluppò un proprio sistema di navigazione satellitare a copertura globale denominato GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System), divenuto pie-

namente operativo nel 1996 si basa su principi di funzionamento simili al GPS, con piccole differenze che riguardano soprattutto la struttura del segnale e l'ellissoide di riferimento.

Ad oggi il sistema satellitare GPS (Global Positioning System), è correntemente utilizzato in svariati settori della società moderna: in navigazione, sorveglianza, edilizia, primo soccorso, etc. Non rappresentando più una novità.

L'introduzione di ricevitori GPS relativamente economici come equipaggiamento delle autovetture di ultima generazione e lo sviluppo di software cartografico rappresentano il chiaro esempio di come tali sistemi giochino un ruolo di primo piano nell'attuale evoluzione tecnologica.

Uno dei settori più promettenti nell'evoluzione del posizionamento satellitare è sicuramente quello dell'aviazione civile, la quale già da un decennio usa il GPS per il posizionamento dei velivoli durante la fase di crociera.

La precisione garantita dal GPS è notevole, consentendo di conoscere la propria posizione con un errore dell'ordine di pochi metri, che tuttavia non ne permette la certificazione per utilizzi più esigenti come le delicate fasi di decollo e atterraggio di un velivolo.

Attualmente a bordo degli aeromobili commerciali sono installati vari sistemi avionici per affrontare la navigazione nelle differenti fasi di volo. Gli INS (Inertial Navigation Systems) e il GPS sono usati per le fasi di crociera oceanica o in regioni continentali remote. Le radioassistenze NDB/VOR/DME per le operazioni su continente dalla crociera fino all'avvicinamento "non-preciso". Per gli avvicinamenti di precisione molti aeroporti sono dotati di ILS con tre differenti livelli di "minima" CAT I-III. Questo ambiente multi-sistema comporta vari svantaggi, tra i quali la proliferazione dell'avionica di bordo e/o delle installazioni a terra, inoltre è una delle ragioni che pongono limiti all'Air Traffic Flow in quanto le radioassistenze obbligano a seguire rotte predefinite. La necessità di realizzare in navigazione aerea rotte sempre più flessibili rispetto a quelle attuali ha imposto all'ICAO l'elaborazione di un nuovo concetto, noto con la sigla RNP (Required Navigation Performance), in base alla quale viene incoraggiata l'adozione di sistemi di navigazione a copertura globale in grado di fornire prestazioni tali da rispondere alle esigenze dell'aviazione civile per le varie fasi di volo.

2 EGNOS (EUROPEAN GEOSTATIONARY NAVIGATION OVERLAY SERVICE)

Da vari anni ormai in molteplici applicazioni viene utilizzato il GPS (Global Position System) come sistema di posizionamento satellitare, il quale già da solo offre una buona accuratezza, anche inferiore ai 10 m. Tuttavia per applicazioni più esigenti (aviazione civile, posizionamento nei porti e in acque interne, sicurezza, soccorso) le prestazioni del GPS non soddisfano i requisiti richiesti. È risaputo infatti che la qualità di un sistema di posizionamento satellitare non può essere basata sulla semplice accuratezza, ma deve essere la comunione di più requisiti, in genere si considerano i 4 parametri di:

- Accuratezza, definita come la differenza tra la posizione calcolata e la posizione reale.
- Integrità, intesa come la capacità del sistema di individuare e segnalare tempestivamente disfunzioni che possono compromettere le performance attese.
- Disponibilità, definita come la percentuale di tempo per la quale il sistema è capace di funzionare fornendo le performance richieste per una data operazione.
- Continuità, intesa come la capacità del sistema di permettere di portare a termine l'operazione intrapresa senza discontinuità di servizio che potrebbero compromettere la sicurezza.

Il solo GPS potrebbe anche soddisfare il primo dei suddetti requisiti, ma senza garanzie sugli altri tre; per ragioni di progettazione e degli organismi che gestiscono il sistema. Per cui in attesa del sistema di posizionamento satellitare europeo (Galileo), ESA (European Space Agency) e EUROCONTROL in accordo con la Commissione Europea si sono impegnate nell'implementazione di un sistema di Augmentation che fornisce al GPS quelle caratteristiche essenziali alle applicazioni civili.

EGNOS sfruttando la costellazione GPS già esistente, utilizza satelliti geostazionari per trasmettere informazioni atte a fornire al servizio GPS un miglioramento dell'accuratezza e dei requisiti di integrità, disponibilità e continuità. Il sistema è costituito da un'architettura modulare che abbraccia 4 principali segmenti: Space Segment, Ground Segment, Support Segment e User Segment.

- **Space segment:** Costituito oltre che dalla costellazione GPS da tre satelliti che trasmettono da orbite geostazionarie (fig. 1), di cui due satelliti INMARSAT: AOR-E (Atlantic Ocean Region Est - PRN 120) e IOR-W (Indian Ocean Region - PRN 126) rispettivamente stazionati su orbite a 15.5° W e 25° E ed un terzo ARTEMIS (PRN 124) sviluppato dall'ESA e messo in orbita nel 2002, stazionante su di un'orbita a 15° E. Fino al 27/05/2005 era operante anche l'IOR (PRN 131) posto a 64° E cui era affidata la trasmissione del segnale ESTB (EGNOS System Test Bed) segnale usato dagli sviluppatori del sistema. Attualmente viene usato il PRN 120 per la trasmissione del segnale EGNOS standard preoperativo, il PRN 126 usato come satellite secondario trasmettente lo stesso segnale del PRN120S, il PRN 124 usato da ESA e industrie per attività di test e implementazione di azioni rimaste aperte, non viene più usato il PRN 131. I predetti satelliti presentano il vantaggio che la loro geometria consente una buona disponibilità dei loro segnali rendendo minimo il rischio di segnale assente sulla regione europea.

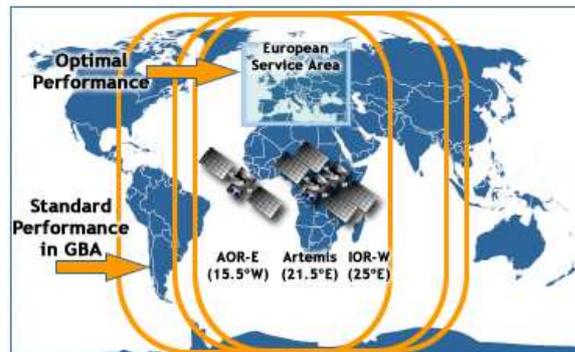


Figura 1. Space segment GEO.

