5 Motivi per cui la tua bussola elettronica non funziona

Le prestazioni della bussola elettronica Jewell o di qualsiasi bussola magnetica dipendono da quanto bene i suoi parametri sono regolati per l'ambiente operativo. Precisione, ripetibilità, velocità di risposta, rifiuto di misurazioni anomale e consumo energetico, possono essere ottimizzati tramite un'attenta messa a punto dei coefficienti che adattano la bussola elettronica alle diverse condizioni.

Per tutte le applicazioni, la precisione della bussola elettronica deve essere verificata in loco eseguendo una calibrazione magnetica. Ciò comporta innanzitutto l'acquisizione di un riferimento verticale in una posizione vicina priva di interferenze magnetiche, quindi l'esecuzione di misurazioni su un cerchio con la bussola elettronica montata in posizione. Il riferimento verticale può essere eliminato se si è convinti che non vi sia alcuna componente verticale con ferro.

Fattori che influenzano la precisione

Esistono numerosi fattori che possono potenzialmente influenzare la precisione e la ripetibilità della bussola elettronica. L'elenco seguente spiega il meccanismo di ciascun fattore e presenta un ordine di grandezza del suo effetto sulla precisione.

#1 Magnetismo permanente statico

La fonte di un campo magnetico permanente locale può essere un pezzo di ferro duro (acciaio), una corrente continua costante o un altro tipo di magnete. Questa fonte di errore può essere significativamente ridotta dalla calibrazione.

La curva nella Figura 1 mostra che un errore residuo dello 0,1% del campo magnetico terrestre su entrambi gli assi X e Y produce un errore di picco di accuratezza dello 0,2° a 66° di inclinazione (angolo di inclinazione alle latitudini medie degli Stati Uniti). L'errore varia in modo sinusoidale con la direzione e produce un singolo ciclo per ogni rotazione dell'eCompass.

La fase dipende dai segni e dalle grandezze degli errori su ciascun asse. L'entità dell'errore dipende dall'inclinazione magnetica perché l'errore residuo del ferro è espresso come una frazione dell'intensità totale del campo.

