

Il posizionamento satellitare: prospettive nel campo della geomatica con ricevitori GNSS basso costo

*Original*

Il posizionamento satellitare: prospettive nel campo della geomatica con ricevitori GNSS basso costo / Cina, Alberto; Manzino, Ambrogio; Piras, Marco. - STAMPA. - (2011), pp. 179-188. (Intervento presentato al convegno Geomatica, le radici del futuro tenutosi a Pavia nel 10-11 febbraio 2011).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2497227 since:

*Publisher:*

SIFET

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



Politecnico di Torino

Università degli Studi di Pavia



# GEOMATICA

## LE RADICI DEL FUTURO



**TRIBUTO**  
A  
**SERGIO DEQUAL**  
&  
**RICCARDO GALETTO**

a cura di Ambrogio MANZINO e Anna SPALLA

Nell'autunno del 2009, quando noi che scriviamo abbiamo saputo che i nostri riferimenti di sempre avevano deciso di rallentare la loro attività accademica, dopo anni di vita intensa nella ricerca, nella divulgazione e nella didattica, ci siamo resi conto che anche il nostro lavoro sarebbe cambiato in quanto, appunto, non avremmo più potuto contare quotidianamente sulla rete di sicurezza di un consiglio importante, di uno spunto brillante, del parere autorevole che ci assicurava sulla qualità del nostro operare.

Da queste considerazioni e dalla gratitudine di chi è consapevole di aver imparato molto da Maestri di lavoro e di vita, è nata l'idea di organizzare un incontro che abbiamo intitolato

GEOMATICA. LE RADICI DEL FUTURO  
Tributo a Sergio Dequal e a Riccardo Galetto

All'incontro hanno aderito Universitari Geomatici da tutta Italia portando l'espressione dell'attività di ricerca in essere nelle diverse Sedi.

Questo volume, che raccoglie i lavori pervenuti, vuole essere il regalo a Dequal e a Galetto di tutti noi Universitari Geomatici che con loro abbiamo condiviso tanti progetti di ricerca e tante iniziative di cultura.

Torino - Pavia, Febbraio 2011

*prof. ing. Ambrogio Manzino*

Ordinario del Politecnico di Torino

*prof. ing. Anna Spalla*

Ordinario dell'Università degli Studi di Pavia

## Indice

<i>A. Spalla</i> <i>Università degli Studi di Pavia</i>	Le origini e la formazione della Geomatica nella produzione scientifica di Riccardo Galetto	1
<i>A. M. Manzino</i> <i>Politecnico di Torino</i>	Verso la corrente stende le radici. Piccola biografia per il 70° compleanno del prof. Sergio Dequal	11
<i>M. Caprioli, M. Minchilli, A. Scognamiglio</i> <i>Politecnico di Bari</i>	Analisi 3D dei beni architettonici: fotogrammetria e/o laser scanner?	17
<i>G. Bitelli, P. Conte</i> <i>Università degli Studi di Bologna</i>	Thermal Remote Sensing at Urban Scale: Applications and a Case Study	27
<i>G. Artese, A. Trecroci, C. Pace</i> <i>Università della Calabria</i>	Sistema di posizionamento e orientamento per fotogrammetria diretta a basso costo con sensori MEMS-GNSS e fotocamera compatta: problematiche affrontate per la realizzazione di un prototipo	35
<i>M. Mangiameli, G. Muscato, G. Mussumeci</i> <i>Università degli Studi di Catania</i>	Creazione e gestione dinamica di un geo-data base da piattaforma WEB-GIS Open Source	45
<i>M.I. Alba, L. Barazzetti, A. Giussani, R. Roncoroni, M. Scaioni</i> <i>Politecnico di Milano</i>	Sperimentazione di tecniche innovative per il monitoraggio delle strutture.	49
<i>R. Barzaghi</i> <i>Politecnico di Milano</i>	La stima del Geoide gravimetrico in Italia: venti anni di ricerche al Politecnico di Milano	59
<i>M.A. Brovelli, F. Migliaccio, L. Pinto</i> <i>Politecnico di Milano</i>	Esperienze di ricerca relative alla cartografia numerica e ai sistemi informativi geografici al Politecnico di Milano nel SSD ICAR06	67
<i>L. Mussio</i> <i>Politecnico di Milano</i>	Trasferimento di tecnologie e Cooperazione Internazionale	77
<i>F. Sansò</i> <i>Politecnico di Milano</i>	Cosa è un "Height Datum" e la difficile strada dell'unificazione	87
<i>E. Bertacchini, C. Castagnetti, A. Capra., R. Rivola, A. Corsini</i> <i>Università degli Studi di Modena</i>	Rilievi integrati per il monitoraggio e la gestione dell'instabilità di versanti	89
<i>C. Castagnetti, E. Bertacchini, A. Capra, M. Dubbini</i> <i>Università degli Studi di Modena</i>	Il laser scanning terrestre per l'analisi di edifici di interesse storico ed artistico	99
<i>F. Guastaferro, P. Maglione, C. Parente, R. Santamaria</i> <i>Università degli Studi Napoli Parthenope</i>	Estrazione in automatico della linea di costa da immagini satellitari IKONOS	109

<i>V. Achilli, M. Fabris, D. Bragagnolo, M.T. Grassi, A. Menin, G. Targa</i> <i>Università degli Studi di Padova</i>	Rilievi 3D ad alta risoluzione nell'antica città di Palmyra (Siria) mediante metodologie geomatiche.	117
<i>F. Pirotti, A. Vettore, A. Guarnieri, M. Camarda</i> <i>Università degli Studi di Padova</i>	Airborne Lidar for Earth Surface Monitoring: Latest Developments and Considerations on Data Processing	123
<i>L. Barazzetti, R. Roncella, G. Forlani, F. Remondino, M. Scaioni</i> <i>Università degli Studi di Parma</i>	Orientamento automatico di blocchi fotogrammetrici in ambito close-range: stato dell'arte e prospettive della ricerca	131
<i>V. Casella, M. Franzini</i> <i>Università degli Studi di Pavia</i>	Esperienze sulla triangolazione di fotogrammi aerei	141
<i>G. Fastellini, F. Radicioni, A. Stoppini</i> <i>Università degli Studi di Perugia</i>	Tracciamento in tempo reale di flotte di veicoli con sensori integrati di basso costo	149
<i>G. Caroti, A. Piemonte</i> <i>Università degli Studi di Pisa</i>	Analisi dei dati altimetrici disponibili per il territorio comunale di Pisa	157
<i>P. Capaldo, M. Crespi, F. Fratarcangeli, A. Nascetti, F. Pieralice</i> <i>Università degli Studi di Roma "La Sapienza"</i>	High Resolution Sar Radargrammetry. Application with Cosmo-Skymed Spotlight Imagery	163
<i>G. Colosimo, M. Crespi, A. Mazzoni</i> <i>Università degli Studi di Roma "La Sapienza"</i>	GPS Real-Time Seismology with <i>Vadase</i> : a Preliminary Demonstration	171
<i>A. Cina, A. M. Manzano, M. Piras</i> <i>Politecnico di Torino</i>	Il posizionamento satellitare: prospettive nel campo della Geomatica con ricevitori GNSS basso costo	179
<i>A. Lingua, F. Nex, D. Piatti, F. Rinaudo</i> <i>Politecnico di Torino</i>	Dalle nuvole di punti alle informazioni: automatismo e integrazione	189
<i>T. Bellone, C. Porporato, F. Fiermonte</i> <i>Politecnico di Torino</i>	Spazio, Tavola, Globo	199
<i>R. Chiabrando, E. Borgogno Mondino, F. Chiabrando</i> <i>Università degli Studi di Torino</i>	Hives Geometric Characterization by Means of Unconventional Geomatic Techniques	205
<i>G. Manzoni</i> <i>Università degli Studi di Trieste</i>	Tele-Geomatics for the Design and the Construction and Maintenance of the New Great Silk Road	215
<i>F. Crosilla, A. Gubana, D. Visintini</i> <i>Università degli Studi di Udine</i>	Misura delle deformazioni di elementi strutturali lignei con laser scanner terrestri distanziometrici	219