- **Ground segment:** consiste in 34 Stazioni dette RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), dislocate su tutto il territorio europeo (fig. 2), 4 MCC (Mission Control Center), localizzati in Torrejon (E), Gatwick (UK), Langen (D) e Ciampino (I); a rotazione, una operativa e tre di riserva. Queste provvedono a generare le correzioni WAD (Wide Area Differential Corrections), i messaggi di integrità, le correzioni ionosferiche e le effemeridi per ogni satellite. L'EWAN (EGNOS Wide Area Network) è la rete cui è affidato il compito di collegare gli elementi del ground segment. Le NLES (Navigation Land Earth Station) provvedono a caricare i messaggi di integrità e le correzioni ai satelliti GEO.

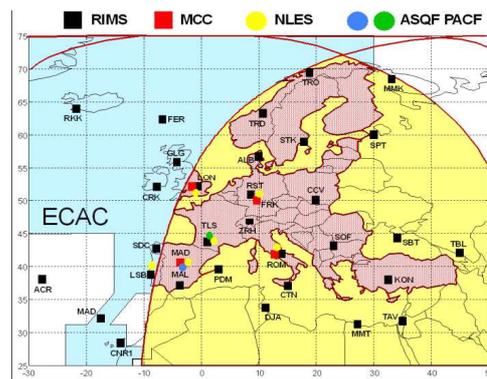


Figura 2. Ground e Support segment.

- **Support segment:** installazioni (fig. 2) che forniscono un supporto strategico indirizzato a tutta l'infrastruttura operativa e all'utenza EGNOS. Include i moduli DVP (Development Verification Platform), ASQF (Application Specific Qualification Facility) e PACF (Performance Assessment and System Checkout Facility), localizzate rispettivamente a Torrejon (Spagna) e a Toulouse (Francia).

- **User segment:** costituito principalmente dagli utenti del trasporto aeronautico, marittimo e di terra i cui elementi costitutivi sono ricevitori EGNOS standard, utilizzati per la ricezione del SIS (Signal in Space), ed equipaggiamenti specifici, utilizzati per l'adattamento dei dati forniti dal servizio alle diverse applicazioni. I satelliti Geo, usando la stessa frequenza L1, trasmettono segnali molto simili a quelli GPS, offrendo notevoli vantaggi per l'utenza in termini di costo delle apparecchiature.



Figura 3. User segment.

3 HARDWARE E MESSA IN OPERA DELLA STAZIONE

Ai fini delle attività di raccolta e analisi dei dati, EUROCONTROL ha previsto un ambiente standard di misura. A livello europeo esiste una rete di stazioni standardizzate chiamata EDCN (EGNOS Data Collection Network); stazioni sparse in tutta la regione ECAC (European Civil Aviation Conference), in tale contesto ho cercato di uniformare la stazione in oggetto a tali standard, sia dal punto di vista hardware che software. La componente hardware (fig. 4 e 5) è costituita da:

- Ricevitore: Novatel (OEM4 family) dual freq. Propak G2 plus
- Antenna: Novatel GPS-532-C dual freq. L1/L2
- PC Notebook HP Pentium 4

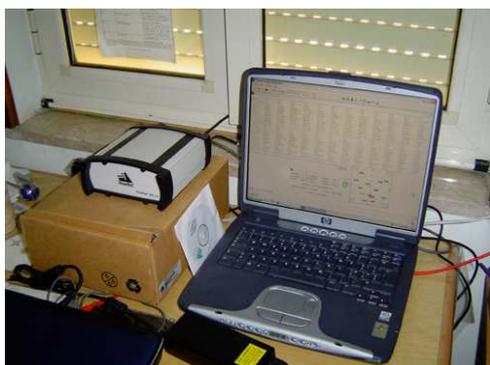


Figura 4. Hardware di raccolta dati.



Figura 5. Antenna in stazione.

Il PC di raccolta dati è connesso ad un router, nodo di una rete LAN; per cui la stazione è totalmente controllabile via WEB da remoto.

Si è provveduto inoltre a installare l'antenna su di un piano metallico (alluminio) allo scopo di mitigare il multipath dei segnali provenienti dai satelliti, fenomeno eventualmente causato dalla riflessione su strutture circostanti. Dopo una prima fase di prove per stabilire la migliore posizione per l'antenna, si è ritenuto opportuno stazionarla al di sopra di un traliccio usato per la ricezione televisiva. In tal modo si è soddisfatta la duplice esigenza di evitare accoppiamenti dell'antenna GPS con quella per ricezione televisiva, e di innalzare l'antenna al di sopra di strutture circostanti (fig. 5) per mitigare il multipath entrante dal lobo principale dell'antenna.

Il sito si presenta con una buona visuale, intesa come porzione di cielo libera da ostacoli, condizione necessaria per un buon tracking dei satelliti.

Le attuali coordinate dell'antenna rispetto all'ellissoide di riferimento WGS84, ottenute mediando 24 ore di dati sono:

- Lat: 41.11780220° N
- Lon: 13.89404250° E
- Height: 69.7197 m

4 SOFTWARE E CONFIGURAZIONE DEL RICEVITORE

Il ricevitore è stato fornito con un CD contenente: i driver per l'interfacciamento con il PC di raccolta dati e la tool GPS Solution per la configurazione del ricevitore e controllo dello stesso. Il GPS Solution, prodotto dalla Novatel svolge anche la funzione di interfaccia utente, presentando tutte quelle informazioni che ci si attende da un ricevitore professionale (coordinate della posizione, parametri dei satelliti tracciati, skyplot dei satelliti, componente doppler, etc.), il software permette anche la registrazione (logging) dei dati grezzi in uscita dal ricevitore.

Tuttavia il ricevitore e il relativo software sono stati progettati per operazioni e studi rivolti soprattutto al sistema di Augmentation americano (WAAS), per cui il formato dei dati registrati mediante il GPS Solution non risulta adatto alle nostre esigenze, infatti tale formato non è accettato in ingresso dal software (Pegasus Tool - Eurocontrol) da noi usato per la fase di post-processing.

Attraverso scambi di corrispondenza con i membri del gruppo EDCN e con l'helpdesk della Novatel si è risolto questo problema mediante un programma per la registrazione dati prodotto dalla Novatel per conto della Eurocontrol, tale software chiamato "slog" permette la registrazione dei dati risolvendo il problema di compatibilità dei dati grezzi col software di post-processamento Pegasus.

Si è potuta avviare quindi la fase di registrazione dei dati grezzi dalla settimana GNSS 1367, registrazione consistente nell'accumulare dati di tutti i satelliti GPS in vista all'antenna e di 2 satelliti geostazionari a scelta, dalle ultime disposizioni in ambito europeo si è ritenuto opportuno tracciare i 2 satelliti GEO: PRN124 (Artemis) e PRN126 (IOR-W); il primo attualmente è usato come satellite principale per la trasmissione del segnale EGNOS, il secondo per la trasmissione grossomodo dello stesso segnale ma sotto la gestione delle industrie per le attività di test per la fase pre-operativa.

