



**STIMA DELL' ACCURATEZZA DEL DRIFTER
TIPO CODE CON GPS NELLA
DETERMINAZIONE DELLA POSIZIONE
GEOGRAFICA**

R. BARBANTI, R. IUNGWIRTH & P.-M. POULAIN

Approvato da:

Dr Alessandro Crise
Direttore, Dipartimento di Oceanografia

SOMMARIO

1. Introduzione	3
2. Il sistema GPS.....	3
3. Metodi	4
4. Risultati.....	6
2.2 Dati grezzi	6
2.2 Dati ridotti ogni ora	7
2.2 Distanze rispetto al punto di riferimento	9
5. Conclusioni	15

1. Introduzione

Questi sono i risultati di un esperimento condotto al fine di stimare l'accuratezza nella determinazione della posizione geografica della boa lagrangiana tipo "CODE" dotata di ricevitore GPS (costruito da Technocean, Cape Coral, FL), chiamata anche "Argo Drifter", "Davis drifter", "SCULP" o "Shallow Water drifter". Una breve introduzione al sistema GPS è presente nel capitolo 2, la strumentazione utilizzata e la metodologia adottata nello studio è illustrata nel capitolo 2, i dati raccolti e i risultati dell'analisi statistica sono presenti nel capitolo 3 e nel capitolo 4 sono esposte le conclusioni.

2. Il sistema GPS

Il sistema GPS ("Global Positioning System") è un sistema di determinazione delle coordinate geografiche di punti. Si basa su una intersezione in avanti spaziale al punto di coordinate incognite da un certo numero di satelliti di posizione nota. Utilizza satelliti della classe NAVSTAR (il "NAVigation Satellite for Timing And Ranging") di proprietà del Dipartimento della Difesa USA. I satelliti utilizzati sono 24, che ruotano in 6 orbite inclinate di 55 gradi rispetto al piano equatoriale e garantiscono una ottima copertura di tutto il pianeta con un'elevata precisione. Essi compiono in circa 12 ore orbite quasi circolari ad una altezza di circa 20.200 Km. Ogni satellite GPS è dotato di vari orologi atomici molto accurati che operano alla frequenza di 10,23 MHz, utilizzati per generare in continuazione i segnali radio. I segnali radio trasmessi sono 2: L1 a 1575,42 MHz e L2 a 1227,60 MHz. Il sistema è controllato da stazioni monitor situate a terra a Diego Garcia, all'Isola di Ascension, alle Hawaii e in una stazione master al "Consolidated Space Operations Center" a Colorado Springs, in Colorado. Lo scopo di questo sistema di controllo è quello di monitorare lo stato di salute dei satelliti, determinare le loro orbite ed il comportamento degli orologi atomici, ed inviare il messaggio radio ai satelliti. I ricevitori a terra elaborano i codici e le fasi dei segnali trasmessi dai satelliti ed estraggono anche il messaggio radio. Il GPS utilizza la triangolazione (trilaterazione) dei satelliti, che devono essere almeno 4, per determinare un punto sulla Terra. Il principio su cui si basa tale metodologia è sostanzialmente fondato sulla misura dell'intervallo di tempo che il segnale inviato da un satellite impiega per coprire la distanza Satellite-Terra, ed essere quindi captato dal ricevitore posizionato nel punto di cui si vogliono conoscere le coordinate. Si analizzano

infine i vari errori dovuti alla propagazione del segnale nell'atmosfera e alla geometria dei satelliti.

3. Metodi

Abbiamo adottato un sistema costituito da un drifter CODE (<http://www.technocean.com>), dotato di ricevitore GPS del tipo Laipac TF10 (http://www.laipac.com/gps_tf10_eng.htm) e da un GPS NovAtel come riferimento, posizionati sul tetto della palazzina OGA dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica, OGS (figura 1).

Le coordinate medie nel sistema di coordinate WGS84 del punto occupato dal GPS NovAtel sono: 45° 42' 38.726" N e 13° 45' 44.931 "E , con un PDOP ("Position Dilution of Precision")¹ medio che nel periodo è stato di 2.95 m. Il drifter era posizionato a 2.32m verso 206° N dal GPS Novatel, quindi le sue coordinate sono state: 45° 42' 38.659" N e 13° 45' 44.899" E.

Il drifter CODE è progettato per misure di corrente e temperatura in superficie (1 m). E' costituito da un tubo centrale sigillato che contiene il blocco alimentatore e l'elettronica che ha una durata di funzionamento nominale di 9 mesi. Sopra al tubo vi sono due antenne che sporgeranno fuori dalla superficie marina una volta in acqua (una del sistema ARGOS, l'altra di tipo attivo, del GPS). Attorno al tubo, in alto ed in basso sporgono 8 bracci caricati a elastico posizionati ortogonalmente tra loro, sui quali sono fissate le 4 "vele". Sulle estremità dei bracci superiori si trovano 4 sfere galleggianti collegate a circa 10 cm da essi.

Nella stessa figura 1 è documentata anche l'operazione di "accensione" del drifter attraverso la rimozione del magnete. Avvenuta tale rimozione, la boa trasmetterà una volta, dopodiché inizierà ad acquisire la sua posizione. Ciò avverrà in un tempo di circa 15 minuti, per permettere

¹ Il PDOP descrive gli effetti della geometria con precisione di posizionamento tridimensionale. Questo è definito come la radice quadrata della somma delle tre diagonali di una matrice di covarianza normalizzata ("assume measurement noise =1") che corrisponde ad un errore di posizione.

al ricevitore GPS di scaricare l'almanacco². Una volta determinata la sua posizione, il drifter inizierà a trasmettere messaggi ogni 90 s circa. La posizione GPS verrà aggiornata alla parte superiore dell'ora (UTC) ed il voltaggio della batteria verrà aggiornato una volta ogni ora. La boa è configurata per fornire le posizioni aggiornate ogni ora. Archivia 8 posizioni e la temperatura superficiale. Trasmette questi dati in 4 messaggi unici in cui, ogni messaggio contiene 2 posizioni, la temperatura superficiale e i dati di tensione della batteria. Nel drifter il sistema ARGOS oltre a determinare la posizione geografica è utilizzato anche per la telemetria dei dati dei sensori (temperatura, voltaggio, GPS).

