

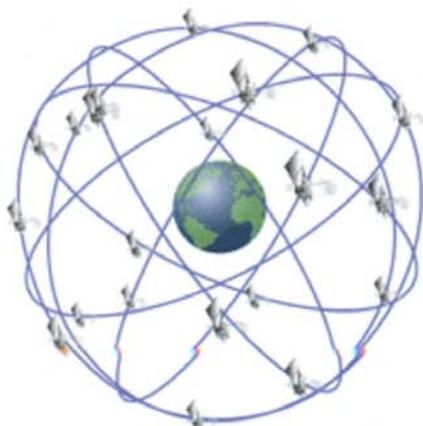
Facciamo il punto... con il GPS

Massimo Ponti, Alessandro Capra

Ritrovare un punto d'immersione, individuarlo su una carta nautica e segnalarlo a qualcun altro, è spesso un'esigenza di molti subacquei, almeno di quelli che si gestiscono le proprie immersioni, così come per le guide dei diving center. Fino a qualche anno fa, per fare il "punto" era necessario applicare tecniche di rilevamento con bussola e di carteggio nautico o, sotto costa, sfruttare gli allineamenti di punti cospicui. Queste sono operazioni validissime ancora oggi ma di difficile applicazione e di scarsa precisione e accuratezza. Oggi i sistemi di posizionamento satellitare GPS, sempre più accurati, precisi ed economici, forniscono a tutti un valido aiuto, ma un loro uso scorretto, senza un minimo di conoscenze sul funzionamento e sui sistemi di coordinate, può portare ad errori grossolani. Spesso i subacquei si lamentano della ridotta accuratezza di questi strumenti e affermano che non consentono di ritrovare esatta-



Un satellite della rete GPS NAVSTAR



Il sistema di satelliti GPS NAVSTAR orbitanti intorno alla Terra.

Modi diversi per esprimere la stessa posizione: tutte le coordinate si riferiscono al medesimo punto rilevato con un GPS palmare sul relitto del "Paguro", Zona di Tutela Biologica in Adriatico settentrionale. Le conversioni tra datum diversi sono state eseguite con un software professionale ma utilizzando parametri di conversione medi.

mente un punto d'immersione. In realtà, con i dovuti accorgimenti, è oggi possibile con uno strumento palmare del valore di poche centinaia di Euro, raggiungere accuratezze "assolute", cioè rispetto all'intera superficie del Pianeta, di una decina di metri!

Il sistema GPS

Col termine GPS (*Global Positioning System*) è indicato un sistema di posizionamento globale satellitare. Il sistema GPS è costituito dai satelliti in orbita, dalle stazioni di controllo a terra e dai ricevitori mobili. La costellazione di satelliti è costituita da una rete 24 satelliti posti a 20.000 km di altezza che percorrono orbite note intorno alla Terra; ciascun satellite invia dei segnali che, captati da appositi ricevitori, consentono di determinare la posizione di un punto

in modo assoluto rispetto alla superficie della Terra. Di queste costellazioni, nate per scopi militari, ne esistono attualmente due, una americana, denominata NAVSTAR (*NAVigation Satellite Timing And Ranging*), e una russa, il GLO-NASS (*GLOBAL NAVigation Satellite System*), ma anche l'Europa si sta dotando di un proprio sistema (Galileo) per rendersi così indipendente dal dipartimento della difesa americano che, in teoria, potrebbe in qualunque momento rendere il sistema inutilizzabile.