5 POST-PROCESSING

Il processo di certificazione dei sistemi di navigazione GNSS esige una adeguata verifica della accuratezza, integrità, disponibilità e continuità del servizio fornito. Le simulazioni e le analisi teoriche hanno dato risultati favorevoli ma molti fattori possono essere valutati solamente attraverso l'analisi pratica, così Eurocontrol nell'ambito del programma GNSS nel corso degli anni ha sviluppato vari software per l'elaborazione dei dati SBAS, in tale ambito il software Pegasus gioca un ruolo chiave. Nato come un semplice prototipo, oggi Pegasus in ambito ESA è diventata la tool ufficiale per l'elaborazione in post-processing dei dati raccolti dai ricevitori SBAS e la valutazione delle loro prestazioni, arrivando alla versione 4.1.1 conforme alle specifiche del MOPS -Doc. 229C (RTCA "Minimum Operational Performance Standards for GPS/WAAS Airborne Equipment").

Pegasus permette l'elaborazione di dati SBAS, dando la possibilità di effettuare sia l'analisi grafica che statistica dei risultati. La tool è costituita da vari componenti software detti moduli, ogni modulo è progettato per uno specifico compito. Dal frame o schermata iniziale (fig. 6) è possibile gestire, analizzare e combinare facilmente i dati provenienti da differenti file di input o processarli con differenti moduli consentendo una facile organizzazione della sessione di lavoro (Job). A seconda del tipo di elaborazione che si vuole effettuare si possono richiamare singolarmente i vari moduli disponibili, oppure selezionare una loro sequenza mediante la voce "Scenario" con la possibilità di personalizzare il processamento dati. Selezionato lo scenario a seconda delle proprie esigenze, si passa alla voce "Parameters" nella quale si vanno a impostare i parametri dei vari moduli che costituiscono lo scenario.

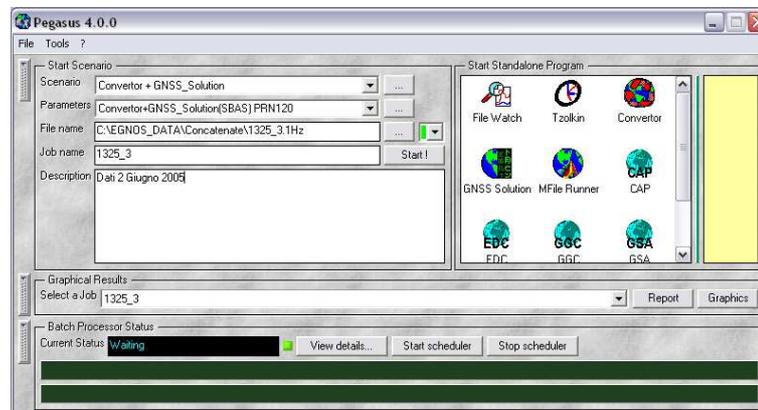


Figura 6. Main-frame di Pegasus.

I moduli sono dei componenti di calcolo del Pegasus che contengono gli algoritmi di elaborazione dei dati e visualizzazione dei risultati, i più importanti che sono stati utilizzati in questo lavoro sono:

- **Convertor:** Essendo i dati in uscita dal ricevitore in formato binario, questo modulo accetta in ingresso i dati binari registrati dal ricevitore e li converte in formato ASCII, formato con la quale Pegasus accetta dati in ingresso per la successiva elaborazione. Il convertor accetta in ingresso i dati registrati da vari tipi di ricevitori tra i quali il nostro Novatel OEM4.
- **GNSS Solution:** Questo modulo è il cuore di Pegasus in quanto, dai dati in uscita dal convertor (effemeridi, pseudorange e messaggi SBAS) calcola la soluzione di posizione e i livelli di protezione (fig. 7) in accordo alle specifiche del MOPS-Doc229C.

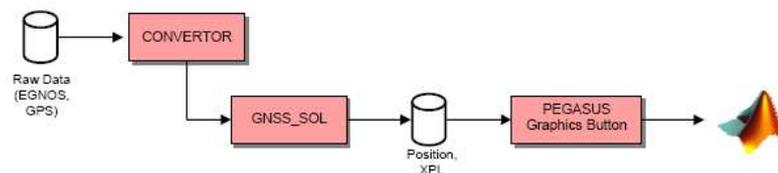


Figura 7. Schema di processamento, moduli Pegasus.

Il modulo è totalmente configurabile (fig. 8) consentendo di scegliere il modo GNSS da utilizzare (GPS Stand-alone, SBAS, GBAS), il satellite GEO da utilizzare, la costante di smoothing, etc. È inoltre richiesto l'inserimento delle coordinate della reference position per il calcolo dell'accuratezza.

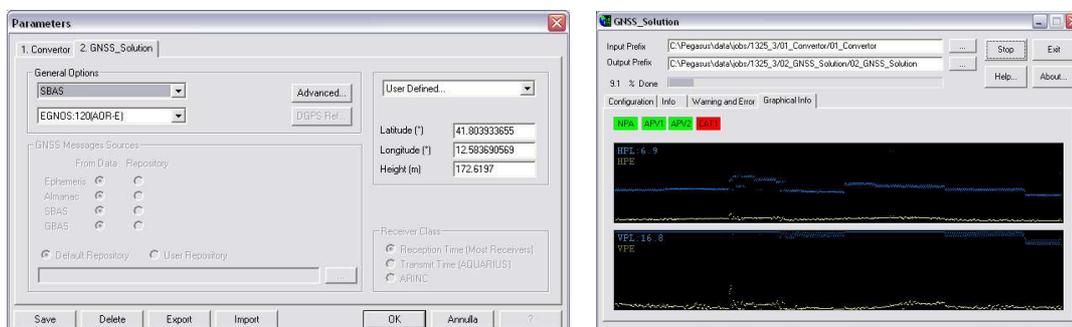


Figura 8. GnsS Solution, configurazione e processamento.

L'uscita principale del GNSS solution è il file (XXX_sol.pos) contenente i risultati calcolati.

• **Mfile Runner:** Questo modulo permette l'analisi dei dati mediante dei grafici generati a partire dai risultati del GNSS Solution. L'interfaccia è divisa in più sezioni a seconda dell'analisi che si vuole effettuare e quindi dei grafici che si vogliono produrre. Per i nostri scopi si sono usate soprattutto le funzioni *Analyze SBAS* e *Analyze Position* che producono grafici (fig. 9) che consentono l'analisi dei messaggi SBAS, dell'accuratezza della posizione, dei livelli di protezione e di molti altri parametri.