# IL POSIZIONAMENTO SATELLITARE: PROSPETTIVE NEL CAMPO DELLA GEOMATICA CON RICEVITORI GNSS BASSO COSTO

A. Cina<sup>a</sup>, A. M. Manzano<sup>a</sup>, M. Piras<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Politecnico di Torino, DITAG, 10129 Torino, Italia - (alberto.cina, ambrogio.manzino, marco.piras)@polito.it

**KEY WORDS:** GNSS, Indoor, Sensitivity, Augmentation, Modernization, Integration

## ABSTRACT:

Sono passati circa vent'anni dalle prime esperienze GPS e solo guardando indietro nel tempo si può capire il cammino fatto nella tecnologia e nelle possibilità di misura dei nuovi ricevitori, alla luce delle nuove costellazioni e dei servizi di posizionamento a terra. Il GPS ha modificato non solo il modo di fare misure ma anche alcuni concetti ben saldi nella cultura del topografo. Vengono così ampliate le casistiche degli schemi di misura, gli approcci di calcolo, l'istituzione di reti geodetiche e il mantenimento dei sistemi di riferimento. Anche la cadenza di calcolo delle reti deve tener conto delle altissime precisioni raggiungibili e delle elevate frequenze con cui possono essere eseguite le misure e calcolate le posizioni. Tanti di questi concetti e tecniche fanno oggi parte della pratica professionale ma la ricerca non è finita. Miglioramenti tecnologici e scientifici aprono nuovi scenari e dunque occorre analizzare le nuove possibilità nel campo della geomatica.

Uno degli aspetti sicuramente importanti di questi anni è il posizionamento con sensori a basso costo, che permettono il raggiungimento di precisioni interessanti in molti campi della geomatica e dell'ingegneria. Alcuni di questi permettono di effettuare un posizionamento indoor o con bassissime intensità di segnale oltre a poter registrare le misure sulla frequenza L1 per la post elaborazione. La potenziale grande diffusione conduce ad approfondire e sperimentare le prestazioni di tali ricevitori. Nella nota, verrà fatto un breve excursus storico e verranno proposti i risultati di alcune esperienze eseguite in ambiente outdoor e indoor in varie modalità di acquisizione ed elaborazione.

## 1. INTRODUZIONE

A cavallo tra gli anni ottanta e inizio anni novanta, la costellazione GPS non ancora completa permetteva il posizionamento in finestre temporali di poche ore al giorno, con un massimo di 5 satelliti, come si evidenzia in Figura 1.

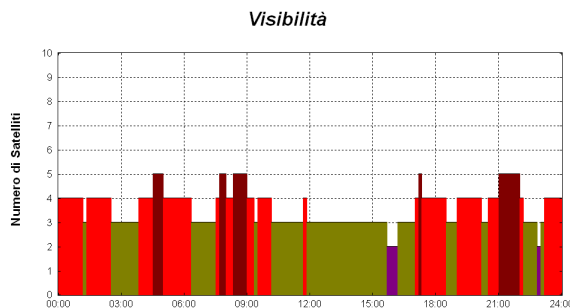


Figura 1. – visibilità dei satelliti su Torino a luglio 1991

Al fine di dare un esempio dello scenario attuale GNSS, nella Figura 2 è riportato il numero di satelliti GPS+GLONASS visibili a Torino, in un giorno di gennaio 2011. Confrontando questo grafico con quello riportato in Figura 1, è evidente il notevole sforzo fatto per migliorare il sistema GNSS, soprattutto per la componente spaziale.

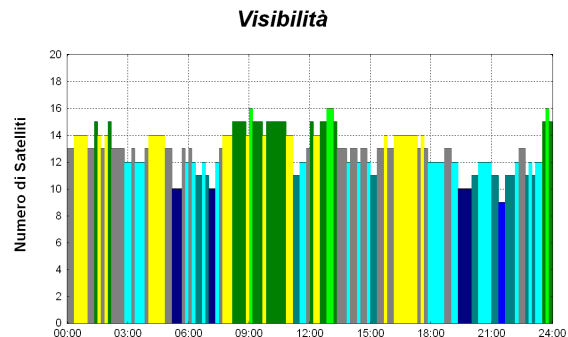


Figura 2. visibilità dei satelliti GPS/GLONASS su Torino a gennaio 2011

Gli ingombranti e costosi ricevitori (Figura 3) venivano prevalentemente usati in campagne statiche e si era appena agli albori del rilievo cinematico. Non esisteva ancora la modalità RTK e le prime applicazioni erano finalizzate alla geodesia o alla fotogrammetria per la determinazione dei centri di presa (Figura 4).

La necessità di un posizionamento relativo, a partire da stazioni GPS di posizione nota, ha portato vari enti, istituzioni scientifiche e professionali, a realizzare le prime stazioni permanenti GPS, a partire dalla metà degli anni 90 (Figura 5), ma si trattava di realtà isolate. Bisogna attendere ancora alcuni anni per la realizzazione delle prime Network RTK: nel 2003 appaiono le prime esperienze in Italia (Figura 6).



Figura 3. ricevitore e campagna GPS nel 1990



Figura 4. antenna GPS cinematica su aereo per riprese fotogrammetriche (1990)

Vent'anni dopo le prime ricerche, in tante applicazioni di rilevamento sembra impossibile fare a meno del GPS: le tecniche topografiche hanno subito una rivoluzione che con la "modernizzazione" del GPS, il "rilancio" di GLONASS e l'arrivo di GALILEO, non può certo considerarsi finita. Vista la complessità dello scenario, in questi anni è più corretto usare il termine di posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System).



Figura 5. stazione permanente GPS al Politecnico di Torino, attiva dal 1996

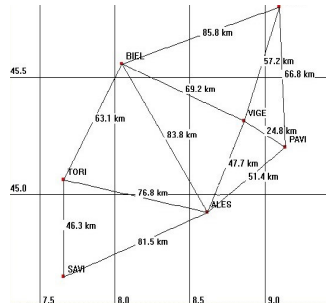


Figura 6. prima rete RTK sperimentale

interessante per l'istituzione e/o il potenziamento di reti locali e per posizionamento indoor.

Anche gli algoritmi di calcolo, per seguire questo scenario, tendono a superare i minimi quadrati classici per soluzioni sequenziali e filtri di Kalman, in grado di integrare diversi strumenti di misura e modelli di moto.

Proviamo a vedere lo scenario col quale si confronta oggi il rilevatore e quello prevedibile nei prossimi anni, alla luce delle novità delle costellazioni satellitari, dei servizi di terra e dei moderni strumenti di misura. Lo scopo sarà quello di valutare come tali novità possano essere vantaggiose anche con l'uso di semplici ricevitori palmari basso costo, per applicazioni navigazionali, cartografiche e GIS.

## 2. DAL GPS AL GNSS

Il GNSS è il sistema di navigazione che, secondo la definizione internazionale, comprende GPS, GLONASS, GALILEO e altre costellazioni quali QZSS interoperabili fra loro, oltre a servizi di augmentation quali satelliti geostazionari e componenti locali di terra. Le costellazioni e il loro ammodernamento si basano su due concetti apparentemente antitetici: indipendenza e interoperabilità. I nuovi ricevitori saranno dunque in grado di ricevere più costellazioni e permettere il posizionamento anche con ostacoli alla visibilità satellitare, in virtù di una costellazione più numerosa.