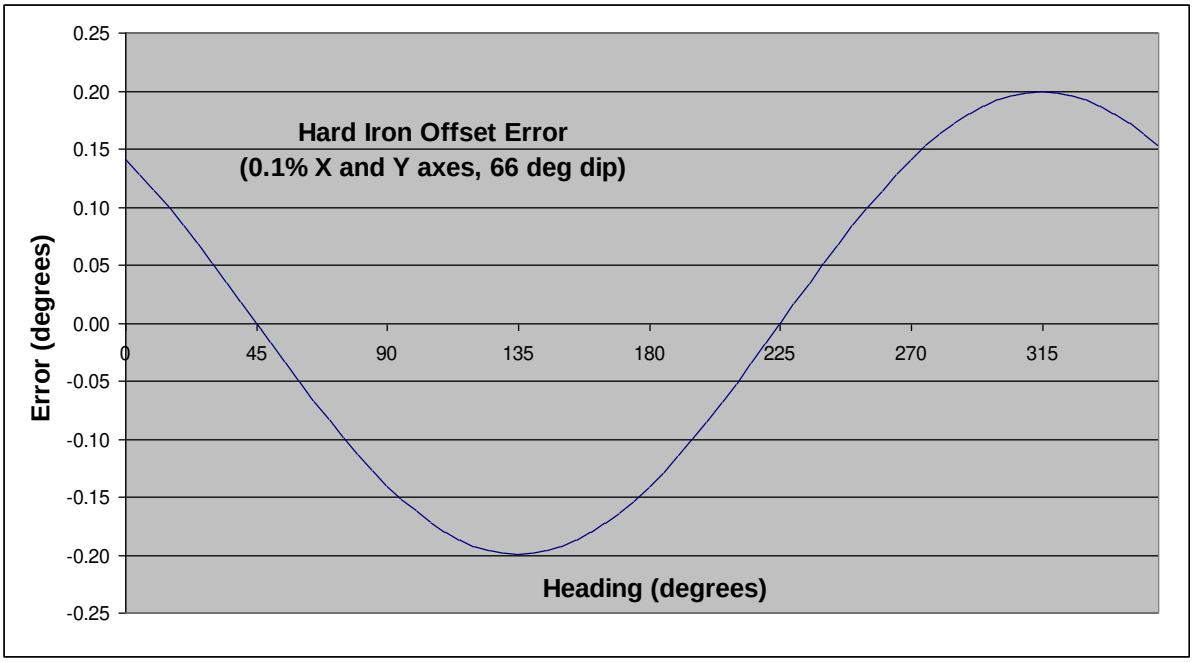

Figura 1 - Errore di direzione del ferro magnetico

Fortunatamente, un errore residuo sull'asse Z è meno critico. Questo errore entra in gioco solo quando l'eCompass è inclinato rispetto al livello. A 30° di inclinazione l'errore sull'asse Z dello 0,3%, produrre lo stesso errore di accuratezza di picco di 0,2° a 66° di inclinazione. L'errore di accuratezza diminuisce con la diminuzione dell'inclinazione.
Questo è un bene perché può essere difficile determinare il coefficiente del ferro sull'asse Z.

Quando l'eCompass è montato su un veicolo di grandi dimensioni, non è pratico capovolgere il veicolo per ottenere buoni dati di calibrazione. È possibile effettuare una stima del coefficiente Z finché vengono raccolti alcuni dati inclinati, ma una stima ragionevole potrebbe comunque richiedere angoli di inclinazione che non possono essere raggiunti.
Per eliminare questo problema, l'eCompass consente una calibrazione opzionale dell'asse Z in due fasi. I dati di riferimento vengono prima raccolti all'esterno del veicolo in un'area priva di interferenze Magnetiche. Quando l'eCompass è montato sul veicolo, la componente verticale misurata viene Confrontata con i dati di riferimento per calcolare il coefficiente. Finché l'eCompass è entro pochi gradi di livellamento durante entrambe le misurazioni, il risultato calcolato è accurato.

2 Magnetismo statico indotto

Quando si mette un magnete a contatto con una graffetta metallica, la graffetta diventa magnetizzata. Quando il magnete e la graffetta vengono separati, la graffetta non conserva più il suo magnetismo temporaneo o indotto. Il ferro dolce, le leghe di ferro e nichel, l'acciaio comune e alcuni tipi di acciaio inossidabile possono essere facilmente magnetizzati, anche in un campo debole.

Quando questi materiali si trovano nelle vicinanze dell'eCompass e ruotano con l'eCompass, si Magnetizzano e si smagnetizzano a seconda del loro orientamento rispetto al campo magnetico terrestre. Invece di vedere un campo costante che produrrebbe un cerchio perfetto quando l'eCompass gira L'eCompass vede un campo di magnetico variabile che traccia una forma ellittica.
Questo Magnetismo indotto dà origine a un errore di accuratezza della rotta, come mostrato nell'esempio della Figura 2.