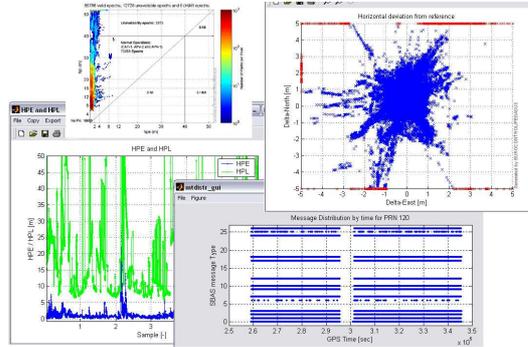


Figura 9. Esempi di grafici generati da Mfile Runner.

6 ANALISI DATI

Una volta conclusa l'elaborazione del set di dati mediante Pegasus (fig. 10), è possibile creare il cosiddetto Firstglance report (tabella 1).

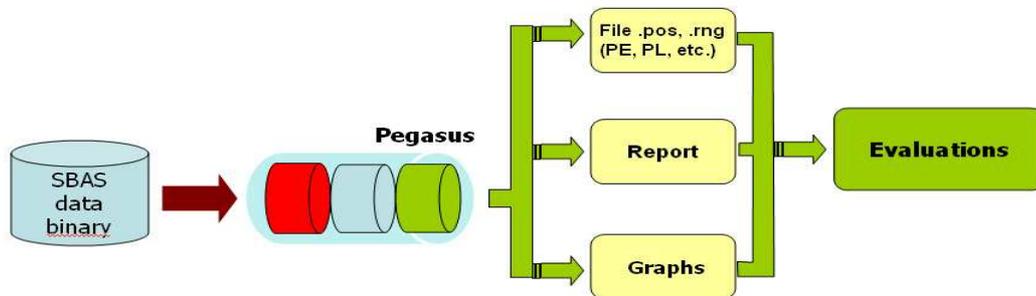


Figura 10. Schema di processamento e analisi dati.

Scopo principale dei report è fornire una panoramica dei parametri numerici più importanti per valutare le prestazioni del sistema su un breve periodo di tempo, tipicamente 24 ore. Per generare i reports, in input Pegasus considera i risultati dell'elaborazione in uscita dal modulo GNSS Solution, generando le seguenti informazioni sulle prestazioni:

- Statistiche sull'accuratezza
- Percentuale di disponibilità per le differenti operazioni
- Numero di eventi di discontinuità all'interno del periodo analizzato
- Numero di eventi di integrità all'interno del periodo analizzato

Il confronto dei valori riscontrati nei report con le soglie previste dal MOPS – DOC229C danno lo spunto per l'investigazione di eventuali valori anomali, nella tabella 2 sono riportate le principali condizioni che giustificano lo studio più approfondito dei risultati e la comprensione delle cause.

Site	[NPU2] Università degli Studi di Napoli Parthenope							Date	06/04/2006		
Location	Lat:	41.118	Lon:	13.894	Alt:	69.72					
Receiver	Novatel OEM4		Software		Pegasus 4.1.00021		PRN	124			
Data set	Duration	Start	Stop	Expected	Total	SBAS Msg	Valid	Valid(%)			
1 Hz	24h00	00:00	23:59	86400	86400	86400	86040	99.58%			
Results per operation											
	all valid samples			APV-I		APV-II		CAT-I			
	HAL/VAL			40 / 50		40 / 20		40 / 12			
Accuracy (m)											
		Meas.	Scaled	Req.	Meas.	Scaled	Req.	Meas.	Scaled	Req.	
HNSE (95%)	1.23	1.22	5.29	16	1.17	5.27	16	0.98	5.34	16	
VNSE (95%)	2.11	1.95	6.24	20	1.76	2.52	8	1.53	1.76	4	
Availability (%)											
samples	86006			84205		78014		27394			
Minimum Required	99%			99%		99%		na			
Availability	97.867%			90.672%		31.839%					
Continuity											
Events	21			348		1358					
Integrity											
	MI	HMI APV-I		HMI APV-II		HMI CAT-I					
Total	0	0		0		0					
Horizontal	0	0		0		0					
Vertical	0	0		0		0					
Protection level statistics											
	99%	95%	50%	mean	std deviation						
HPL	28.49	16.60	8.38	9.69	5.59						
VPL	65.96	28.95	13.63	15.67	10.10						
Position error statistics											
	99%	95%	50%	mean	std deviation						
HPE	1.88	1.23	0.50	0.57	0.38						
VPE	4.25	2.11	0.55	-0.02	1.11						

Tabella 1. Firstglance Report.

	Parametro	Soglia		
Accuratezza	APV-I scaled HPE(95%)	>	220	m
	APV-I scaled VPE(95%)	>	20	m
	APV-II scaled HPE(95%)	>	16	m
	APV-II scaled VPE(95%)	>	8	m
	CAT-I scaled HPE(95%)	>	16	m
	CAT-I scaled VPE(95%)	>	4	-
Disponibilità	Service Availability	<	99%	-
Continuità	Discontinuity events	>	0	-
Integrità	Integrity events (MI)	>	0	-

Tabella 2. Soglie oltre il quale è opportuna l'investigazione.

Vediamo ora alcuni grafici che mostrano, per la settimana GNSS 1369 (02-08 Aprile 2006), l'andamento dei principali parametri rappresentativi delle prestazioni del segnale EGNOS rilevate dalla stazione in oggetto. I risultati sono stati ottenuti processando il segnale EGNOS trasmesso dal PRN124 (Artemis), satellite che nel periodo considerato viene utilizzato per la trasmissione del cosiddetto IOP (Initial Operation Phase) signal.

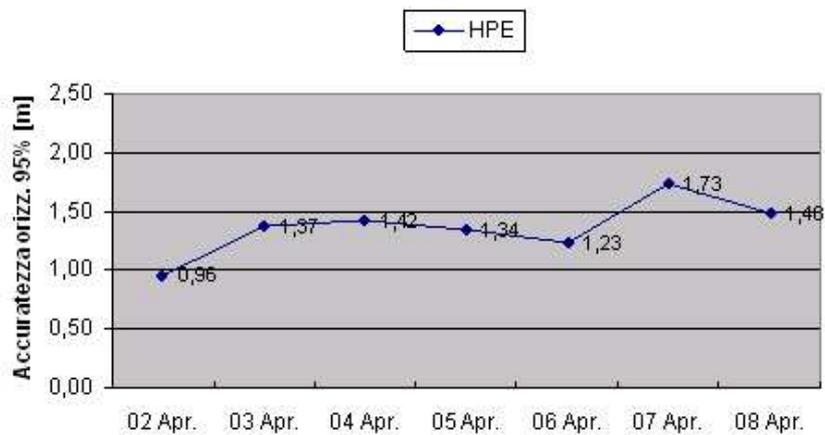


Figura 11. Andamento giornaliero dell'accuratezza orizzontale (HPE).