In questo esperimento le misure sono state effettuate per circa 2 settimane con un intervallo di campionamento di un'ora, dal 10 al 24 Marzo 2005.

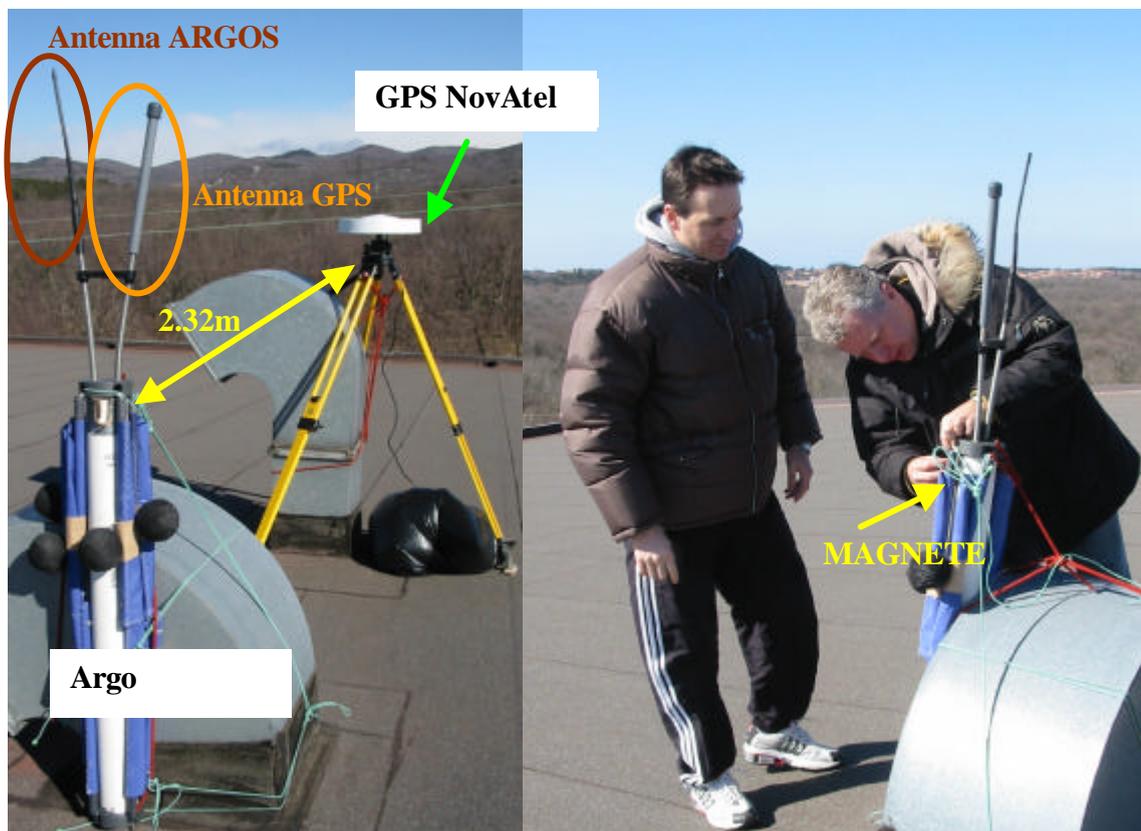


Figure 1. Sistema di misura drifter CODE/GPS + GPS NovAtel e operazione di accensione del drifter attraverso la rimozione del magnete.

² Ogni satellite trasmette a terra un messaggio, codificato tramite il suo "nome" (il codice) ; questo messaggio, chiamato almanacco contiene i dati relativi alle orbite dei satelliti (effemeridi) ed altri dati caratterizzanti il satellite.

4. Risultati

2.2 Dati grezzi

I drifter forniscono in media 15 volte la stessa posizione in un intervallo di un'ora. La quantità di posizioni trasmesse per intervalli di un'ora e la totalità dei dati raccolti è mostrata in (figura 2 a,b). Alcune caratteristiche statistiche dell'insieme di dati sono riportate in tabella 1.