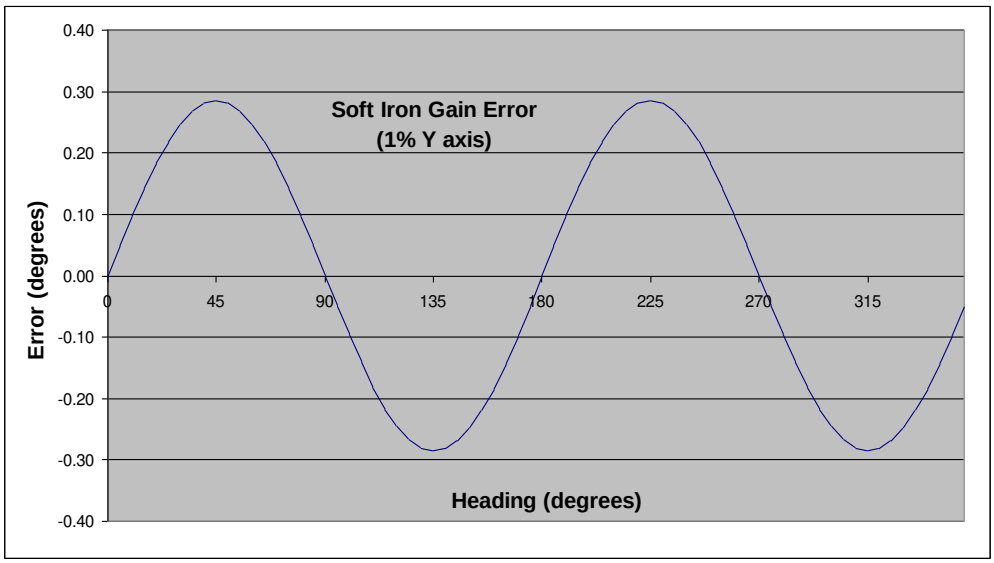

Figura 2 – Errore di direzione del ferro dolce

Quando l'eCompass viene ruotato su un piano livellato, l'errore varia in modo sinusoidale e produce due cicli per rivoluzione dell'eCompass. Nella figura, i picchi si trovano a 45°, 135°, 225° e 315° perché l'errore di guadagno è allineato con l'asse Y, che sarebbe l'asse maggiore dell'ellisse. Nelle applicazioni del mondo reale, l'asse maggiore potrebbe essere allineato a qualsiasi angolazione.

In tre dimensioni, il luogo dei punti verrebbe mappato su un ellissoide anziché su una sfera perfetta. In questo caso, è necessaria una matrice 3x3 di coefficienti di guadagno per compensare.

Sono necessarie almeno 12 misurazioni indipendenti per determinare 9 guadagni del ferro dolce e 3 offset del ferro duro. Se l'eCompass viene utilizzato solo a livello, potrebbe essere adeguata una compensazione bidimensionale più semplice. Il software per PC eCompass include un algoritmo per stimare i coefficienti del ferro dolce 2D in base all'approccio stabilito in "Direct Least Squares Fitting of Ellipses", di Fitzgibbon et al. In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, No. 5, maggio,1999. Il software segnala l'ellitticità, in percentuale, dell'ellisse che meglio si adatta ai dati raccolti. Questa matrice può essere utilizzata per decidere se è necessaria una compensazione del ferro dolce.

In situazioni in cui il ferro dolce è significativo, potrebbe essere meglio riposizionare l'eCompass.

Innanzitutto, una compensazione bidimensionale è solo approssimativa e piccole variazioni nell'inclinazione possono produrre cambiamenti drastici nell'ellisse del ferro dolce. Una compensazione adeguata potrebbe richiedere che i dati tridimensionali vengano raccolti e analizzati per produrre la matrice di guadagno 3x3 completa.

In secondo luogo, i materiali magnetici morbidi che danno origine al magnetismo indotto presentano anche vari gradi di permeabilità, la tendenza a rimanere magnetizzati dopo che una forza magnetizzante viene rimossa. La magnetizzazione del materiale può cambiare nel tempo a causa dell'esposizione a vibrazioni, variazioni di temperatura e campi elettrici e magnetici variabili. Ciò si traduce in errori del ferro duro che devono essere compensati periodicamente per mantenere l'accuratezza.

Se non c'è alternativa e il ferro dolce 3D deve essere compensato, il programma per PC eCompass fornisce un'opzione per raccogliere dati 3D e calcolare i 12 coefficienti di compensazione ottimali. L'algoritmo interattivo funziona per trovare l'ellissoide che si adatta meglio ai dati raccolti riducendo al minimo la somma delle distanze geometriche al quadrato tra i dati raccolti e l'ellissoide parametrico.

#3 Campi magnetici variabili nel tempo

Un campo magnetico variabile nel tempo nelle vicinanze dell'eCompass non può essere compensato. La sua frequenza deve essere superiore alla banda passante dell'eCompass (vale a dire maggiore di 30 Hz), oppure deve essere eliminato. La frequenza del ciclo di misurazione dell'eCompass di 27,5 Hz è scelta per massimizzare l'attenuazione dei segnali da 50 Hz a 60 Hz associati ai sistemi di alimentazione CA.