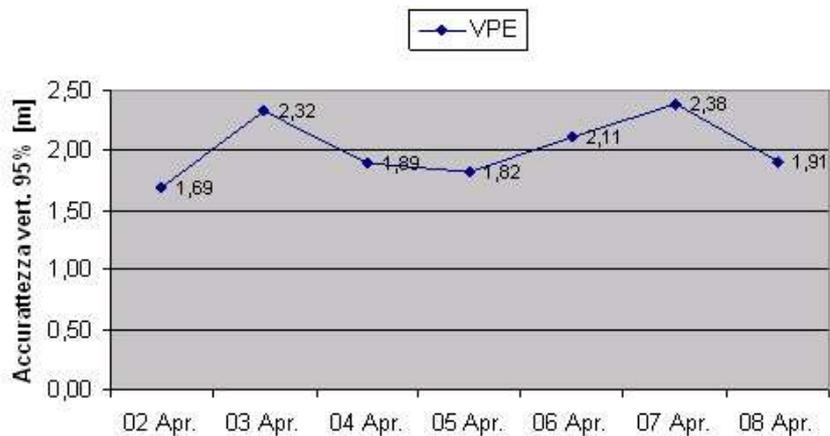


Figura 12. Andamento giornaliero dell'accuratezza verticale (VPE) [Modulo].

I grafici in fig. 11 e 12 rappresentano l'accuratezza rispetto alla reference position riscontrata nella stazione in esame. Per l'HPE ogni valore rappresenta il raggio della circonferenza all'interno della quale è concentrato il 95% dei campioni calcolati nel singolo giorno (per il VPE la "semilunghezza" del segmento verticale passante per la reference position). Si evince che l'accuratezza è soddisfacente ed entro i requisiti perfino delle operazioni CAT-1 con un margine confortante.

Per quanto riguarda i livelli di protezione, possono essere definiti come una stima dell'accuratezza garantita dal sistema, calcolata attraverso algoritmi che utilizzano i soli messaggi SBAS. I valori di HPL (Horizontal Protection Level) e VPL (Vertical Protection Level) definiscono un volume cilindrico (figura 13) all'interno della quale è sicuramente contenuta la posizione indicata, salvo eventi di integrità.

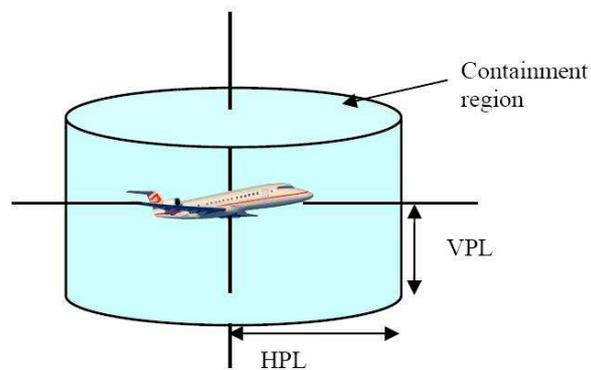


Figura 13. Schematizzazione dei livelli di protezione.

Nelle figure 14 e 15 è riportato l'andamento dei livelli di protezione. Ogni valore rappresenta la soglia al di sotto della quale è concentrato il 99% dei valori calcolati per i campioni del singolo giorno. Per i nostri dati si notano dei valori dei livelli di protezione che eccedono le soglie previste per le varie operazioni APV (tabella 3). Essendo però i livelli di protezione calcolati dalle informazioni SBAS ricevute, tali valori non sono da imputare all'ambiente di raccolta dati. Questo discorso verrà ripreso qui innanzi analizzando i grafici sulla disponibilità.

Nei grafici in fig. 16, 17 viene riportato l'andamento della disponibilità percentuale rilevata per le operazioni APV-1 e APV-2, attualmente gli studi per la certificazione di EGNOS sono rivolti soprattutto a supporto di questi due tipi di operazioni, infatti non è ancora auspicabile attualmente l'uso di EGNOS per le operazioni CAT-1. Per le operazioni APV è richiesta una disponibilità percentuale almeno del 99%, tale valore di disponibilità non è stato raggiunto nei giorni del set di dati considerati, ed è evidentemente inficiato dai valori dei livelli di protezione calcolati. Tuttavia bisogna evidenziare che sovente si arriva molto vicino alla disponibilità richiesta del 99% e in taluni casi tale valore è stato raggiunto, ma in periodi successivi al set di dati considerati in questo lavoro. I problemi riguardo la disponibilità dipendono dall'attuale configurazione del segmento di terra EGNOS, inoltre il sistema è tuttora in fase di test per cui è normale che non siano assicurate le prestazioni che ci si attenderanno a regime.

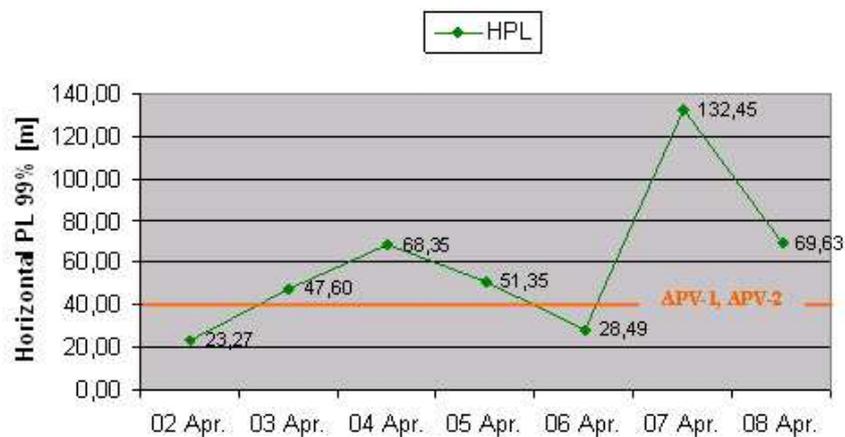


Figura 14. Andamento dei livelli di protezione orizzontali HPL, soglie per operazione.

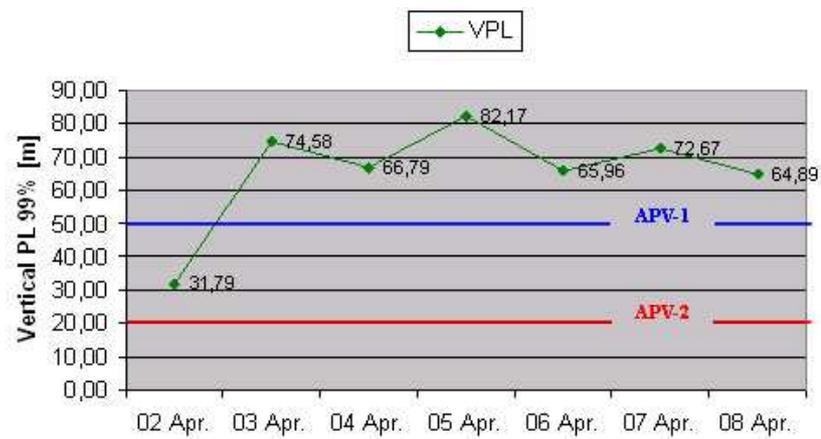


Figura 15. Andamento dei livelli di protezione verticali VPL, soglie operazione.