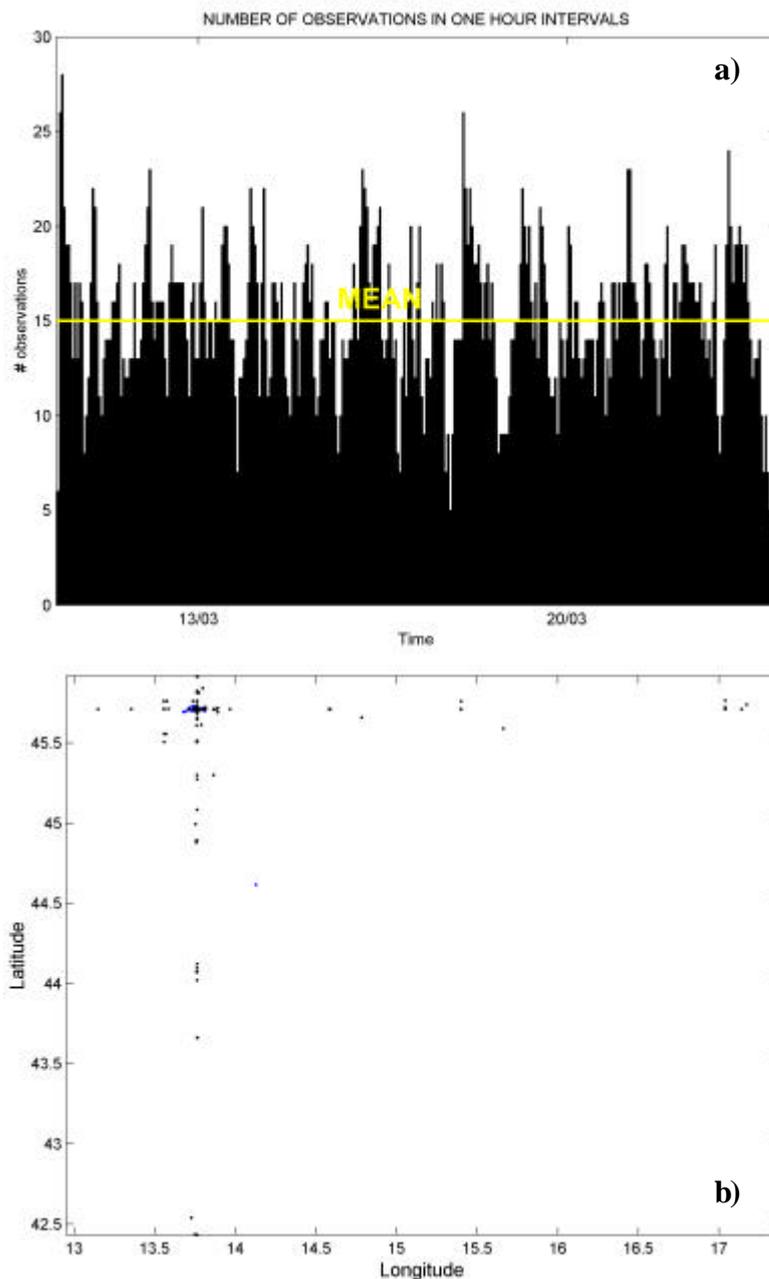


Figure 2. a) Quantità di misure per intervalli di un'ora, b) posizioni totali GPS misurate dal drifter.

	LONGITUDINE	LATITUDINE
Numero di dati (Count, N. of data)	4872	4872
Minimo (Minimum)	13.1481	42.4339
Massimo (Maximum)	17.1709	45.9167
Intervallo (Range)	4.0228	3.4828
Media aritmetica (Mean)	13.7741	45.7001
Mediana (Median)	13.7625	45.7108
Varianza (Variance, Mean square)	0.0342	0.0223
Deviazione standard (Standard deviation)	0.1850	0.1492
Errore standard (Standard error)	0.0000	0.0000
Curtosi (Kurtosis)	257.3985	283.5711
Assimmetria (Skewness)	15.5153	-15.6839

Tabella 1. Statistica della distribuzione totale delle misure GPS del drifter.

2.2 Dati ridotti ogni ora

Dopo aver effettuato una mediana dei dati per ogni intervallo di un'ora e avere eliminato un dato che risultava fuori l'intervallo stabilito dalla media +/- tre volte la deviazione standard dei dati, otteniamo la distribuzione di figura 3. In blu sono rappresentati parte delle misure ottenute con sistema ARGOS, in nero quelle ottenute con sistema GPS, in verde il valore medio e il punto rosso la posizione mediana. Inoltre nell'ingrandimento della stessa figura abbiamo evidenziato con un punto magenta la posizione della boa misurata dal GPS NovAtel. In figura 4 mostriamo l'istogramma delle frequenze assolute per ciascuna posizione misurata dal drifter.