Per stimare l'effetto dell'ordine di grandezza di una corrente CC vicino al magnetometro dell'eCompass, utilizzare la legge di Ampère per calcolare il campo magnetico vicino a un filo lungo:

$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$, where $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-3}$ Gauss-meter / amp.

Un lungo filo che trasporta 25 mA di corrente situato a 50 mm dal magnetometro produce una perturbazione magnetica di 1 mG (100 nT) al sensore. Al centro degli Stati Uniti, dove l'inclinazione (angolo di inclinazione) è di circa 66° e l'intensità del campo magnetico terrestre è di circa 500 mG, può causare un errore di rotta di 0,3°.

#4 Errori di misurazione dell'inclinazione

Gli errori nelle misurazioni di beccheggio e rollio danno origine a errori di rotta a ciclo singolo che non possono essere differenziati dall'errore di rotta causato dal ferro duro residuo.
Il grafico nella Figura 3 mostra come un errore piccolo come 0,1° su entrambi gli assi X e Y influenzi la precisione della rotta a 66° di inclinazione magnetica (angolo di inclinazione). La fase di questa curva dipende dai segni e dalle grandezze relative degli errori separati sull'asse X e sull'asse Y.

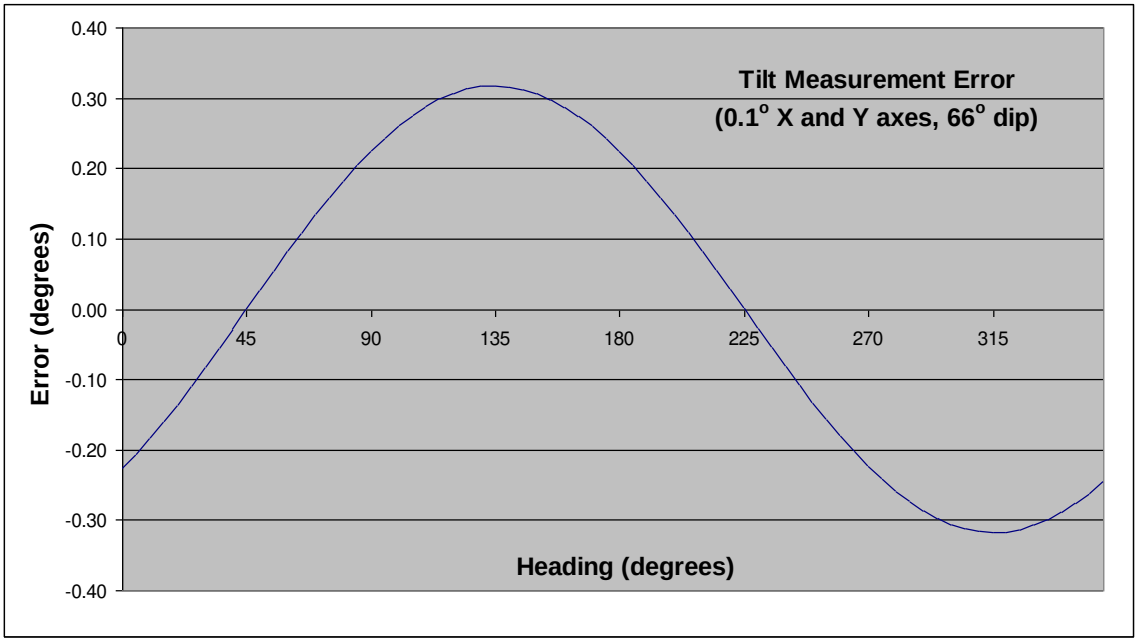

Figura 3 – Effetto dell'errore di inclinazione sulla precisione della rotta

Confronta la forma e la fase della curva nella Figura 3 con la curva dell'errore del ferro duro nella Figura 1. In questo caso, le curve non sono in fase e le due fonti di errore tendono ad annullarsi a vicenda. L'errore di picco risultante è ridotto di un fattore tre come mostrato nella curva etichettata "Errori annullati" nella Figura 4.
Cambiando i segni su entrambi gli errori di beccheggio e rollio, le due curve si allineano in fase, producendo il risultato "Errori rafforzati" mostrati anche nella Figura 4.