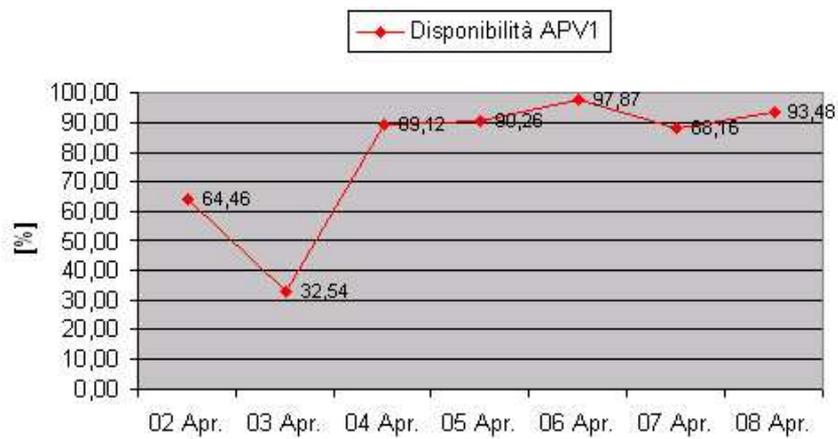


Figura 16. Andamento della disponibilità percentuale APV1.

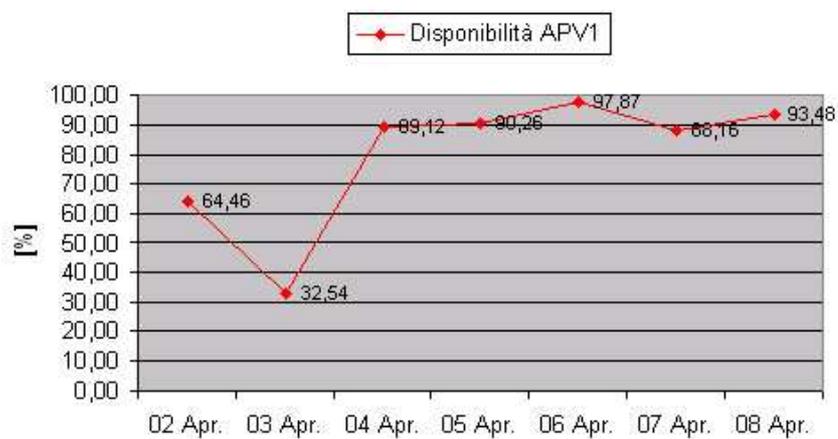


Figura 17. Andamento della disponibilità percentuale APV2.

Operation	Alert Limits (XAL)		
	HAL	VAL	[units]
APV-I	40	50	[m]
APV-II	40	20	[m]
CAT-I	40	12	[m]

Tabella 3. Soglie livelli di protezione per operazione.

7 ALCUNI GRAFICI RAPPRESENTATIVI DEL GIORNO 06 APRILE 2006

Vengono di seguito riportati alcuni grafici rappresentativi delle prestazioni rilevate nelle 24 ore relativamente ai dati del giorno 06 Aprile 2006.

Una nota a parte meritano gli Stanford Plot (figure 24,25). Tali grafici sono stati ideati appositamente per avere un rapido quadro della bontà di un set di dati SBAS in termini di operazione affrontabile. In ascissa è riportato il position error, in ordinata il relativo livello di protezione. È riportata inoltre una scala di colore che rappresenta la concentrazione di punti in una certa zona del grafico. Si vede che il grafico è suddiviso in varie zone ognuna rappresentante una particolare operazione (APV o CAT1).

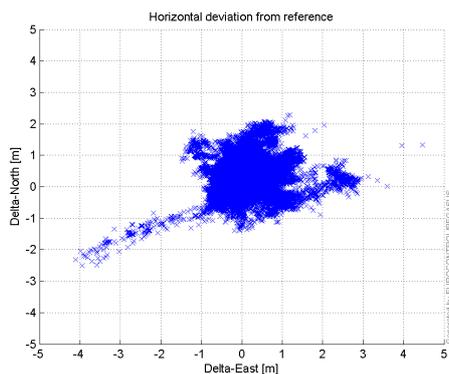


Figura 18. Accuracy, deviazione orizzontale.

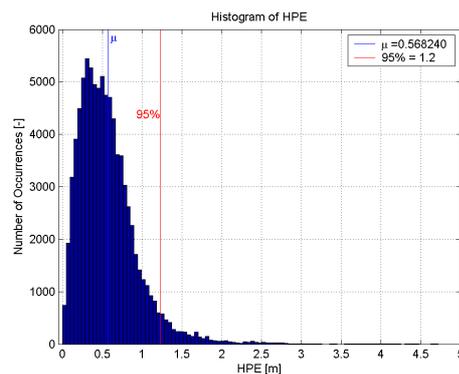


Figura 19. Distribuzione deviazione orizzontale, media μ , soglia 95%.

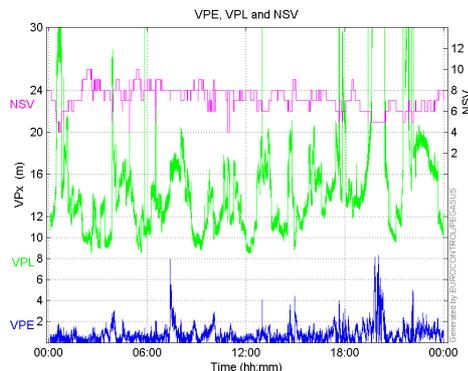


Figura 20. Deviazione verticale (VPE), livello di protezione verticale (VPL), numero satelliti usati nella soluzione di posizione (NSV).

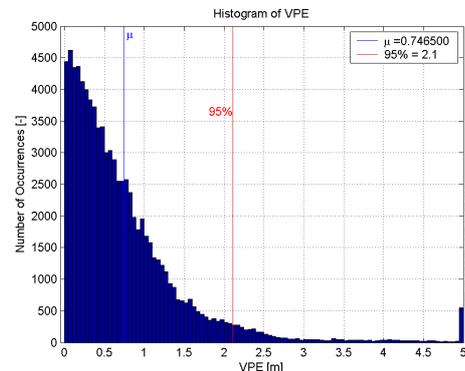


Figura 21. Distribuzione deviazione verticale, media μ , soglia 95%.