### 2.1 L'ammodernamento GPS

Il sistema GPS compirà 33 anni il 22 marzo 2011. In questo arco di tempo si sono osservati miglioramenti e cambiamenti in tutti i segmenti (Figura 7) che compongono il sistema, in particolare negli ultimi anni c'è stato un notevole incremento delle prestazioni in termini di precisione, affidabilità e disponibilità.

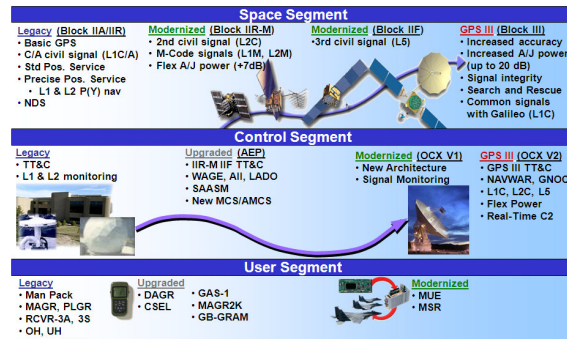


Figura 7. programma di modernizzazione dei segmenti GPS

Oltre alle novità sulle costellazioni, grande sviluppo hanno avuto i servizi di terra quali le reti di stazioni permanenti GNSS per il tempo reale che possono essere considerate come augmentation delle prestazioni dei sistemi satellitari.

L'integrazione di sensori quali GPS, piattaforme inerziali, camere fotogrammetriche, laser a scansione, apparati geofisici (magnetometri, conduttivimetri, georadar ecc...), portano verso rilevamenti 3D, riproponendo problemi di sistemi di riferimento in parte classici e in parte nuovi. La tecnica degli pseudoliti, trasmettitori di frequenza posti su punti di posizione nota, pare

In Figura 8 è riportato il confronto tra il piano lanci satelliti al 2008 e al 2009. Si nota come il programma di modernizzazione abbia subito un rallentamento, dovuto alla maggiore vita, inaspettata, dei satelliti, ma forse anche ai rallentamenti del “concorrente” GALILEO.

Nei nuovi blocchi sono previsti miglioramenti delle effemeridi, la cui precisione URE (*User Range Error*) si attesterà col blocco IIF a valori decimetrici, contro i 3 m che si avevano nel 1994. Miglioreranno anche le stime degli errori di orologio e la stima della ionosfera, con l’aumento del numero delle stazioni del segmento di controllo.

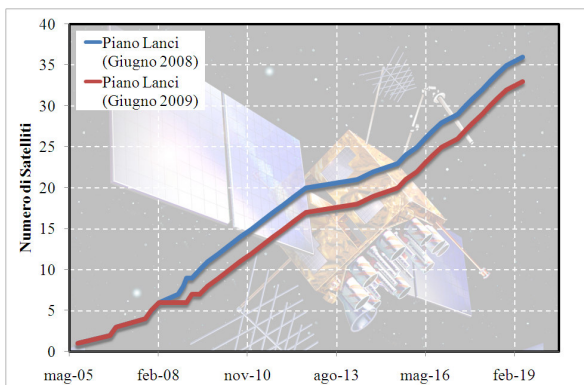


Figura 8. programma dei lanci satelliti GPS

## 2.2 Il rilancio di GLONASS

Ritenuto elemento strategico per la sicurezza nazionale ed elemento chiave dei servizi di posizionamento e timing, il governo russo ha approvato nell’agosto del 2001 il *Federal Glonass Program 2002-2011*. Il programma prevede lo sviluppo del GLONASS, per una piena capacità operativa del sistema. A gennaio 2011 si può contare su 26 satelliti GLONASS operativi (anche se attualmente 5 in manutenzione) che garantiscono un posizionamento già con buoni valori di PDOP (Figura 9). Tuttavia il GLONASS non ha ancora le performance del GPS ma è prevedibile (Figura 10) che esse possano essere equiparabili già a fine del 2011, legate al miglioramento delle effemeridi e al miglioramento della misura del tempo.

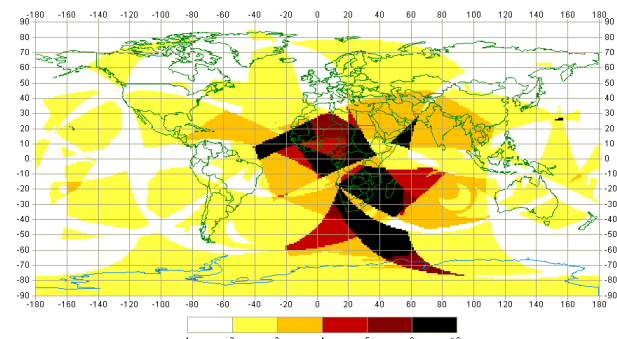


Figura 9. valori di PDOP GLONASS in una finestra temporale del gennaio 2011

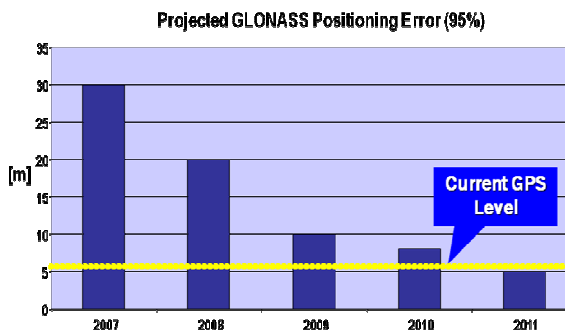


Figura 10. previsione del miglioramento delle performance GLONASS

Il GLONASS non è oggi da intendersi come costellazione da usare autonomamente, ma integrata al GPS per aumentarne le performance, anche se recentemente (gennaio 2011), è stato presentato un telefono cellulare con integrato un ricevitore solo GLONASS (Figura 11), come risposta russa all’Iphone.



Figura 11. Cellulare con ricevitore GLONASS integrato

## 2.3 GALILEO: una scommessa europea

L’anno 2002 può essere definito come un anno chiave per il posizionamento satellitare: gli USA hanno eliminato la SA (Selective Availability) dando così maggiore accessibilità al servizio di posizionamento agli utenti civili, la Russia, sfruttando il miglioramento della situazione economica ha deciso di rifinanziare in maniera pesante il progetto GLONASS, quasi abbandonato. E l’Europa?

Ovviamente anche la comunità europea doveva stare al passo e proprio nel 2002 ha avviato il programma GALILEO, che riguarda lo sviluppo di un sistema di radionavigazione e posizionamento via satellite indipendente da GPS e GLONASS, sviluppato in collaborazione con l’agenzia spaziale europea (ESA).

Il progetto si è presentato sin dall’inizio forse troppo ambizioso, sia in termini di risorse che di prestazioni offerte all’utenza. Infatti Galileo è rivolto principalmente al settore civile-commerciale mondiale e prevede di essere sempre disponibile sia per scopi civili che militari. Il sistema prevede una costellazione di 30 satelliti, disposti su 3 piano orbitali, a circa 24000 km di quota.

All’origine il progetto prevedeva il completamento nel 2010, ma alcune complicazioni durante i primi anni, più di natura politica-economica che tecnica, legate soprattutto agli eventi terroristici dell’11 settembre, all’accordo sulle frequenze e alla crisi economica mondiale hanno portato ad uno slittamento dei tempi.

Appena le frequenze, secondo lo schema riportato in Figura 12, sono state assegnate, il progetto GALILEO ha potuto muovere i primi passi, con l’avvio del programma spaziale.