I satelliti NAVSTAR sono stati messi in orbita progressivamente dal 1978 e la configurazione completa è stata raggiunta solo nel 1994. Ognuno viaggia alla velocità di circa 12.000 km/h e compie l'orbita completa in 12 ore. I satelliti trasmettono diversi segnali radio codificati a bassa potenza (meno di 50 watts), il segnale ad uso civile ha la frequenza 1.575,42 MHz (banda UHF). Questi segnali sono in grado di attraversare le nuvole e sottili strati di vetro o plastica, ma sono bloccati da qualunque altro ostacolo solido, come muri di palazzi e chiome degli alberi. Quindi è impossibile ricevere i segnali dei satelliti all'interno di abitazioni, di autoveicoli o sott'acqua; anche tra i palazzi di una città, nelle vallate strette e nei boschi ci possono essere difficoltà di ricezione. I satelliti "utili" in un dato momento sono quindi quelli che si trovano sopra l'oriz-

Sistema di coordinate	Datum	Latitudine	Longitudine
Coordinate geografiche DEG	WGS84	N 44,38608°	E 12,58157°
Coordinate geografiche DM	WGS84	N 44° 23,1650'	E 12° 34, 8944'
Coordinate geografiche DMS	WGS84	N 44° 23' 09,90"	E 12° 34' 53,67"
Coordinate geografiche DMS	ED50	N 44° 23' 13,25"	E 12° 34' 57,13"
Coordinate geografiche DMS	ROMA40	N 44° 23' 07,35"	E 12° 34' 54,32"
Coordinate UTM fuso 33N	WGS84	+ 4'917'600 m	+ 307'365 m
Coordinate UTM fuso 33N	ED50	+ 4'917'792 m	+ 307'436 m
Coordinate UTM fuso 33N	ROMA40	+ 4'917'612 m	+ 307'368 m
Coordinate GAUSS-BOAGA	ROMA40	+ 4'917'612 m	+ 2'327'368 m

zonte e "visibili" dall'antenna del ricevitore. I ricevitori posti sulla superficie terrestre sono in grado di determinare la distanza dei satelliti misurando il tempo d'arrivo del segnale, ovvero il tempo impiegato nel viaggio tra il satellite e l'antenna del ricevitore. La distanza si ottiene moltiplicando questo tempo per la velocità delle onde radio, oltre 300'000 km/sec., cioè la velocità della luce. Il tempo d'arrivo è, in realtà, ottenuto dal ritardo del codice generato e inviato dal satellite, "pseudorange", rispetto a quello identico generato contemporaneamente dal ricevitore. Ogni satellite invia un codice caratteristico e questo consente al ricevitore di discriminare tra i diversi satelliti. Ciascun satellite inoltre invia informazioni sulla propria orbita. Le stazioni di controllo a terra, infine, verificano e correggono continuamente le rotte dei satelliti e sincronizzano i loro orologi.

Il ricevitore, in base alla posizione e alla distanza dei satelliti, è in grado di determinare la propria posizione. Data la distanza da un satellite, il ricevitore può trovarsi in un qualunque punto della superficie della sfera che circonda il satellite e con raggio pari a questa distanza. Dall'intersezione delle sfere generate dalle distanze di 3 satelliti si ottengono 2 punti omologhi, uno dei quali in prossimità della superficie del nostro Pianeta e l'altro nello spazio. Il GPS è quindi in grado, ricevendo il segnale di soli 3 satelliti, di dirci dove si trova (posizione 2D, cioè senza l'altitudine).

Utilizzando contemporaneamente 4 satelliti è possibile definire anche la

quota (posizione 3D). Maggiore è il numero di satelliti utilizzati in un dato momento e migliore è la precisione della posizione ottenuta. La misura del tempo è l'aspetto più critico del sistema: un errore di appena un millesimo di secondo nel calcolo del tempo d'arrivo comporterebbe un errore di misura di distanza di oltre 300 km! È per questo motivo che sui satelliti sono installati degli orologi precisissimi e costosissimi, e che la qualità dei ricevitori è in gran parte determinata dal loro orologio interno. Vi sono vari fattori che determinano l'accuratezza della misura del tempo di arrivo e quindi della posizione calcolata dai ricevitori. Le principali fonti d'errore sono i ritardi dovuti all'attraversamento della ionosfera e della troposfera, la riflessione e gli echi del segnale da parte di palazzi e montagne, la ridotta qualità dell'orologio del ricevitore, il ridotto numero e la geometria dei satelliti. Inoltre, fino al 2 maggio del 2000, il dipartimento della difesa americano operava una degradazione volontaria del segnale ad uso civile causando un errore imprevedibile di diverse decine di metri! Oggi, operando in condizioni ottimali, ovvero con un buono strumento, elevato numero di satelliti, lontano da ostacoli e in condizioni atmosferiche stabili, si può ottenere la propria posizione assoluta con sole misure di codice con un'accuratezza di circa 10 metri.