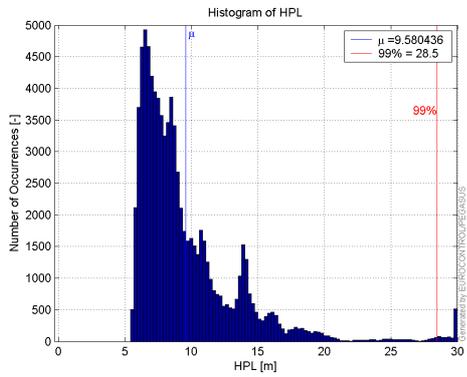


Figura 22. Distribuzione livello di protezione orizzontale (HPL), media μ , soglia 99%.

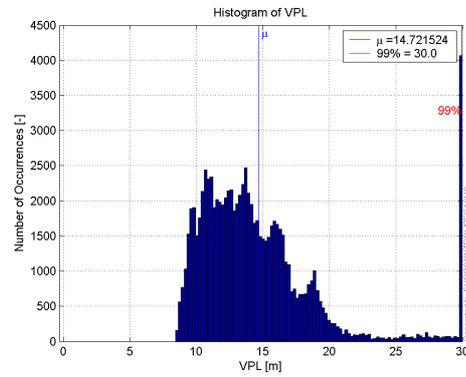


Figura 23. Distribuzione livello di protezione verticale (VPL), media μ , soglia 99%.

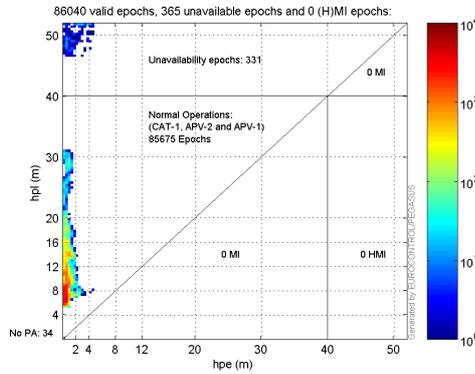


Figura 24. Horizontal Stafford Plot.

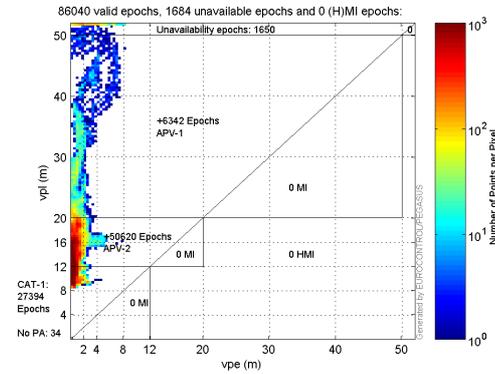


Figura 25. Vertical Stafford Plot.

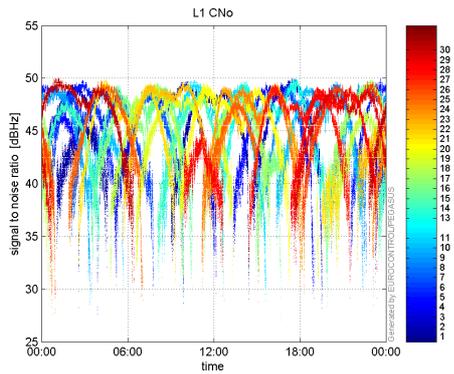


Figura 26. S/N, rapporto segnale/rumore L1.

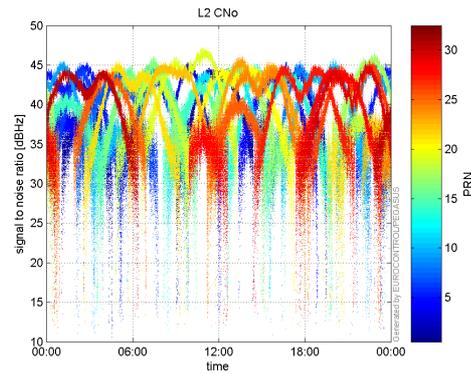


Figura 27. S/N, rapporto segnale/rumore L2.

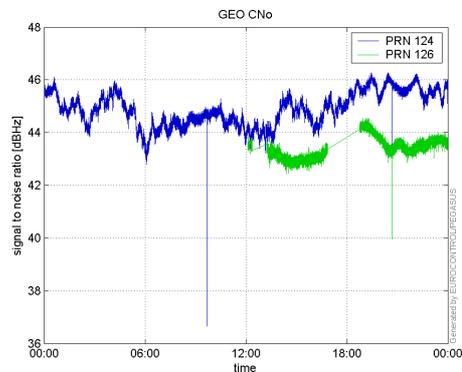


Figura 28. S/N, rapporto segnale/rumore L1 satelliti geostazionari.

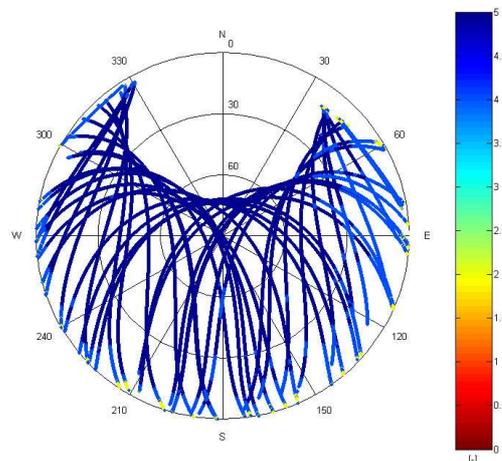


Figura 29: Skyplot con indicazione del PRN Status Summary in scala colori, 4=Flagged do not use this satellite by SBAS, 5=Used in position solution.

8 CONCLUSIONI

Questa ricerca supportata e finanziata dal Dipartimento di Scienze Applicate grazie ai fondi COFIN-2004, è stata avviata col proposito di attivare presso il Dipartimento una stazione di monitoraggio del segnale SBAS Europeo, avendo quindi a disposizione l'hardware per successive ricerche a riguardo. In seguito all'installazione, configurazione e analisi dati effettuata, è possibile concludere che la stazione in oggetto è pronta per essere posta in una opportuna allocazione, secondo le esigenze di ricerca del Dipartimento di Scienze Applicate. L'hardware si è mostrato conforme alle specifiche dichiarate dalla casa costruttrice. Si è rilevata una buona qualità dei dati e delle prestazioni ottenibili, relativamente alla configurazione del sistema, soprattutto se si tiene conto della configurazione attuale del segmento di terra EGNOS. Infatti la distribuzione delle RIMS, carente nell'Europa meridionale (figura 2), non consente in tale regione di ottenere prestazioni superiori a quelle viste nei paragrafi 7 e 8. Se poi si considera che alcune RIMS anche se riportate in figura 2, sono poste in aree geopolitiche instabili e non sono operanti (es. DJA - Libia), si possono evincere le ragioni del mancato raggiungimento della disponibilità minima richiesta per le operazioni APV in Sud-Europa. A tal proposito dalla figura 30 si nota che l'Italia meridionale si trova al limite della zona di confine della piena disponibilità raggiungibile. C'è da dire che tale zo-

na di confine non è stabile e può spostarsi verso nord o sud in funzione del tempo e a seconda della configurazione del sistema. Al fine di migliorare la disponibilità del sistema in Europa meridionale, è auspicabile che si incrementi il numero delle RIMS installate in Africa settentrionale, e/o attivare tutte quelle inizialmente previste nel progetto del sistema.