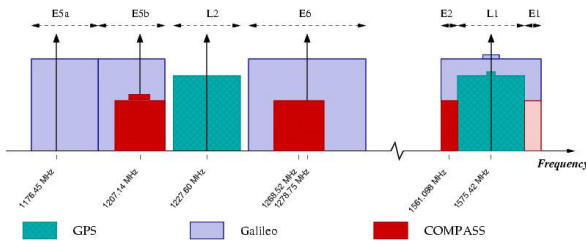


Figura 12. Frequenze Galileo – GPS - Compass

Per quanto riguarda il segmento satellitare, ad oggi il sistema dispone di 2 satelliti test (GIOVE A e GIOVE B) e si prevede nel 2011 il lancio di quattro satelliti, destinati alla fase di “in orbit validation”, vale a dire la validazione delle strutture a terra e spaziali. L’intera costellazione dovrebbe essere completamente operativa (30 satelliti) a fine 2018.



Figura 13. Satellite GIOVE A

Senza entrare nel merito delle singole componenti e strutture del segmento, va ricordato che l’Italia dà il suo contributo in questa parte grazie al centro di controllo di Fucino, inaugurato nel dicembre 2010.

Un prezioso servizio, innovativo rispetto ai sistemi GPS e GLONASS è quello offerto dal Search and Rescue Support Service (SAR), o servizio di ricerca e salvataggio, che fornirà assistenza al sistema COSPAS-SARSAT per la gestione di allarmi e la localizzazione di utenti in pericolo al fine di assistere le operazioni di soccorso. Il SAR verrà usato rilevando radiofari di emergenza (Emergency Beacons) e rispondendo ad essi con degli opportuni messaggi di risposta (Return Link Messages) nel contesto del messaggio del SoL (Safety of Life).

Le differenze con il GPS sono molteplici, queste riguardano sia la struttura dei satelliti stessi che soprattutto i servizi offerti. Un esempio dell’innovazione introdotta da GALILEO riguarda l’affidabilità nella garanzia del servizio, l’autenticazione del segnale, l’integrità, la trasparenza delle operazioni, l’accuratezza e l’affidabilità del sistema.

La geomatica sicuramente trarrà vantaggi dal sistema GALILEO innanzitutto per l’aumento del numero di satelliti complessivamente disponibili (Figura 14).

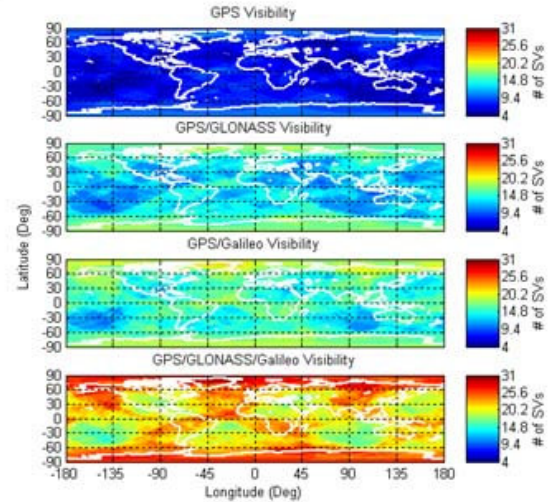


Figura 14. Visibilità satellitare GNSS

Questo aspetto risulta fondamentale per gli aspetti futuri del posizionamento, vale a dire la localizzazione in condizioni outdoor critiche (es. urban canyon) e la possibilità di una localizzazione in ambienti indoor, che ben si associa con il servizio SAR previsto da GALILEO.

Oltre al maggior numero di satelliti, GALILEO, trasmettendo su frequenza diverse da GPS e GLONASS, consentirà di realizzare nuove combinazioni di codice e fase (es. extra wide lane) al fine di migliorare il posizionamento. Inoltre, grazie al servizio di “integrità”, GALILEO risulterà di maggiore efficienza, rispetto a GPS o GLONASS, per molti scopi civili (ad es. navigazione aerea).

L’agenzia spaziale europea (ESA) in realtà aveva già iniziato un progetto di posizionamento satellitare, con EGNOS. Il progetto, oramai giunto a completamento e in attesa di certificazione per scopi SAR nel 2011, è essenzialmente un servizio di augmentation satellitare SBAS come il sistema WAAS negli USA o MSAS in Giappone (Figura 15)

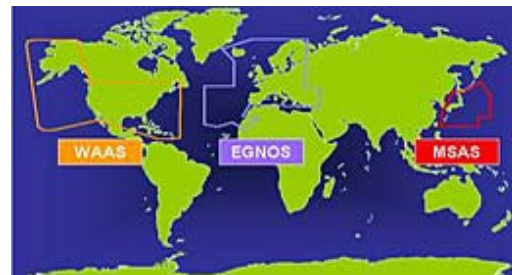


Figura 15. Esempio di sistemi di augmentation

Il sistema è composto da tre satelliti geostazionari e una serie di stazioni a terra di controllo, che hanno lo scopo di calcolare modelli di correzione (essenzialmente di troposfera e ionosfera) per i satelliti GPS. L’utilizzo di correzioni EGNOS dovrebbe garantire una precisione metrica.

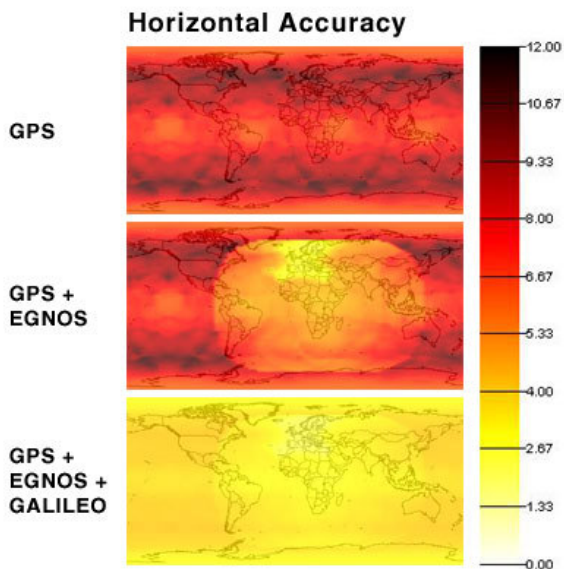


Figura 16. Accuratezza GPS vs GNSS

### 3. I SENSORI LOW COST: QUALI PRESTAZIONI?

All'inizio del nuovo millennio, le applicazioni GPS o in generale di posizionamento satellitare erano essenzialmente vincolate a strumenti costosi e di ristretta diffusione.

L'eliminazione della SA, l'ammodernamento dei sistemi GNSS e il consecutivo sviluppo di sensori a basso costo e destinati al mass market, ha spinto il mercato in questo ultimo lustro a produrre ricevitori low cost di caratteristiche e prestazioni differenti, ma che potrebbero interessare anche alcune applicazioni geomatiche.

La prima generazione di ricevitori a basso costo GPS sono stati sviluppati essenzialmente per applicazione di trekking, attività outdoor o più in generale per registrare punti di interesse e traiettorie in qualsiasi condizioni.

Queste tipologia di ricevitori erano dotati di schede fino a 12 canali, con un posizionamento stimato solo con dati di codice. Con la seconda generazione di ricevitori basso costo, un primo miglioramento dei chipset era già stato apportato e, grazie ad alcuni software dedicati (es. Rhinorover, Gringo), si era in grado di estrarre il dato grezzo di codice e fase L1 dai singoli ricevitori.

Alcuni test svolti con questi ricevitori (Figura 17) in modalità statica con baseline inferiori a 8 km, per trascurare l'effetto ionosferico, hanno dimostrato, su di un poligono di calibrazione (Figura 18) che si possono ottenere precisioni centimetriche con sessioni di misura di alcune decine di minuti, utilizzando le misure sulla portante L1, pur senza arrivare al fissaggio dell'ambiguità di fase. Nel grafico di Figura 19 è riportato l'andamento plano-altimetrico dei residui sulle baseline, in funzione della lunghezza delle sessioni di misura.