Gli errori di misurazione dell'inclinazione possono essere causati da uno o più dei seguenti:

1. errori di offset e/o guadagno del sensore
2. accoppiamento dell'asse trasversale del sensore
3. disallineamento degli assi del sensore di inclinazione e magnetico
4. accelerazione orizzontale non compensata
5. scarsa qualità del sensore

Nelle applicazioni in cui l'eCompass non può essere mantenuto perfettamente stabile, l'errore dovuto all'accelerazione orizzontale può essere pronunciato. Sebbene i giroscopi di velocità (eCompass ECG ed ECV) inizialmente compensino, se l'accelerazione persiste, alla fine influenzerà la misurazione.

Per una modesta accelerazione orizzontale costante di 0,05 g (circa 1 miglio all'ora), l'errore di misurazione dell'inclinazione è di 2,9° (ottenuto calcolando tan-10,05). Per l'esempio di inclinazione magnetica di 66° utilizzata sopra, il risultato è un errore di rotta sinusoidale è di 6,5° di magnitudine di picco.

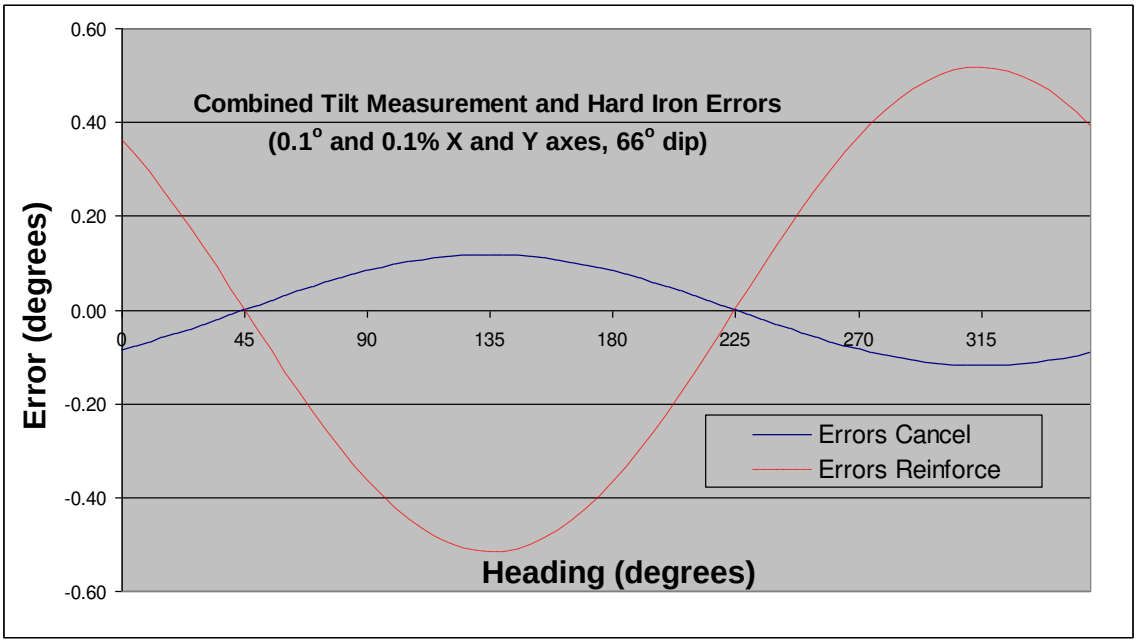

Figura 4 – Effetto combinato di ferro duro ed errori di inclinazione

#5 Inclinazione magnetica (angolo di inclinazione)

Vicino ai suoi poli magnetici, la forza complessiva del campo magnetico terrestre aumenta. Ma la componente orizzontale diminuisce sostanzialmente, rendendo la navigazione con eCompass magnetico quasi impossibile.
Per eCompass meccanici, l'ago si abbassa eccessivamente, cercando di allinearsi con linee di forza quasi verticali. Per un eCompass elettronico, la precisione diminuisce perché il campo orizzontale è più piccolo e perché l'effetto degli errori di inclinazione è più pronunciato.

