

## 8.5

# Trimble H-Star

Un sistema GPS in doppia frequenza per rilievi di alta precisione

- Introduzione
- Come funziona la tecnologia H-Star
- Dati GPS di alta qualità
- Il sistema PPA  
(Predicted Postprocessed Accuracy)
- La post elaborazione H-Star
- Conclusioni

## Introduzione

La generale richiesta che ultimamente proviene dal settore GIS è quella di poter lavorare su dati di alta precisione a livello aziendale; in alcuni casi questa necessità nasce direttamente all'interno delle aziende che, grazie a set di dati più accurati possono raggiungere una migliore efficienza sia a livello di gestione delle risorse che di decision making. Allo stesso tempo, però, la principale necessità è legata a problematiche di tipo legislativo. I benefici di possedere dati GIS più rigorosi sono specialmente importanti per applicazioni quali la localizzazione delle reti tecnologiche, la formazione dei catasti dei terreni e delle risorse naturali e ambientali nei paesi in via di sviluppo. Applicazioni del genere in molte nazioni richiedono un'accuratezza orizzontale di più o meno di 30 cm (se non migliore) ma molte agenzie del catasto dei paesi del terzo mondo specificano in 50 cm la precisione minima per permettere l'identificazione dei confini. La nuova tecnologia H-Star di Trimble fornisce la soluzione ideale per applicazioni GIS che richiedono una elevata accuratezza; la tecnologia H-Star - combinazione tra un ricevitore GPS avanzato, un software di acquisizione dati con sofisticate proprietà di connessione ed un software di postelaborazione - permette dunque di avere dati GPS più accurati e senza costi aggiuntivi, associando flussi di lavoro complessi alla classica raccolta dei dati di elevata precisione. I ricevitori GPS Pathfinder ProXH e GeoXH con tecnologia H-Star, permettono un'accuratezza superiore ai 30 cm in post elaborazione e, se impiegati con un'antenna geodetica Zephyr, permettono di ottenere precisioni compatibili con i rilievi topografici e catastali.

## Come funziona la tecnologia H-Star

L'acquisizione dati con H-Star è gestita con un software specificatamente ideato per dati di elevata accuratezza. Esso, dotato di indicatore *Predicted Postprocessed Accuracy* (PPA), mostra chiaramente la precisione che si

otterrà una volta che i dati H-Star verranno postprocessati.

L'elaborazione di questi dati è studiata appositamente per raggiungere una precisione superiore ai 30 cm con non più di due minuti di dati continui.

Se il flusso dei dati è continuo, il calcolo delle posizioni in coordinate richiede solo un piccolo dispendio di tempo per essere elaborate. In ufficio, con il software GPS Pathfinder o con l'estensione GPS Analyst per ArcGIS di ESRI appositamente sviluppata da Trimble, basterà semplicemente selezionare l'opzione di elaborazione H-Star nel wizard *Differential Correction*; grazie ad essa, stazioni di riferimento multiple possono infatti essere utilizzate per ridurre gli errori dovuti ai *bias* e alla distanza delle Reference Station. I tre aspetti fondamentali e innovativi su cui è basato il sistema H-Star possono essere riassunti in quanto segue:

- Dati GPS di alta qualità (L1/L2)
- Flusso di lavoro gestito con il sistema PPA (*Predicted Postprocessed Accuracy*)
- Post elaborazione con il software H-Star

Nei paragrafi che seguono prenderemo in esame i diversi aspetti della tecnologia H-Star, analizzando nel dettaglio i benefici del nuovo sistema di Trimble.

## Dati GPS di alta qualità

*L'antenna* - Per ottenere dati GPS di un certo livello è innegabile che il ruolo dell'antenna sia fondamentale. Essa rappresenta la prima via in entrata per i segnali ricevuti dai satelliti GPS in orbita a oltre 22.000 km di altezza, arrivando ad affermare che il ruolo dell'antenna è

paragonabile più o meno a quello che svolge la lente di una macchina fotografica. Un'antenna ben costruita può *catturare segnali con una maggiore risoluzione*, favorendo l'elaborazione di misure e coordinate GPS di elevata precisione. Il Multipath è comunque sempre in agguato dal momento che i segnali GPS possono riflettersi su altri oggetti prima di giungere all'antenna. Essi sono di solito *right-hand circular polarized (RHCP)* ma, quando interviene questo tipo di interferenza, essi si trasformano in segnali *left-hand circular polarized (LHCP)*. L'antenna interna di un ricevitore GPS Pathfinder ProXH o GeoXH impiega un sistema di riduzione di tale effetto più noto come tecnologia *EVEREST Multipath Rejection* ed il tuning dell'antenna allo scopo di filtrare i segnali LHCP.