Occorre rilevare come esista una seconda misura GPS osservabile, la fase; attraverso la misura di differenza di fase è possibile determinare la posizione relativa di due ricevitori in modalità statica con precisione anche centimetrica

fino a distanze dell'ordine di centinaia di chilometri. Non approfondiamo questo tipo di osservazione in quanto esula dagli scopi delle applicazioni presentate in questo articolo.

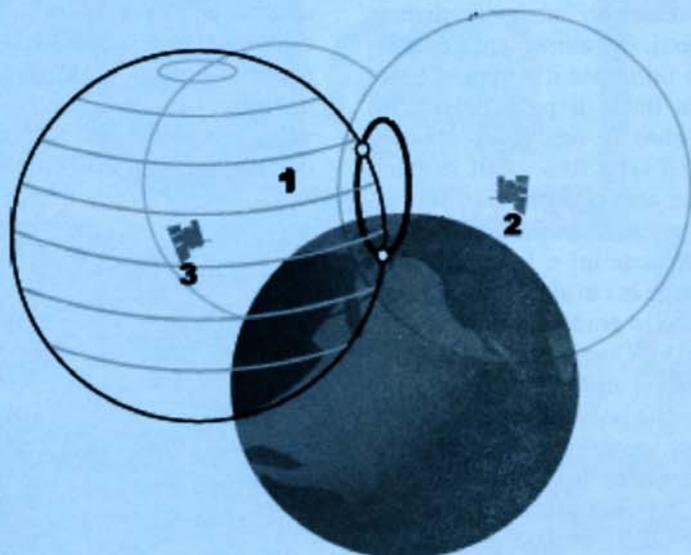
I sistemi di coordinate

I GPS visualizzano la propria posizione (più esattamente quella della propria antenna) attraverso dei numeri: le coordinate del punto. Esistono oltre un centinaio di sistemi di riferimento e modi diversi per esprimere le coordinate; le differenze tra loro possono indurre errori d'interpretazione anche di chilometri! È quindi necessario conoscere alcune nozioni di base.

Il sistema di riferimento delle coordinate è il cosiddetto **datum geodetico**, costituito dall'ellissoide, ovvero la figura geometrica che approssima la superficie del Pianeta, e dalla sua orientazione, rispetto alla superficie terrestre. Nel corso degli anni gli studi astronomici e geodetici hanno portato a definire nuovi ellipsoidi ed orientazioni, ma resta impossibile definire un sistema migliore in assoluto, l'importante è sapere quale di questi si sta utilizzando. Gli esempi che ci riguardano più da vicino sono i cosiddetti ROMA40, ED50 e WGS84. I primi due sono rispettivamente il sistema nazionale italiano e quello medio europeo; si basano entrambi sull'ellissoide internazionale di Hayford ma differiscono per l'orientazione (per ROMA40 è stata definita dall'osservatorio di Monte Mario nel 1940, mentre per ED50 dall'osservatorio di Potsdam nel 1950). Entrambi i datum sono utilizzati nelle nostre carte nautiche e terrestri; confondere l'uno con l'altro causa errori fino ad oltre 100-200 metri, quanto basta per sbagliare un punto d'immersione! Il datum WGS84 (*World Geodetic System*, 1984) è stato definito negli Stati Uniti ed è quell'adottato come riferimento di base per il sistema GPS NAVSTAR. Tutti i GPS quindi utilizzano il WGS84, riferito recentemente al sistema di riferimento terrestre internazionale (ITRF) ricalcolato anno per anno, anche se poi i ricevitori sono in grado di convertire la posizione in altri datum. Ad esempio, il sistema di riferimento in cui l'I.G.M. (Istituto Geografico Militare) ha convertito i reticolati geografici della cartografia italiana è l'ETRF89 (*European Terrestrial Reference Frame*). Considerando però che la conversione da un sistema di riferimento ad un altro richiede formule complesse e parametri variabili da zona a zona, i valori di posizione più corretti ottenibili con un GPS sono quelli riferiti al WGS84-ITRF2000.