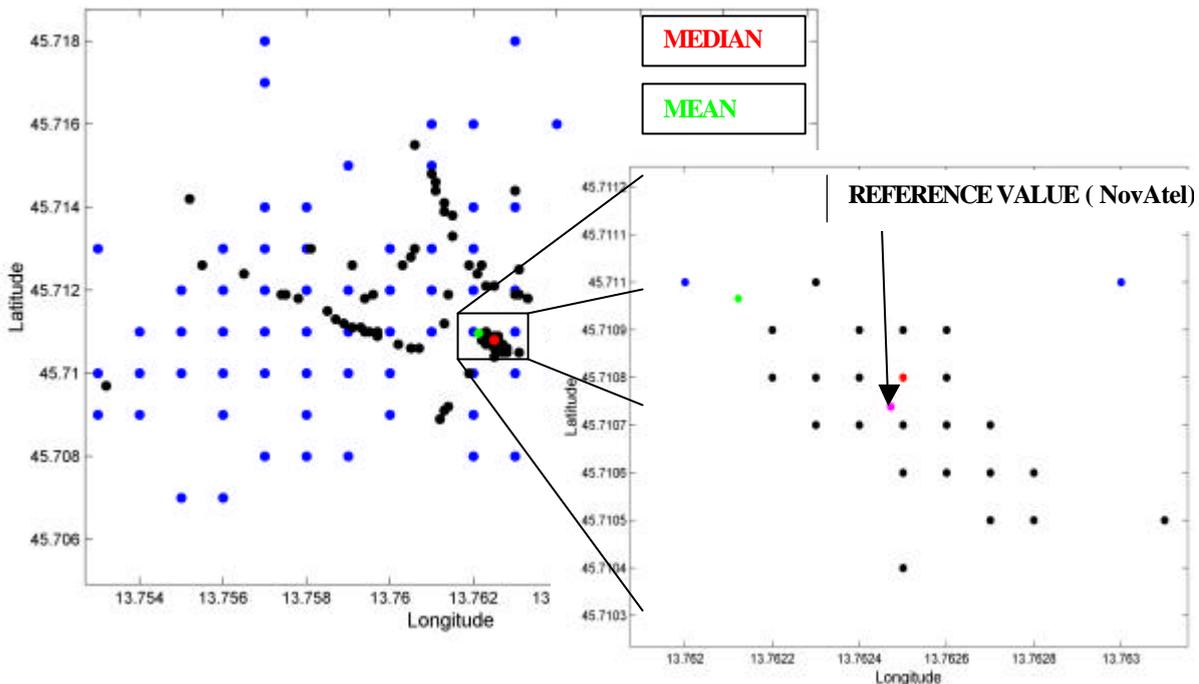


Figure 3. In nero, posizioni GPS del drifter, in blu posizioni ARGOS

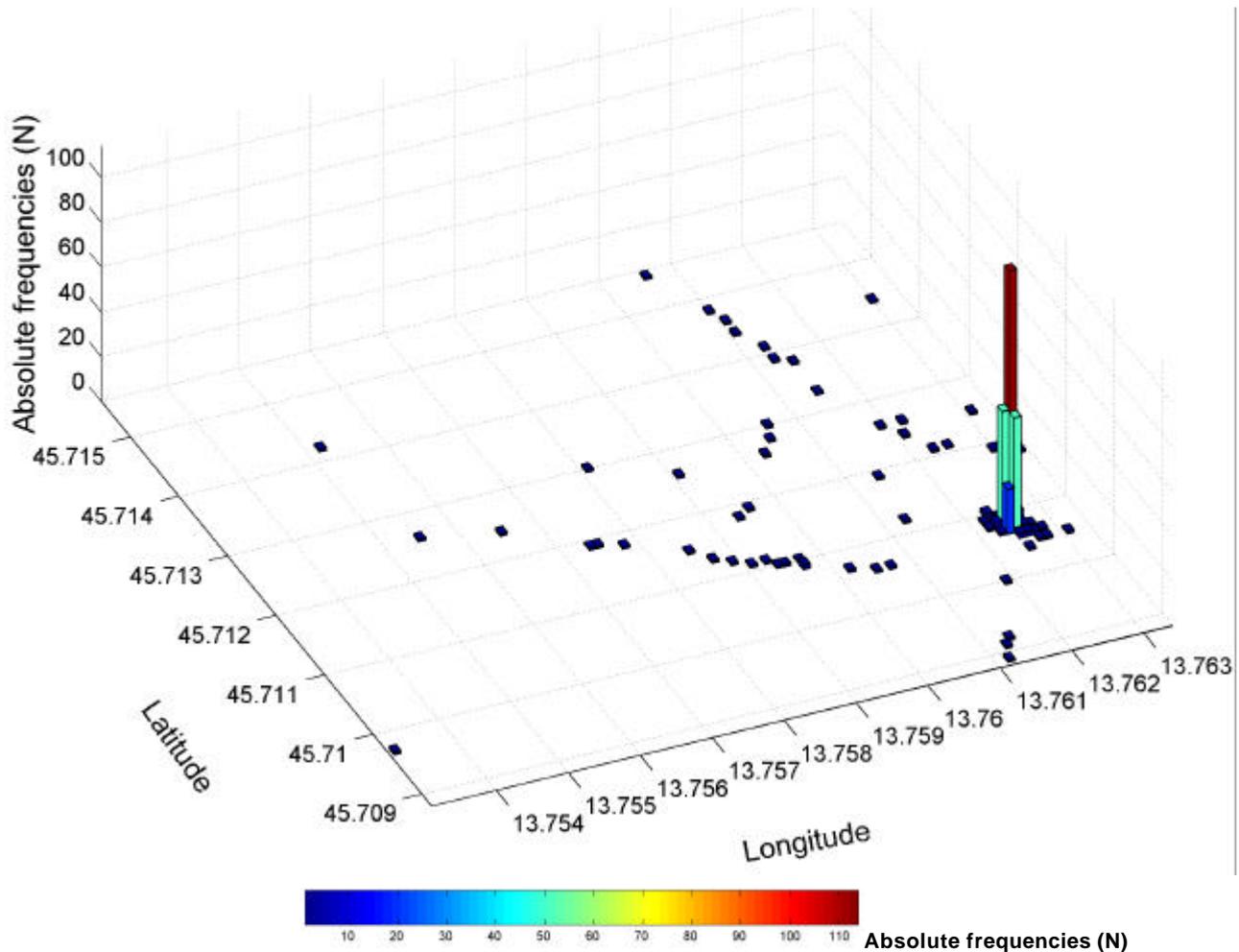


Figura 4. Istogramma delle frequenze assolute per ciascuna posizione geografica GPS misurata dal drifter.

Alcune caratteristiche statistiche del nuovo insieme di dati sono riportate in tabella 2.

	LONGITUDINE	LATITUDINE
Numero di dati (Count, N. of data)	328	328
Minimo (Minimum)	13.7532	45.7089
Massimo (Maximum)	13.7633	45.7155
Intervallo (Range)	0.0101	0.0066
Media aritmetica (Mean)	13.7621	45.7110
Mediana (Median)	13.7625	45.7108
Varianza (Variance, Mean square)	1.4033e-006	5.5755e-007
Deviazione standard (Standard deviation)	0.0012	0.0007
Errore standard (Standard error)	3.6116e-006	2.2766e-006
Curtosi (Kurtosis)	19.0241	12.9328
Assimmetria (Skewness)	-4.0440	3.2451

Tabella 2. Statistica della distribuzione delle misure GPS del drifter dopo aver mediato a intervalli di un'ora.

In figura 5 mostriamo i box plot delle serie di dati di Longitudine e Latitudine della boa: la linea rossa rappresenta la mediana, i limiti del “box” rappresentano la distanza interquartile (cioè corrispondente alla distanza tra 25° e il 75° percentile), i segni + indicano gli “outliers” (sono considerati tali le misure che stanno fuori l’intervallo dato dalla mediana +/- tre volte la distanza interquartile). Dal grafico si nota l’ asimmetria nelle distribuzioni.