Figura 17. ricevitore e antenna GARMIN con adattatore e determinazione della posizione del centro di fase

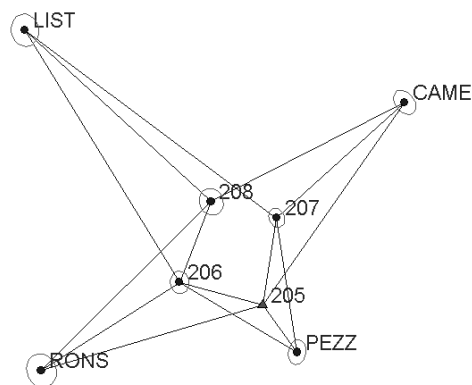


Figura 18. poligono di calibrazione rete statica con GARMIN

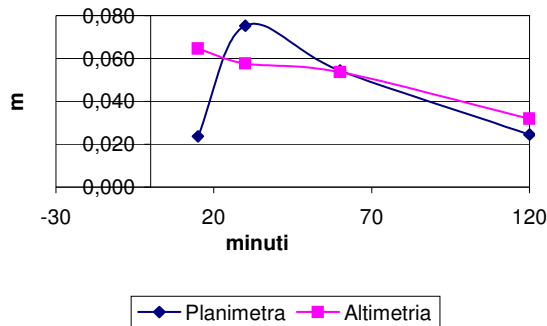


Figura 19. errori medi basi statiche GARMIN

I ricevitori palmari utilizzati prevedono la modalità differenziale DGPS: non è però noto se la correzione sia applicata alle sole misure di codice o codice liscio con la fase. Alcuni esperimenti svolti dagli autori [5], riguardanti l'utilizzo di ricevitori a basso costo in DGPS in tempo reale, ha portato ad evidenziare (Figura 20), che la precisione sub-metrica è ottenibile su basi di lunghezza di alcuni km con ricevitori palmari, a patto di mediare dati per periodi anche di soli 10 minuti.

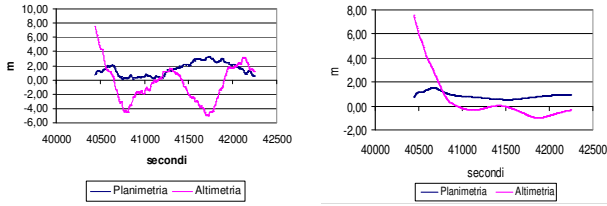


Figura 20. Errori con DGPS RT di codice  
 a) Coordinate non mediate      b) Coordinate mediate in maniera sequenziale

Già nei primi anni 2000 era quindi apprezzabile il miglioramento che le stazioni permanenti GPS potevano dare al posizionamento differenziale con ricevitori mobili, tuttavia le precisioni erano limitate da errori sistematici, fra i quali quelli spazialmente correlati di troposfera, ionosfera, di effemeridi, che possono essere in parte resi funzione della posizione delle stazioni. Era l'inizio del concetto di "rete di stazioni permanenti" per il posizionamento in RT: per limitare i *bias*, le stazioni della rete possono modellare opportunamente l'effetto dei sistematismi nella posizione approssimata del ricevitore mobile, ovvero in una *stazione virtuale* (VRS) molto prossima alla sua posizione reale. Pur in assenza di una vera rete RTK, alcune simulazioni con dati reali in post elaborazione, mostrarono sensibili vantaggi nel miglioramento della precisione anche con ricevitori palmari a misura di codice [6]. Con 4 stazioni permanenti a grande distanza (Genova Zimmerwald, Grass e Novara) le correzioni differenziali di codice interpolate in prossimità della stazione GPS di Torino (Figura 21) mostrarono incrementi dell'affidabilità e della precisione delle coordinate migliorate di un fattore pari al 20-30% rispetto ai posizionamenti differenziali ottenibili dalle singole stazioni

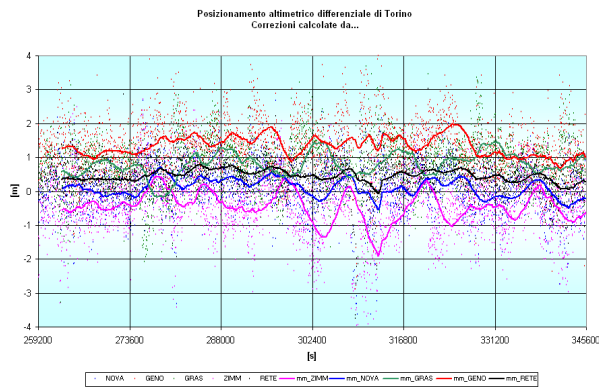


Figura 21. stazioni virtuali di codice: in nero la correzione differenziale interpolata tra 4 stazioni permanenti, in prossimità di Torino

Oggi possiamo però contare su reti di stazioni permanenti regionali e su ricevitori basso costo più sofisticati e ingegnerizzati per applicazioni geomatiche. Capiamo dunque cosa offre oggi il mercato e quali sono le prestazioni di ricevitori palmari con l'ausilio di reti di stazioni permanenti.

### 3.1 Classi di ricevitori GPS palmari

L'evoluzione della tecnologia e il maggiore interesse del mercato ha portato a costruire sensori a basso costo per le

applicazioni più varie come ad esempio navigatori per automobili, sistemi di controllo flotte etc.

Questi ricevitori devono essere in grado di fornire una PVT (position, velocity and timing) in maniera autonoma senza necessità di post-elaborazione ma alcuni, per uso più geodetico cartografico, devono essere in grado registrare dati grezzi sia di codice che di fase L1 o stimare una PVT anche con algoritmi raffinati, spesso basati su filtro di Kalman.

Nel campo dei ricevitori di basso costo possiamo individuare per lo meno due classi di ricevitori; tale suddivisione sarà abbastanza diversa nei prossimi anni, per l'ammodernamento del sistema GNSS:

- Ricevitori mass market detti anche "a misura di codice"
- Ricevitori singola frequenza (GPS o GPS + GLONASS).

I ricevitori mass market sono i più diffusi sul mercato. Generalmente impiegano misure di codice, ma alcuni possono anche acquisire le misure di fase sulla portante L1. Possiamo trovarli dotati di display per visualizzare e gestire le principali funzioni, oppure in forma di chipset da integrare in altri apparati o integrati in telefoni cellulari. Possono in generale ricevere correzioni differenziali secondo il protocollo RTCM 2.x oppure correzioni EGNOS. In Figura 22 troviamo alcuni esempi e il loro costo si aggira nella fascia 100 - 300 €.



Figura 22. esempi di ricevitori mass market

La seconda categoria di GNSS palmari è più onerosa, con prezzi da 1500 a 5000 €. Possono acquisire la portante L1, hanno un display grafico e parecchie funzionalità di tipo cartografico. Alcuni tipi sono riportati, come esempio, in Figura 23. Sono di particolare interesse per applicazioni GIS, in quanto la misura fase è poco rumorosa e si prestano bene per diverse applicazioni in cui è richiesta una precisione decimetrica-centimetrica.



Figura 23. ricevitori singola frequenza GPS o GPS+GLONASS

### 3.2 Esperienze in tempo reale e post elaborazione con ricevitori GPS palmari

Dalle positive esperienze degli anni precedenti, ci chiediamo quali siano oggi le prestazioni dei moderni ricevitori mass market e singola frequenza, e quale il miglioramento dell'affidabilità e precisione con l'uso di reti di stazioni permanenti GNSS. Inoltre, è stata avviata una prima serie di test per la valutazione delle prestazioni in ambito indoor, come vedremo successivamente.