La mappa in Figura 5 mostra linee di angolo di inclinazione costante attorno al globo. Ognuna delle linee è separata da 2°. La mappa si basa sul modello magnetico mondiale USA/UK per l'anno 2005.

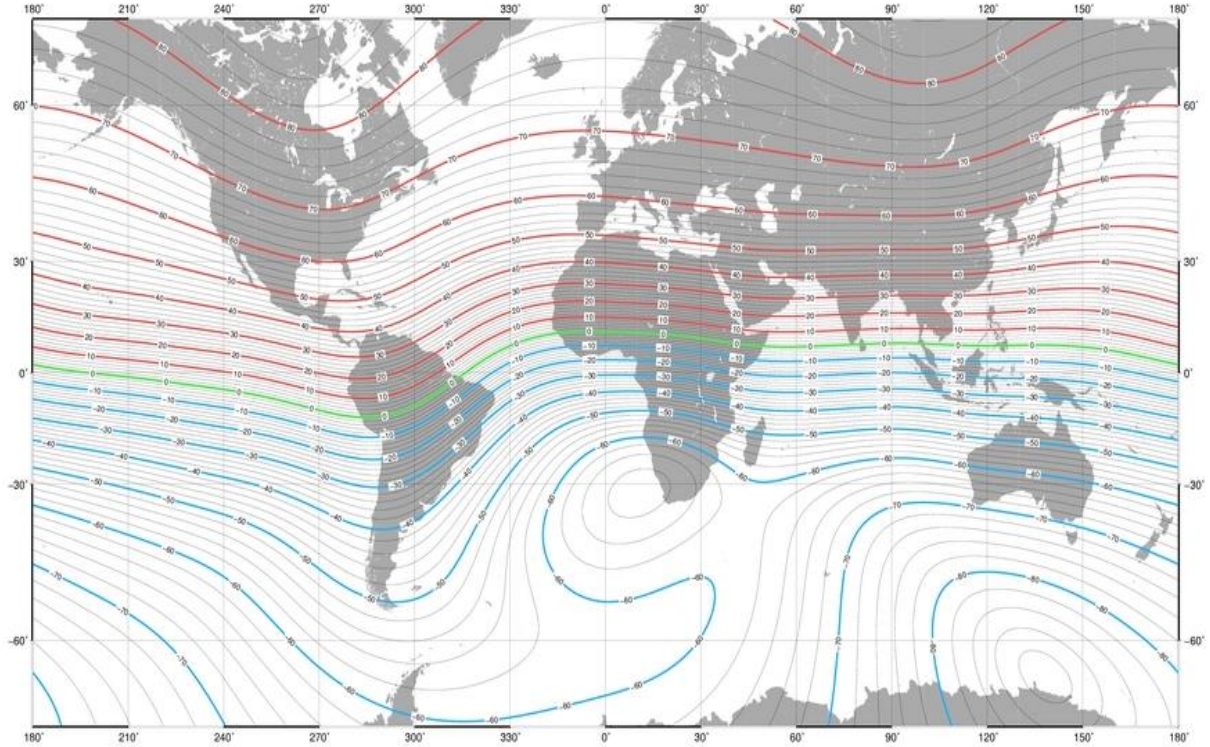

Figura 5 – Linee di contorno dell'inclinazione magnetica (in gradi)

Vicino all'equatore magnetico, gli errori di misurazione dell'inclinazione hanno un'influenza minima sulla rotta dell'eCompass.

Tra ±5° di inclinazione, un errore di 1° nell'inclinazione non produce un errore di rotta maggiore di 0,09°.

Nell'Alaska settentrionale (80° di inclinazione), lo stesso errore di inclinazione di 1° produce un errore di rotta fino a 6°

Copyright Jewell Instruments 2018. All rights reserved. Not to be used without permission.