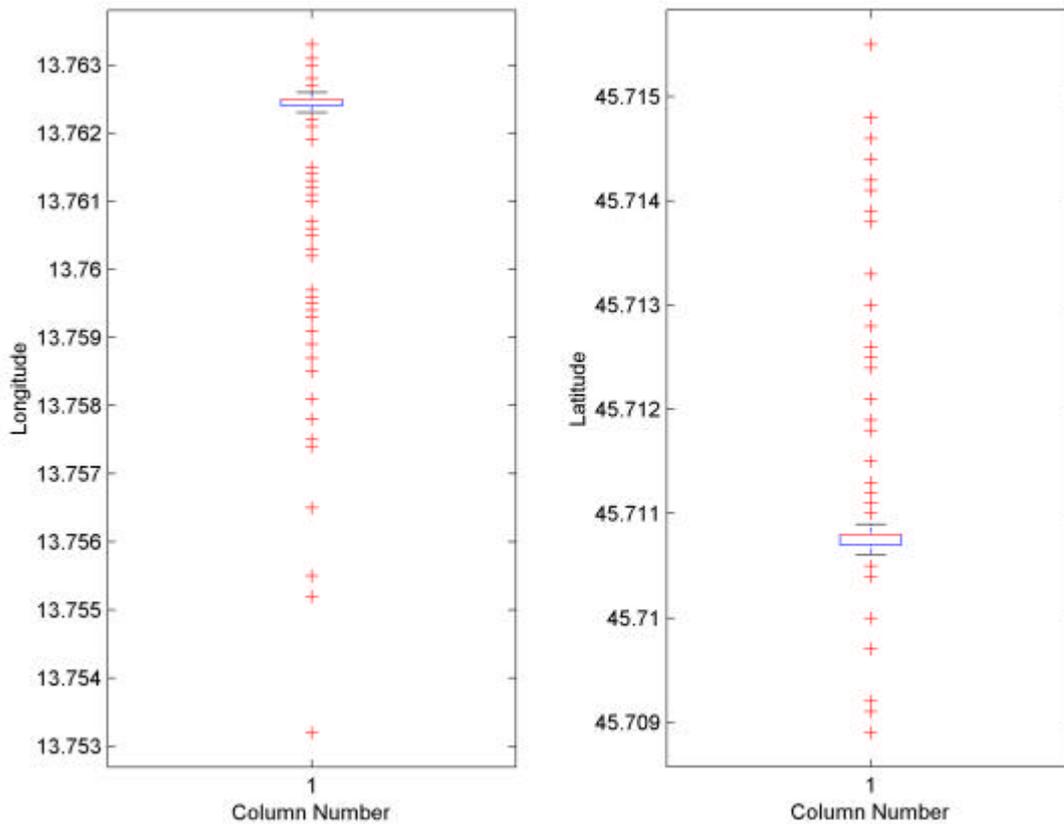


Figura 5. Box plot delle serie di dati di Longitudine e Latitudine.

2.2 Distanze rispetto al punto di riferimento

I dati misurati dal drifter sono stati convertiti in distanze dal punto medio del GPS Novatel di riferimento. Alcune caratteristiche statistiche della distribuzione delle distanze sono riportate in tabella 3.

	ZONAL	MERIDIONAL
Minimo (Minimum)	-719.9365	-204.4434
Massimo (Maximum)	64.2934	529.4440
Intervallo (Range)	784.2299	733.8874
Media aritmetica (Mean(x))	-27.1748	25.2688
Mediana (Median(x))	2.1783	6.8258
Varianza (Variance, Mean square)	8459.5733	6893.8180
Deviazione standard (Standard deviation)	91.9759	83.0290
Errore standard (Standard error)	1.2599	1.1374

Tabella 3. Statistica della distribuzione delle distanze (in metri) ottenute per differenza tra le misure GPS del drifter e il valore di riferimento.

In figura 6 mostriamo il grafico delle distanze (in metri) delle posizioni misurate dal drifter rispetto al punto di riferimento e la figura 8, rappresenta un ingrandimento del grafico della figura precedente in cui, in aggiunta, è graficata anche l'ellisse di varianza centrata sulla distanza media (punto in verde) rispetto al riferimento (punto in magenta). L'asse maggiore dell'ellisse (d_1) ha un valore nominale di 103 m ed è orientato a 142° in senso antiorario partendo da est, l'asse minore (d_2) misura 69 m (figura 8). La distanza media dal punto di riferimento è 37 m

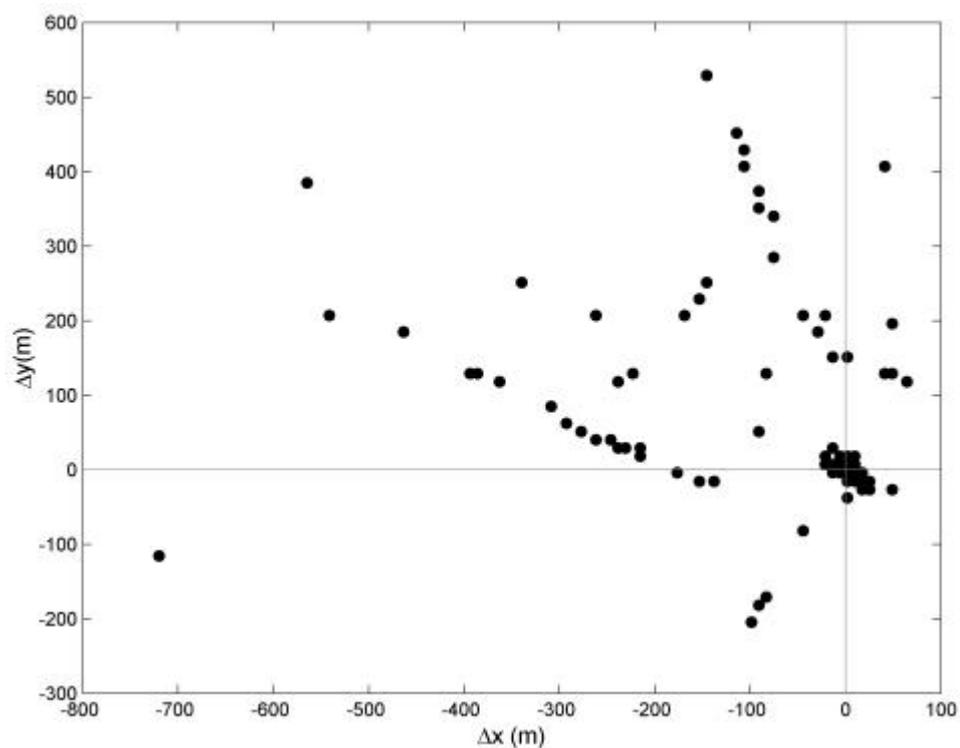


Figura 6. Grafico dei residui calcolati come differenza tra le misure del drifter e la posizione della boa stimata dal GPS NovAtel (punto di [0,0])