La modalità DGPS è quella maggiormente conosciuta e apprezzata ma tante applicazioni topografiche possono non richiedere il tempo reale. Brevi stazionamenti (qualche minuto) possono essere accettabili se la modalità statica può portare al miglioramento della precisione della posizione.

Le prove che mostriamo in seguito sono da interpretarsi nella stessa maniera. Il ricevitore da sottoporre a test è posto su di un punto di coordinate note e vengono ordinati per ordine crescente gli scarti dell'elaborazione statica o differenziale. I diagrammi seguenti riportano i relativi errori cumulati. I test valutano dunque il valore di affidabilità, intesa come differenza della posizione stimata rispetto ad un valore noto di riferimento. Per ottenere risultati significativi indipendenti dalla costellazione, il ricevitore è stato fatto acquisire per 24 ore consecutive. Le stazioni permanenti, reali o virtuali (VRS Virtual Reference Station) appartengono alla rete piemontese gestita dal Politecnico di Torino.

Delle varie prove eseguite riportiamo solo le più significative per le classi di ricevitori mass market e singola frequenza. Cominciamo dalle misure in tempo reale di codice e fase da singole stazioni permanenti e da rete.

Con il ricevitore mass market uBlox4, in modalità stand alone, gli scarti rispetto alla posizione nota, osservabili in Figura 24, risultano contenuti entro 5,4 m nel 95% dei casi. L'affidabilità migliora di circa 1 m con correzioni EGNOS e non si notano miglioramenti apprezzabili da rete con tecnica VRS. Per questa tipologia di strumenti e modalità di misura, le correzioni EGNOS risultano sufficienti.

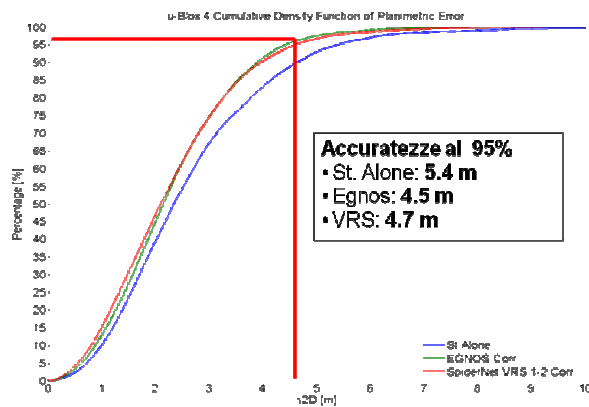


Figura 24. ricevitore mass market u-blox 4

Altro caso è quello del ricevitore singola frequenza Leica GS20 ma, considerazioni simili sono estendibili a strumenti della stessa categoria di cui non riportiamo per brevità le curve caratteristiche. Dagli scarti diagrammati in Figura 25, notiamo che il posizionamento stand alone è migliore che nel precedente caso mass market: nel 95% dei casi gli scarti sono contenuti entro i 2.5 m. In questo ricevitore non è disponibile la correzione EGNOS ma le correzioni differenziali sul solo codice in modalità VRS (RTCM 2.x – messaggi 1-2) porta gli scarti a valori massimi di 1 m nel 95% dei casi. Sensibile miglioramento si ha con correzioni di fase (RTCM 2.x e messaggi 18 e 19), specie se proveniente da VRS invece che da stazione reale. I valori degli scarti in questi casi si attestano sotto il metri nel 95% dei casi.

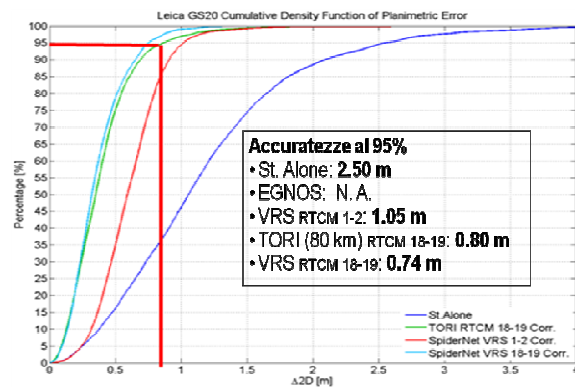


Figura 25. ricevitore GIS Leica GS20

In ricevitori a singola frequenza la precisione sub metrica in tempo reale è dunque raggiungibile, anche senza il fissaggio dell'ambiguità, con l'utilizzo di correzioni differenziali di codice e fase; sensibili vantaggi si hanno con la tecnica della VRS.

I ricevitori palmari possono essere anche usati per baseline statiche, per migliorare la precisione della posizione, anche se a prezzo di uno stazionamento sul punto. Quali precisioni possiamo aspettarci e con quali tempi di stazionamento? Osserviamo i risultati dell'esperienza che segue.

Un file di dati di codice e fase in singola frequenza della durata di 24 ore, campionato a 1 s, è stato suddiviso in "pacchetti" di

10 e 20 minuti (Figura 26), utilizzati per calcolare le baseline rispetto ad una stazione:

- Reale, posta a distanza di 30 km dal rover;
- Reale, posta a distanza < 1 km dal rover;
- Virtuale VRS, (baseline nulla), generando un file rinex virtuale nella posizione approssimata del rover

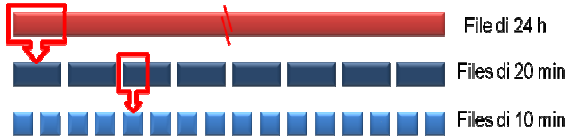


Figura 26. File giornaliero diviso in “pacchetti” di 10 e 20 min

Partiamo ad analizzare i risultati del ricevitore mass market uBlox4. Dalla stazione GPS posta a 30 km, gli scarti rispetto alla posizione nota risultano entro 1 m nel 95% dei casi (Figura 27). Non si arriva mai al fissaggio dell’ambiguità di fase e non si osservano miglioramenti della precisione utilizzando pacchetti da 10 o 20 minuti di dati.

Risultati analoghi si ottengono con ricevitori a singola frequenza, più costosi ma, ovviamente, con scarti inferiori (80 cm nel 95% dei casi) e la possibilità di arrivare talvolta al fissaggio dell’ambiguità di fase (Figura 28). Per questa classe di ricevitori, le precisioni ottenibili in modalità statica con baseline di 10 minuti, non differiscono sostanzialmente da quelle che si possono ottenere in tempo reale in modalità differenziale (Figura 25).

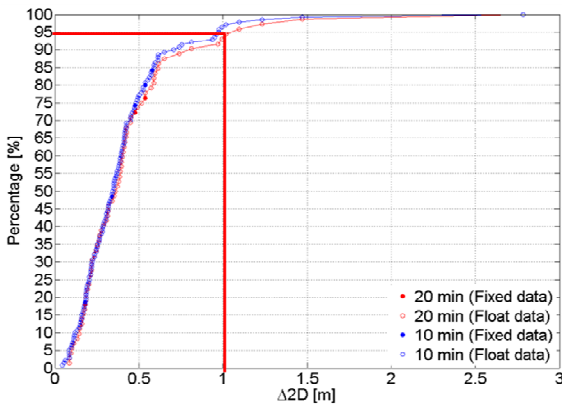


Figura 27. Scarti post elaborazione con ricevitore mass market uBlox4 da stazione base “reale”

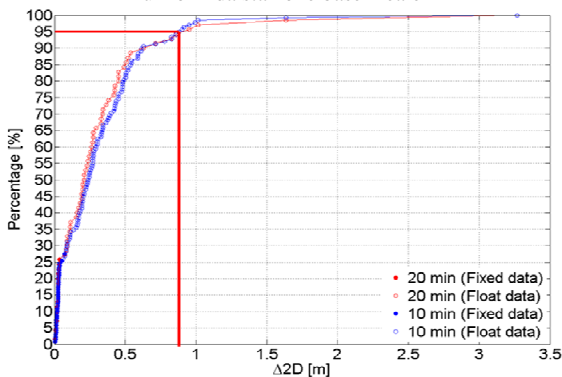


Figura 28. Scarti post elaborazione con ricevitore singola frequenza da stazione base “reale”

È però proprio nel posizionamento statico che con questi ricevitori si apprezzano i vantaggi offerti dalle reti di stazioni permanenti: andiamo infatti a generare un file di dati RINEX virtuale, come prodotto della rete RTK, nella posizione approssimata del ricevitore rover ed elaboriamo le baseline suddivise in pacchetti da 10 minuti ottenute col ricevitore uBlox4. Dal grafico di Figura 29 si desume che con questo ricevitore mass market si può arrivare al fissaggio dell’ambiguità di fase nell’80% dei casi, con scarti delle coordinate rispetto alla posizione nota di pochi cm o mm. Le rimanenti soluzioni di tipo FLT, mostrano scarti che al massimo raggiungono 20 cm, nel 95% dei casi (Figura 29).