Conoscere il datum però non basta, infatti, le coordinate di un punto posso-

Punti omologhi individuati dall'intersezione delle distanze da tre satelliti



Per ottenere una posizione 2D (cioè senza l'altitudine) occorre misurare la distanza da almeno 3 satelliti.

no essere espresse in modi diversi: innanzi tutto esistono coordinate "geografiche" e "chilometriche", o di proiezione. Le coordinate geografiche, comunemente usate nella cartografia nautica (proiezione di Mercatore), sono la latitudine e la longitudine. Si tratta di misure angolari, indipendenti dal sistema di proiezione cartografico utilizzato, e sono sempre riferite al centro della Terra, all'equatore e al meridiano di riferimento passante per Greenwich. Per queste misure si usa solitamente il sistema angolare sessagesimale che prevede la suddivisione del cerchio in 360°. In questo modo le latitudini vanno da 90° Sud a 90° Nord mentre le longitudini vanno da 180° Ovest a 180° Est. Le frazioni di grado possono essere espresse mediante decimali (DEG), oppure in primi e decimi di primo (DM), o ancora in primi secondi e decimi di secondo (DMS, vedi la tabella). Ma quanti decimali occorrono per definire un punto con una precisione adeguata?

Considerando che un primo di latitudine all'equatore corrisponde ad un miglio nautico, cioè 1852 metri, è comprensibile che per discriminare tra due punti distanti tra loro pochi metri occorre conoscere il millesimo di primo, cioè occorrono tre cifre dopo la virgola. Il secondo di latitudine (sessantesimo di primo) corrisponde a circa 31 metri e quindi utilizzando i secondi occorre

almeno una cifra dopo la virgola. Seguendo lo stesso ragionamento, per i gradi servono almeno cinque decimali.

Le coordinate chilometriche non esprimono angoli bensì distanze, normalmente in metri, rispetto ad un punto d'origine cartesiano ed ad un reticolo. Sono comunemente utilizzate per la cartografia terrestre (carte topografiche, tecniche regionali, ecc.) e i loro valori dipendono non solo dal datum geodetico ma anche dal metodo di proiezione utilizzato. Il sistema di proiezione oggi più utilizzato è quello denominato UTM (*Universal Transverse of Mercator*) e prevede la suddivisione della superficie della Terra in 60 fusi, ciascuno ampio 6 gradi di longitudine. Le coordinate all'interno di ciascun fuso hanno come origine il punto di incrocio tra l'equatore e il meridiano centrale del fuso, cui però è attribuito un "falso Est" di 500 chilometri. Se prendiamo l'esempio della tabella, si può dire che il punto in questione si trova 4.917.000 metri a Nord dell'equatore e 192.635 metri (500.000 - 307.365 m) a Ovest del meridiano centrale del trentaseiesimo fuso UTM, datum WGS84. Utilizzare direttamente le distanze in metri, invece degli angoli, può essere più pratico ed intuitivo, soprattutto quando ci si sposta all'interno dello stesso fuso, ma la possibilità di confondersi tra le diverse proiezioni e i fusi aumenta il rischio d'errore. Inoltre gli strumenti GPS, nel calcolare la posizione in un dato sistema di proiezione, introducono delle piccole imprecisioni di calcolo che riducono l'accuratezza.