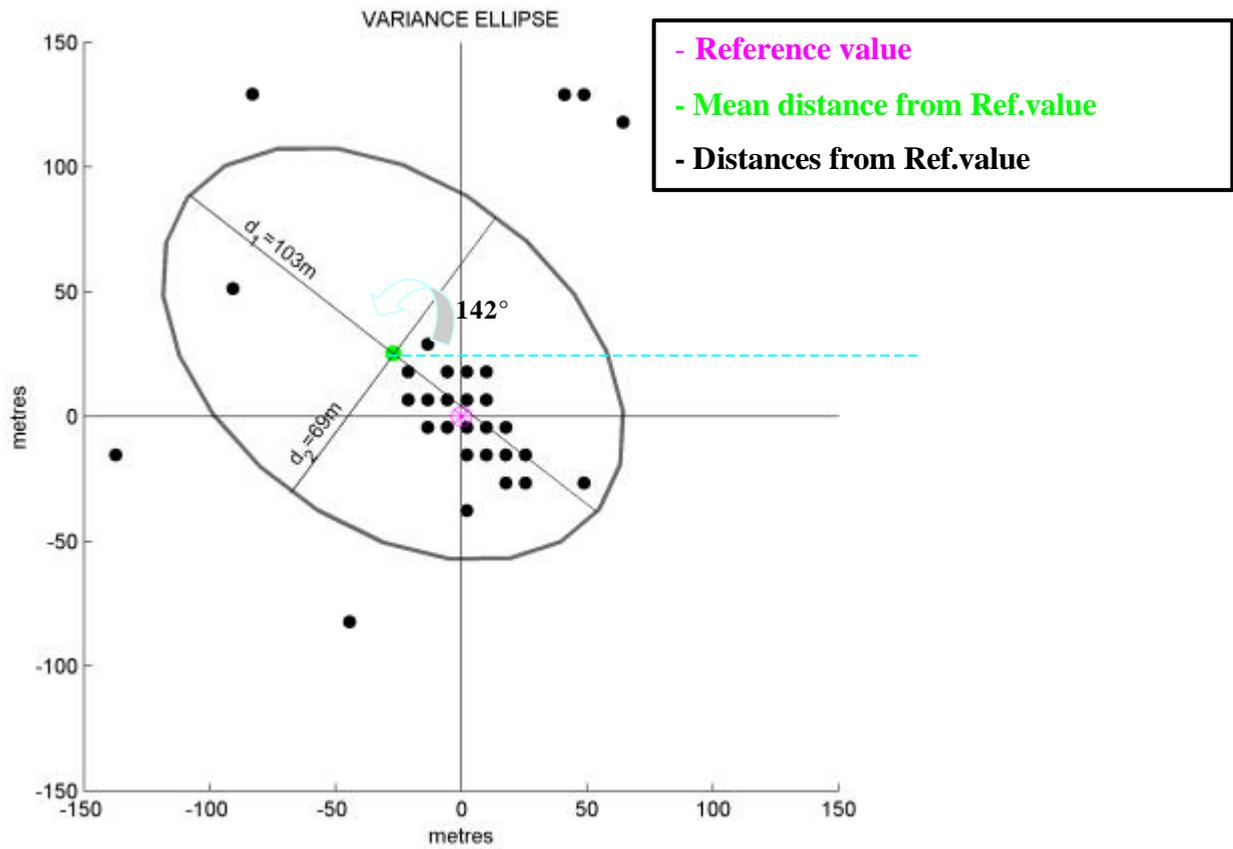


Figura 7. Ellisse di varianza centrata sulla distanza media calcolata rispetto alla posizione geografica di riferimento misurata con GPS Novatel (punto 0,0 nel grafico) ed inclinata 142° rispetto all'orizzontale partendo da destra.