Non tutti i ricevitori mass market hanno però le stesse prestazioni. Per motivi di mercato alcuni di loro privilegiano l’accuratezza, altri la possibilità di poter realizzare in tutti i casi un posizionamento, anche in condizioni critiche di ricezione. Con un ricevitore GARMIN è stato acquisito un file con dati di codice e fase in singola frequenza, utilizzando in maniera “anticonvenzionale”. Un PC con il software Rhinorover ha permesso tale acquisizione. L’elaborazione delle baseline da 10 minuti, mostra in questo caso che solo basse percentuali (3%) di soluzioni arrivano al fissaggio dell’ambiguità e le soluzioni tipo FLT hanno scarti, rispetto alla posizione reale, entro i 90 cm nel 95% dei casi (Figura 29). I ricevitori mass market possono dunque avere performance molto diverse in relazione alla qualità delle misure di fase. Queste differenze sono meno rilevabili nei ricevitori singola frequenza.

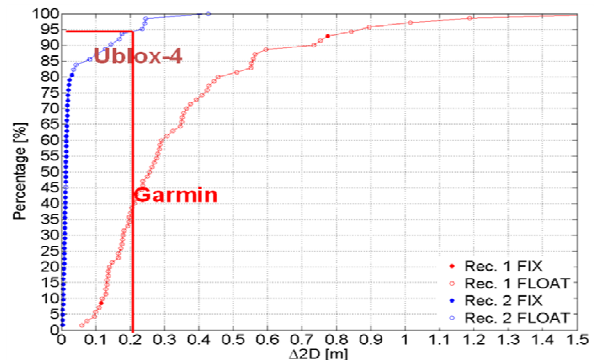


Figura 29. Scarti post elaborazione con ricevitore mass market da stazione base “virtuale”

Risultati simili a quelli ottenibili da VRS si trovano analizzando il posizionamento in post elaborazione da una stazione posta a distanza minore di 1 km dal rover. La precisione centimetrica è ottenibile nelle componenti planimetriche (Figura 30) mentre in quelle altimetriche il sistematismo riscontrato di 10 cm è legato alla posizione non calibrata del centro di fase dell’antenna esterna (Figura 31). Da tale dato è possibile derivare una sorta di calibrazione per determinarla la posizione del centro di fase dell’antenna esterna.

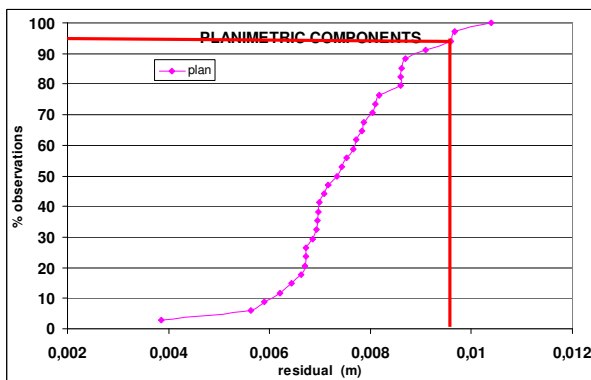


Figura 30. Baseline statica (< 1km) – scarti planimetrici

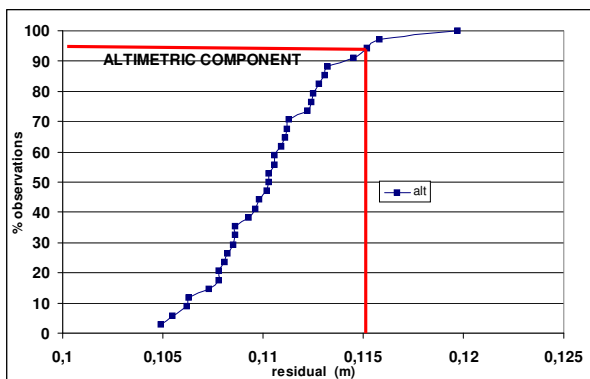


Figura 31. Baseline statica (< 1km) – scarti altimetrici

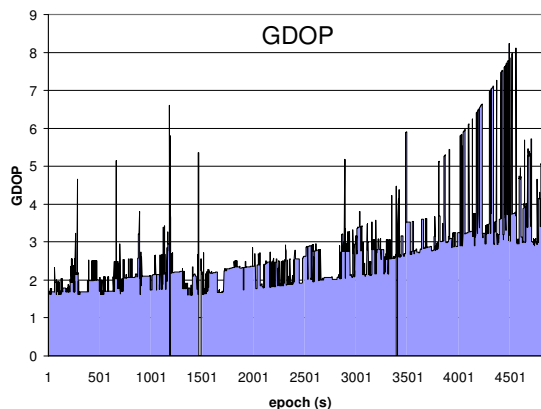


Figura 32. GDOP in indoor

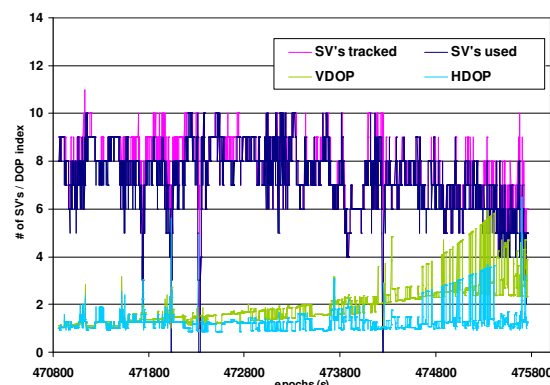


Figura 33. SV tracciati in indoor

### 3.3 Esperienze di posizionamento indoor

Nella tipologia dei ricevitori mass market, alcuni offrono prestazioni molto interessanti, in termini di accuratezza *outdoor*, ma consentono anche di effettuare posizionamenti *indoor*.

L'elevato grado di sensibilità (-160 dBHz) riscontrabile su questi strumenti delle ultime generazioni, consente di ricevere e correlare segnali anche molto deboli. Anche se a discapito della qualità del segnale, ciò consente di effettuare il tracciamento di satelliti anche in ambienti ostili e chiusi, permettendo così di arrivare ad un posizionamento indoor. I primi test svolti dagli autori, hanno iniziato a delineare potenzialità e limiti di questa tecnologia.

Un primo aspetto interessante è il numero di satelliti tracciato e la loro configurazione geometrica (DOP), rilevabili durante. In un test durato circa 1,5 ore, eseguito all'interno di una struttura chiusa e poco finestrata, si è rilevata una continuità di tracciamento di satelliti, con un valore medio di satelliti in vista pari a 7. Dopo aver verificato la disponibilità di satelliti visibili, è stata fatta un'analisi sulla qualità del segnale ricevuto.