Il nuovo sistema WAAS/EGNOS

Gli strumenti GPS ad uso civile in posizionamento assoluto con misure di codice consentono normalmente di raggiungere accuratèzze di circa 10-20 metri, ma i vari fattori di disturbo possono portare ad errori anche di diverse decine di metri. Per aumentare l'accuratezza si può utilizzare il sistema "differenziale". In linea di principio questo sistema consiste in una o piú stazioni contenenti dei GPS fissi, posti su punti di coordinate note. Queste stazioni calcolano la loro posizione presunta in base ai segnali dei satelliti e la confrontano con quella reale in cui si trovano. In questo modo sono in grado di calcolare l'errore commesso. Questi "errori" possono essere trasmessi in "tempo reale" alle unità mobili che possono così correggere la propria posizione. Ai fini della sicurezza in mare, la Guardia Costiera degli Stati Uniti, per prima, ha realizzato un sistema differenziale gratuito che utilizza alcune stazioni radio costiere in modulazione di frequenza e che consente accuratèzze di 1-5 metri.



Esempio di GPS cartografico a colori da plancia integrato con ecoscandaglio

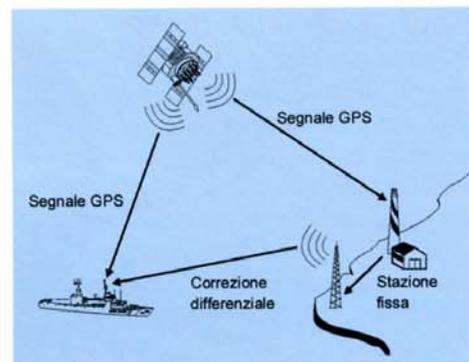
Un altro sistema differenziale oggi disponibile è quello denominato WAAS (*Wide Area Augmentation System*). Questo si basa su una rete di 25 stazioni di riferimento a terra, sparse su tutto il territorio degli Stati Uniti, e di un satellite geostazionario riceve e divulga via radio le correzioni differenziali. Il sistema, realizzato dall'Amministrazione Federale per l'Aviazione americana (<http://gps.faa.gov>), copre gli Stati Uniti e parte del Canada e Messico.

Dal due aprile 2003 è attivo anche il sistema EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*). Questo sistema, realizzato dall'Ente Spaziale Europeo (<http://www.esa.int>), Commissione Europea e dall'Organizzazione Europea per la Sicurezza della Navigazione Aerea, si basa su una rete di oltre 30 stazioni a terra, 4 centri di calcolo e tre satelliti geostazionari (di cui uno non ancora attivo). Le stazioni a terra rilevano gli errori, li inviano ai centri di calcolo che li rielaborano. Le correzioni differenziali sono poi mandate ai satelliti geostazionari che fungono da ponti radio e le rimandano gratuitamente a tutti. Il sistema, ancora in fase di collaudo e quindi non del tutto affidabile, è in grado di coprire l'Europa, il Mediterraneo e alcune aree dell'Africa settentrionale. Una volta completamente attivo, consentirà un'accuratezza fino a 2 metri!