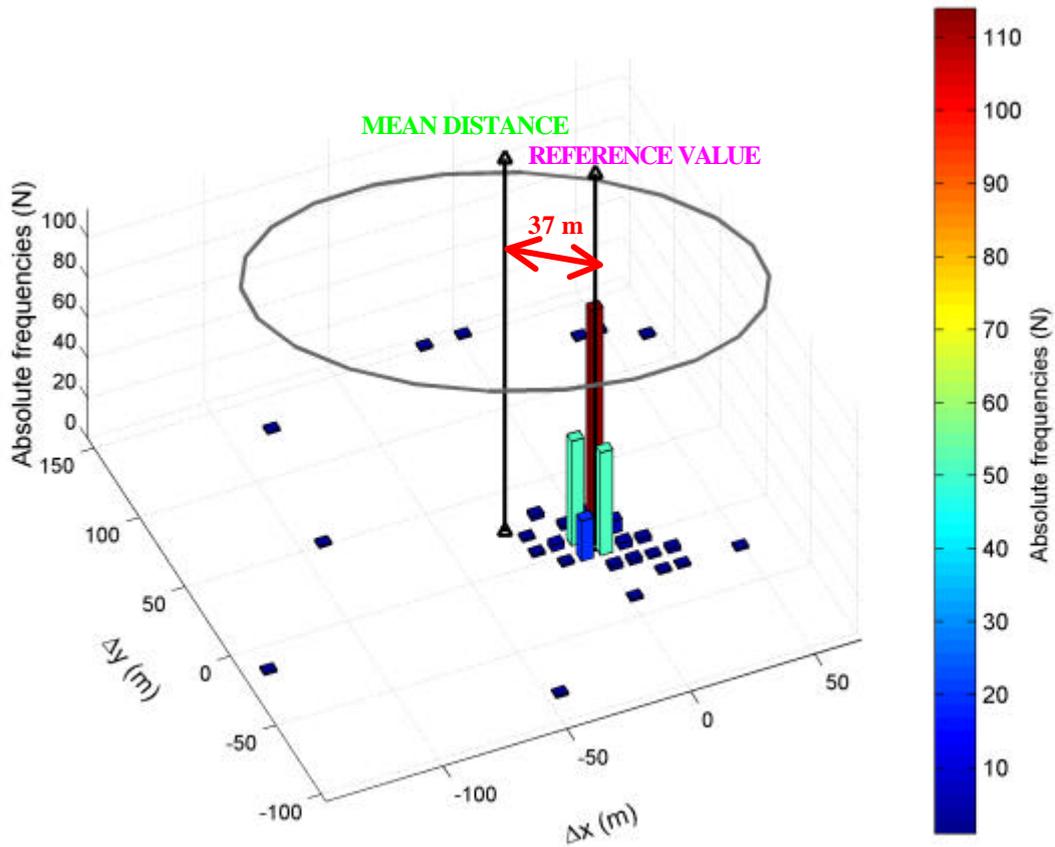


Figura 8. Istogramma delle frequenze assolute delle distanze rispetto alla posizione del drifter stimata dal GPS NovAtel, freccia nera ed ellisse di varianza.

Possiamo eliminare dalla distribuzione gli “outliers” (figura 5), non considerando le misure che stanno fuori l’intervallo dato dalla mediana +/- tre volte la distanza interquartile e calcolare nuovamente l’ellisse di varianza. L’asse principale dell’ellisse calcolata senza dati “outliers” misura 7 m ed è orientato a 110° in senso antiorario partendo da est, l’asse secondario misura 5 m e abbiamo una distanza fra la posizione media del drifter e il punto di riferimento di 4 m (figura 9).

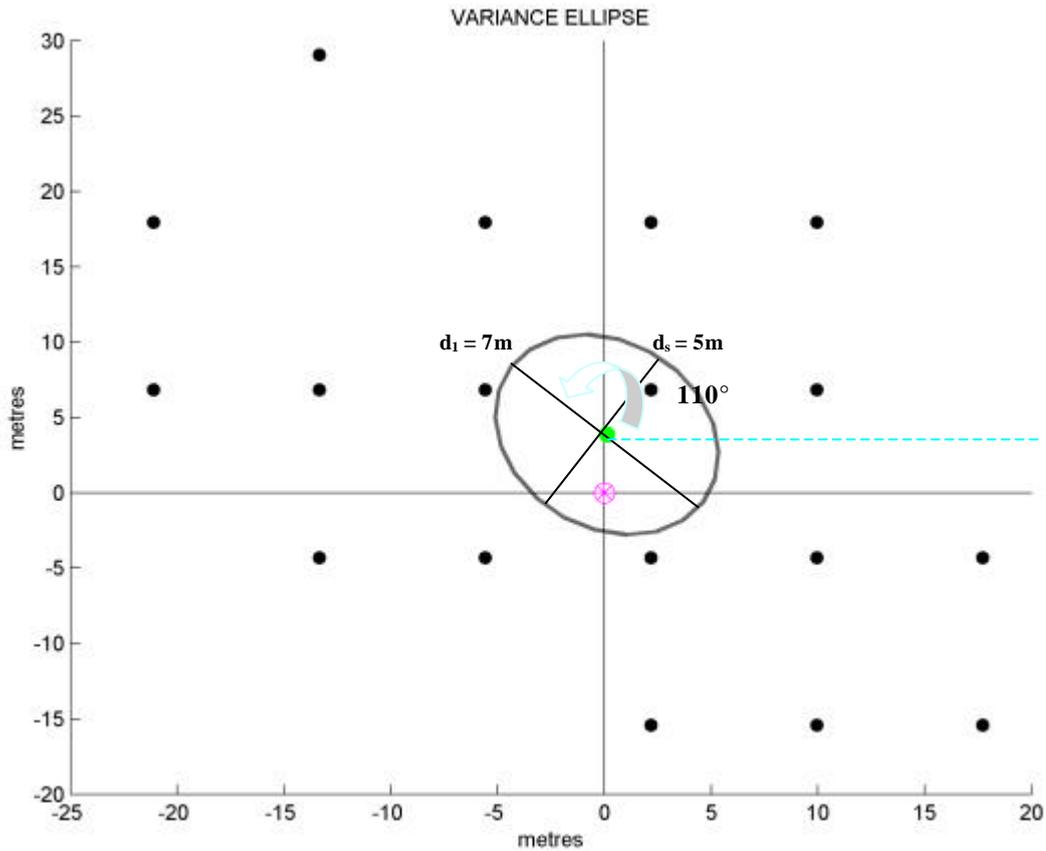


Figura 9. Ellisse di varianza centrata sulla distanza media calcolata, dopo aver rimosso gli “outliers”, rispetto alla posizione geografica di riferimento misurata con GPS Novatel (punto 0,0 nel grafico) ed inclinata 110° rispetto all’orizzontale partendo da destra.

Infine in figura 10a rappresentiamo le frequenze assolute del numero di satelliti presenti durante il periodo di misura, fornite dal GPS NovAtel (riferimento), e in figura 10b è rappresentato il numero di satelliti con la distanza tra le posizioni misurate dal GPS del drifter e quella media misurata dal riferimento. Si vede che la distanza dal punto di riferimento diminuisce con l’aumentare della quantità di satelliti.