I risultati di questa attività sono stati presentati nelle due conferenze internazionali: European Navigation Conference & Exhibition 2006 – Manchester UK, 7-10 Maggio 2006 e 12th IAIN World Congress 2006 International Symposium on GPS/GNSS – Jeju Korea, 18-20 Ottobre 2006.

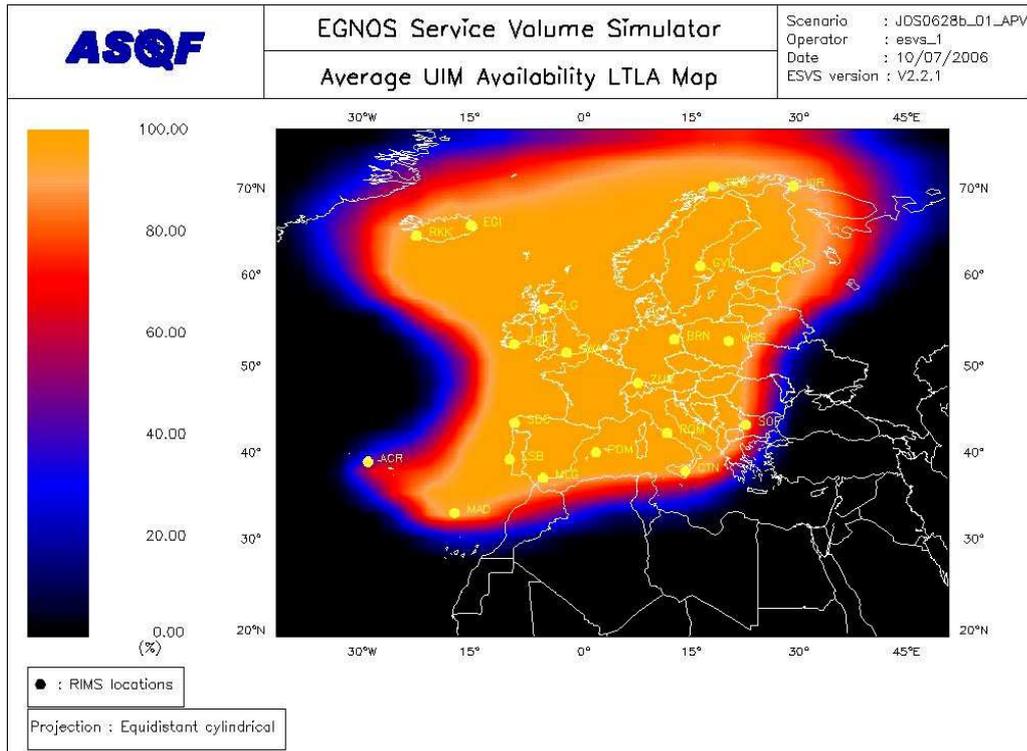


Figura 30. Indicazione della percentuale di disponibilità APV1 regionale.

9 ACRONOMI

AOR-E	Atlantic Ocean Region AOR Est
AOR-W	Atlantic Ocean Region-West (INMARSAT III satellite)
APV	Approach Procedure with Vertical guidance
ASQF	Application Specific Qualification Facility
CAT-1	Category 1 Precision Approach Phase of Flight
ECAC	European Civil Aviation Conference
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ESA	European Space Agency
ESSP	European Satellite Service Provider
ESTB	EGNOS System Test Bed
EWAN	EGNOS Wide Area Network
GEO	Geostationary Earth Orbit
GNSS	Global Navigation Satellite System

GPS	Global Positioning System
HAL	Horizontal Alarm Limit
HPL	Horizontal Protection Level
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ILS	Instrument Landing System
INMARSAT	International MARitime SATellite
IOP	Initial Operations Phase
IOR	Indian Ocean Region
MCC	Master Control Center
MOPS	Minimum Operational Performance Standard (Doc229C)
NLES	Navigation Land Earth Station
NM	Nautical Mile
NPA	Non Precision Approach
N/A	Not Applicable
ORR	Operational Readiness Review
PRN	Pseudo Random Noise
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Station
RNAV	Radio NAVigation
RNP	Required Navigation Performance
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SARP(s)	Standards And Recommended Practices
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SIS	Signal In Space
SNR	Signal to Noise Ratio
SV	Space Vehicle
UTC	Universal Co-ordinated Time
VAL	Vertical Alarm Limit
VPL	Vertical Protection Level
WAAS	Wide Area Augmentation System
WAD	Wide Area Differential
WGS-84	World Geodetic System
XAL	Alert Limit (HAL and VAL)
XPE	Position Error (HPE and VPE)
XPL	Protection Level (HPL and VPL)

BIBLIOGRAFIA

- [1] A.PACIFICO, "GNSS Operational Validation, Monitoraggio e Validazione del segnale EGNOS" – Tesi in Navigazione Satellitare, Università di Napoli Parthenope, Naples, Italia (2005).
- [2] A.Pacifico, M.Vultaggio, "EGNOS: First results of the European SBAS system", European Navigation Conference 2006 (ENC2006), Manchester, UK, 7-10 May 2006.
- [3] S.Gaglione, A.Pacifico, M.Vultaggio, "European Augmentation Services – a GNSS Monitoring in South Europe Region", 12th IAIN World Congress 2006 on GPS/GNSS, Jeju, Korea, 18-20 October 2006.
- [4] ICAO, "Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, DO229C".
- [5] Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, "International Standards and Recommended Practices", Volume I – Radio Navigation Aids.
- [6] Agenda Item 4: "First Glance Algorithm Description" - AIRSPACE AND NAVIGATION TEAM APV Working Group/EGNOS SIS Validation Sub group.
- [7] Pegasus User Manual. "Pegasus Technical Note on SBAS" - GNSS Tools Team 2003.
- [8] A.Pacifico, M.Vultaggio, "EGNOS: First results of the European SBAS system", European Navigation Conference 2006 (ENC2006), Manchester, UK, 7-10 May 2006.
- [9] A. van den Berg, S. Soley and Farnworth, "GOV strategy: EGNOS Operation validation" – Eurocontrol 2003.
- [10] Novatel OEM4 receiver user manual.