L'elevata sensibilità e la correlazione del segnale più approssimata, che comporta quindi un misura di fase più rumorosa è ben evidenziata dall'andamento del parametro SNR (*signal noise ratio*), stimato come rapporto tra la potenza del segnale ricevuto rispetto alla potenza di riferimento. L'andamento del SNR è riportato in Figura 34.

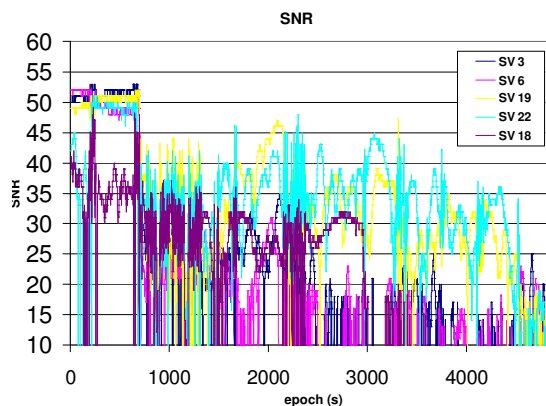


Figura 34. SNR: confronto outdoor-indoor

Il test, svolto per la prima parte in *outdoor* e successivamente in completo ambiente *indoor*, mostra come il segnale venga degradato in questo secondo caso, per l'effetto dovuto al multipath. Si rileva infatti un valore medio di 50 dBHz in esterno, (valore standard di un ricevitore GNSS in *outdoor*),

mentre sullo stesso satellite, il valore SNR degrada a un valore medio di 25 dBHz, quindi 25 volte inferiore in ambiente chiuso.

Facendo analisi sulle accuratèzze nel posizionamento indoor, si evince che, al momento, le prestazioni massime raggiungibili sono quelle paragonabili ad una soluzione di codice in modalit  *stand alone* (metrica), anche con sessione di misura statica o con posizionamenti relativi e baseline di limitata lunghezza.

Nella Figura 35, a titolo di esempio, viene riportato il tracciato rilevato in indoor, confrontato con le due traiettorie di riferimento. Si nota come l'utilizzo di un filtro di Kalman all'interno del ricevitore aiuti a determinare una traiettoria poco deviata, ma che soffre di una bassa accuratèzza, in quanto le misure di fase non vengono considerate. Le traiettorie risultano infatti traslate rispetto al valore di riferimento di alcuni metri, sia con la soluzione PVT sia in modalit  di post elaborazione.

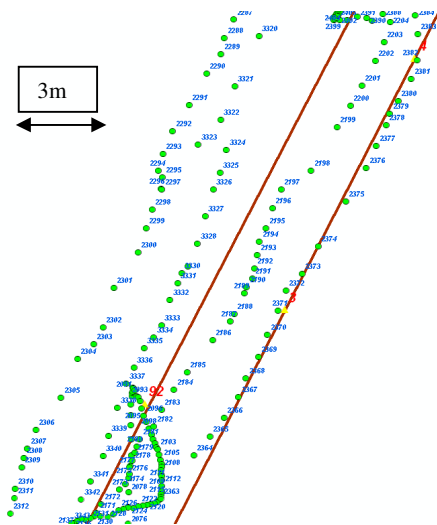


Figura 35. Esempio di soluzione PVT in indoor

## CONCLUSIONI

In questi ultimi anni abbiamo assistito a cambiamenti notevoli nei sistemi di posizionamento satellitare, e nella tecnologia strumentale. Sicuramente di notevole interesse sono i ricevitori palmari che hanno dimostrato di possedere potenzialit  superiori alle funzioni su di essi implementate.

Nell'utilizzo statico, pur non essendo paragonabili ai pi  sofisticati ma anche costosi ricevitori geodetici, possono per  arrivare alle precisioni sufficienti all'istituzione di piccole reti di raffittimento per appoggi cartografici con precisioni centimetriche e tempi di acquisizione di mezz'ora, paragonabili a quelli classici della tecnica rapido-statica in singola frequenza.

Pur potendo essere disponibile in tempo reale la posizione DGPS, si   visto che i migliori risultati, che portano ad errori di pochi decimetri nelle coordinate, si ottengono mediando i dati di posizione anche solo per pochi minuti.

Nei ricevitori mass market l'uso delle correzioni di rete non   migliorativa rispetto alle correzioni EGNOS ma in post elaborazione si possono ottenere precisioni decimetriche o addirittura centimetriche, a seconda del ricevitore, con sessioni anche solo di 10 minuti.

Ricevitori palmari singola frequenza sono la soluzione migliore per applicazioni cartografiche e GIS a costi per  pi  elevati. In questi ricevitori la qualit  del posizionamento migliora sensibilmente utilizzando le correzioni da rete rispetto alle correzioni da singola stazione, specie con le misure di fase. Per entrambe le categorie di ricevitori, l'uso di file RINEX virtuali generati da rete di stazioni permanenti migliora la qualit  del posizionamento rispetto alla soluzione da singola stazione e rende possibile il fissaggio delle ambiguit  di fase anche con ricevitori basso costo. In questo contesto, il posizionamento indoor   uno degli ultimi argomenti in ordine di tempo, che occorrer  studiare e capire, per ampliare ulteriormente i capi di applicazione della tecnica GNSS.

## RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento va a tutti coloro che in questi anni hanno collaborato nei test e sperimentazioni, in particolare agli ingg. Chiara Porporato, Mattia De Agostino e al prof. Horea Bendea, che in questi ultimi anni hanno dato il loro contributo al fine di ottenere i risultati in parte qui esposti.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Retscher and Fu Q. , "Continuous Indoor Navigation with RFID and INS", IEEE PLANS 2010 proceeding, , Palm Springs - CA- USA.
- [2] C. Kessler, C. Ascher and G. F. Trommer, "Vision-Based Attitude Estimation for Indoor Navigation using Vanishing Points and Lines", IEEE PLANS 2010 proceeding, Palm Springs - CA- USA.
- [3] CINA A., PIRAS. M; Indoor positioning using low cost GPS receivers: Tests and statistical analyses in Proceedings of the 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Mautz, R., Kunz, M. and Ingensand, H. (eds.), IEEE Xplore, 971 p. IEEE Catalog Number: CFPI009J-ART ISBN: 978-1-4244-5864-6, Digital Object Identifier: 10.1109/IPIN.2010.5648185
- [4] M. Piras, G. Marucco and K .Charqane, "Statistical analysis of different low cost GPS receivers for indoor and outdoor positioning", in Omnipress, IEEE/PLANS 2010 Proceedings, Palm Springs, CA-USA.
- [5] M. Baldo, A. Cina, A. Manzano, M. Roggero, "Utilizzo geodetico e in tempo reale di ricevitori GPS di basso costo". Atti Conferenza nazionale ASITA, 5-8 novembre, 2002 Perugia, Vol. 1, pagine da 273 a 278
- [6] A. Cina, A. Manzano, M. Roggero, "Stazioni virtuali di codice". Atti Conferenza nazionale ASITA, 15 - 18 novembre 2001, Rimini
- [7] Piras M., Marucco G., Cina A., Mass-Market Receiver for Static Positioning: Tests and Statistical Analyses, in Coordinates, ISSN 0973-2136, In stampa
- [8] De Agostino M., Lingua A., Nex F., Piras M.: A novel visual based navigation approach dedicated to low cost MMS , in Omnipress, IEEE/PLANS 2010 Proceedings, Palm Springs, CA- USA 4-6 Maggio 2010, Digital Object Identifier: 10.1109/PLANS.2010.5507286 Publication Year: 2010 , pp: 1238 - 1244



**Edizioni SIFET**  
**ISBN 88-901939-6-4**

Finito di stampare nel Febbraio 2011 presso Pixart srl. Mestre (Ve)





**Edizioni SIFET**  
**ISBN 88-901939-6-4**  
**Febbraio 2011**