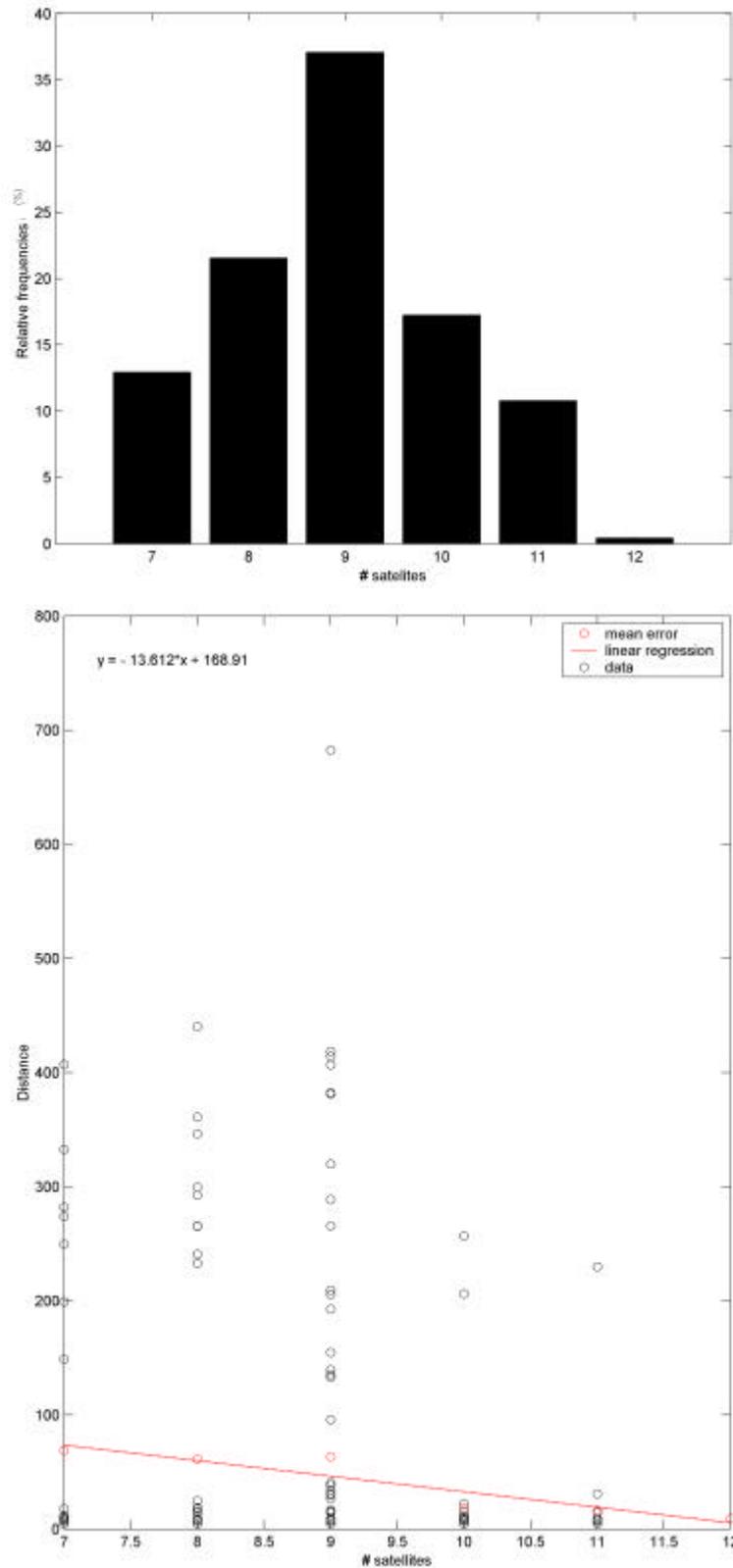


Figura 9. a) Frequenze relative della quantità di satelliti presenti. b) Grafico della distanza dal riferimento (ordinate) rispetto al numero totale di satelliti presenti (ascisse). Il rosso è rappresentato la distanza media e la relativa retta di regressione.

5. Conclusioni

L'analisi dei dati GPS del drifter CODE assieme a quelli forniti da GPS Novatel fatti funzionare sul tetto della palazzina OGA dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica, OGS dal 10 al 24 Marzo 2005 hanno fornito i seguenti risultati:

- 1) Dopo la riduzione dei dati ogni ora e l'eliminazione di uno spike, abbiamo 37 m di distanza fra la posizione media del drifter e il punto di riferimento misurato dal GPS Novatel ed una ellissi di varianza con assi di 109 e 69 metri ed un orientazione di 142° in senso antiorario partendo da est dell'asse principale.
- 2) Dopo l'eliminazione dei punti "outliers", abbiamo 4 m di distanza media dal punto di riferimento misurato dal GPS Novatel e una ellissi di varianza con assi di 7 e 5 metri con asse maggiore orientato 110° in senso antiorario partendo da est.

Pertanto possiamo concludere che le posizioni GPS dei drifter tipo CODE editate prima automaticamente e successivamente manualmente, come previsto dalla procedura di elaborazione dei dati dei drifter (Poulain et al., 2004), ricadono nel caso 2 dei risultati ottenuti in questa analisi. Quindi, riteniamo che le posizioni GPS dei drifter CODE hanno un'accuratezza di meno di 10 metri.

Referenze

Emery, W. J. e Thomson, R. E, "Data Analysis Methods in Physical Oceanography", edited by- Elsevier Science B.V., 319-328, Amsterdam, The Netherlands 2001.

Novatel, "SoftSurv User manual Rev. 4.0", Canada, 1988, 246 pp.

Manzoni, G. e Cefalo R., "Dispensa di GPS, Global Positioning System", Dispense, Università degli studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria Civile Sezione di Strade Trasporti e Topografia, Italy, 73 pp.

Poulain, P.-M., R. Barbanti, R. Cecco, C. Fayos, E. Mauri, L. Ursella and P. Zanasca (2004) "Mediterranean Surface Drifter Database: 2 June 1986 to 11 November 1999".
Rel.78/2004/OGA/31, OGS, Trieste, Italy
(CDROM and http://poseidon.ogs.trieste.it/drifter/database_med)

Ursella L., Barbanti R., and Poulain P.-M, (2004) DOLCEVITA drifter program: Rapporto tecnico finale. 1el. 77/2004/OGA/30, OGS, Trieste, Italy.