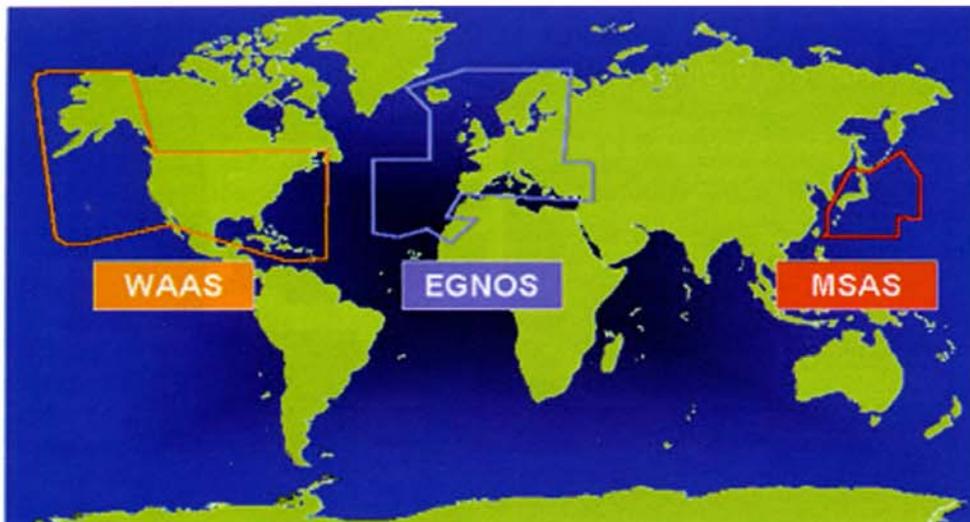
(continua a pag. 12)



Esempio di GPS palmare cartografico



Sistema di correzione differenziale della Guardia Costiera degli Stati Uniti



Are di copertura dei sistemi differenziali americano (WAAS), europeo (EGNOS) e giapponese (MSAS). Immagine ESA - European Space Agency (<http://www.esa.int/>)

Per utilizzare il sistema WAAS e EGNOS è sufficiente dotarsi di uno strumento predisposto e abilitare la funzione relativa nel menu di configurazione. Per verificare il funzionamento, oltre a seguire le indicazioni del manuale d'uso e leggere i messaggi che compaiono sul display, è possibile controllare la ricezione dei satelliti geostazionari indicati con i numeri da 33 a 51, in particolare per l'Europa i satelliti AOR-E e IOR hanno rispettivamente il numero 33 e 44.

Connessioni e software

La maggior parte degli strumenti nautici, sono in grado di comunicare tra loro attraverso un semplice cavo di connessione e in base al protocollo NMEA (*National Marine Electronics Association*; <http://www.nmea.org/>).

Secondo questo protocollo, ciascuno strumento invia una serie di caratteri che, secondo uno schema ben preciso,

contengono informazioni sul suo funzionamento e sui parametri misurati. In questo modo, ad esempio, un GPS può visualizzare sul proprio schermo la profondità e la temperatura dell'acqua, comunicate da un ecoscandaglio.

Tutte queste informazioni possono essere anche inviate ad un computer, direttamente sulla porta seriale (COM). Molti ricevitori GPS sono, infatti, forniti di cavi per la connessione al PC e di programmi per memorizzare punti, caricare mappe e aggiornare il software dello strumento. Esistono inoltre diversi programmi, alcuni scaricabili da Internet (ad esempio OziExplorer e GPS TrackMaker), che consentono di trasformare il PC in un sistema cartografico digitale!

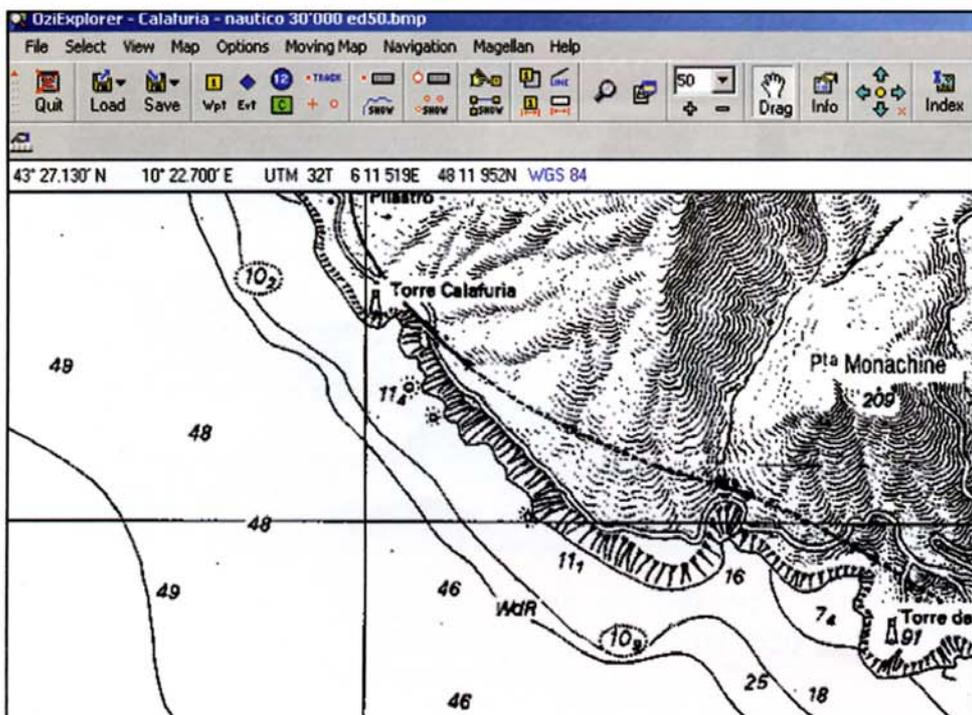
Scegliere lo strumento adatto

Oggi sul mercato sono disponibili strumenti per tutte le esigenze e per tutte

le tasche. Ormai quasi tutti gli strumenti hanno 12 canali, cioè sono in grado di ricevere contemporaneamente fino a 12 satelliti, inoltre i modelli più recenti offrono, ad un costo leggermente superiore, la possibilità di ricevere le correzioni del sistema WAAS/EGNOS. Le dimensioni dei GPS vanno dai piccolissimi palmari adatti all'escursionismo, fino ai modelli da plancia di generose dimensioni e con ampi schermi a cristalli liquidi. Sia quelli piccoli sia quelli grandi possono fornire un gran numero d'informazioni, inoltre quelli "cartografici" sono dotati di cartografia elettronica. Naturalmente maggiore è la dimensione dello schermo e maggiore sarà la sua leggibilità. Nel caso si scelga un GPS cartografico è bene valutare il tipo e il dettaglio della cartografia fornita nonché la disponibilità e il costo delle mappe aggiuntive, in particolare quella nautica della zona d'interesse. Altri parametri importanti da prendere in considerazione sono il tipo di alimentazione e la durata delle batterie, la disponibilità di un'antenna esterna e di altri accessori per l'installazione, infine l'impermeabilità e la possibilità di connessione con altri strumenti e con il computer. Esistono strumenti nautici che integrano insieme GPS cartografico ed ecoscandaglio. Questa è una soluzione compatta ma in genere più costosa e meno pratica rispetto a due strumenti separati, magari interfacciati tra loro.

I consigli d'uso

1. Posizionare l'antenna dello strumento in una zona libera da ostacoli ed interferenze radio;
2. Accendere lo strumento almeno un quarto d'ora prima dell'utilizzo;
3. Controllare le impostazioni relative al datum ed eventualmente al sistema di proiezione, preferibilmente utilizzare le coordinate geografiche in WGS84 con un numero di decimali adeguato per la precisione richiesta;
4. Se il ricevitore è predisposto, verificare l'attivazione del sistema WAAS
5. Verificare il numero e la qualità di ricezione dei satelliti prima di memorizzare una posizione o di tornare su un punto preciso;
6. Dovendo trasferire i dati ad un computer, riportare un punto su una carta o viceversa, non dimenticatevi di impostare il medesimo datum ed eventualmente la proiezione;
7. Nel comunicare una posizione ad altri indicare sempre il sistema di riferimento utilizzato.



Schermata di un programma di navigazione per PC interfacciabile con i GPS. La cartografia rappresentata è stata ottenuta dalla carta nautica