L'antenna geodetica opzionale Zephyr utilizza gli stessi principi al fine di assicurare misure GPS di alta qualità; inoltre essa è in grado di ricevere segnali L2, fondamentali per ottenere la miglior precisione possibile con H-Star. Grazie all'impiego di segnali L2, il sistema H-Star è in grado di fornire correzioni più efficaci tenendo conto dei ritardi dovuti alla ionosfera, fonte importante di errori ed imprecisioni; essa contiene infatti ioni ed elettroni che, a seconda dell'attività solare, della posizione geografica, dei cicli stagionali e dei giorni, influiscono continuamente sulla propagazione dei segnali GPS. I sistemi DGPS standard (L1) per ovviare a questo inconveniente utilizzano dei modelli ionosferici di correzione trasmessi all'interno del messaggio di navigazione del GPS ma, si tratta solo di un modello dell'errore e non delle misure reali. Con i GPS in doppia frequenza, invece, i ritardi dovuti alla ionosfera vengono calcolati sia nel punto dove si trova la stazione di riferimento che nel punto del rilievo occupato dall'utente, correggendo il tutto direttamente all'interno della soluzione. Sia il sistema ProXH che il GeoXH sono predisposti per l'uso di antenne esterne geodetiche che migliorano sensibilmente la ricezione dei segnali GPS portando le soluzioni finali vicine agli standard dei rilievi topografici e catastali.

*Il ricevitore GPS* - Il segnale GPS è solitamente soggetto ad interferenze di tipo elettromagnetico chiamate più semplicemente "rumore". Alcuni tipi di *rumore* vengono generati internamente al GPS stesso, dalle sue componenti elettroniche, mentre altri tipi di interferenze possono essere causati da apparecchiature elettroniche poste nelle vicinanze o da linee elettriche. Al momento della ricezione i segnali GPS sembrano comunque essere inficiati da qualche tipo di *rumore* ed ecco perchè molti dei dispositivi oggi disponibili sono capaci di filtrare e recuperare il segnale originale evitando tali problematiche. I ricevitori H-Star di Trimble impiegano tecniche di riduzione del rumore avanzatissime preservando il ricevitore e l'antenna dalle interferenze prodotte da sorgenti esterne.

### Il sistema PPA (Predicted Postprocessed Accuracy)

L'indicatore di *Predicted Postprocessed Accuracy* (PPA) permette agli utenti Trimble di registrare i dati GPS in maniera molto efficiente, direttamente sul campo e con la certezza che saranno adatti alle esigenze di precisione richieste nella fase di post elaborazione. Caratteristica di punta del

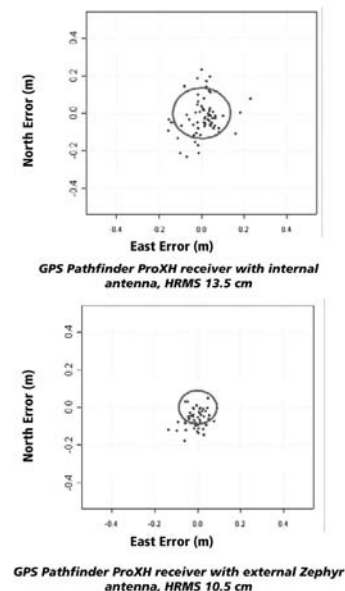
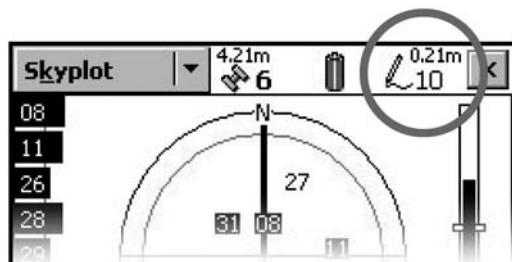


Figura 1 - Tracciati di dati H-Star



valore PPA di 0,21 m

sistema H-Star, il PPA è continuamente calcolato e visualizzato in funzione del tipo di antenna, della geometria del satellite, della durata del tracciamento su un numero di satelliti prefissato e con la certezza che tutte le stazioni di riferimento che saranno usate in post elaborazione siano conformi ai requisiti di elaborazione H-Star. Molti dei fattori esterni che influiscono sulla precisione dei dati, come gli effetti ionosferici o il Multipath, non vengono presi in considerazione nel calcolo del PPA. Il *Predicted Postprocessed Accuracy* è un valore HRMS (Horizontal Root Mean Square) e rappresenta lo scarto quadratico medio del 63% delle posizioni calcolate dopo la post elaborazione. In Figura 2, il valore del PPA visualizzato è di 21 cm, il che significa che la precisione in post elaborazione in quel caso dovrebbe aggirarsi sui 21 cm o meglio ancora. A valori HRMS minori corrispondono, in altre parole, dati più accurati.

Il PPA predice quindi la rigorosità nei dati ottenibile dopo la post elaborazione H-Star di tutte le posizioni registrate, dal momento che il fix ai satelliti è stato effettuato. Il valore del PPA è direttamente correlato al tempo impiegato nel raccogliere dati H-Star in maniera continua cosicché, se il ricevitore mantiene il lock senza perdita di segnale e la

geometria dei satellite è buona, la precisione aumenta per tutti i punti in coordinate dal momento del lock iniziale. La tecnologia H-Star è fondata sulla raccolta di dati continua da un set minimo di satelliti; quando ciò avviene siamo di fronte a ciò che in gergo si chiama *carrier lock* (aggancio in fase). Per mantenere tale lock, il ricevitore deve tracciare quattro o più satelliti senza interruzione per rilievi statici e cinque o più satelliti per rilievi in cinematico. Le misurazioni H-Star possono essere raccolte anche mentre ci si muove, l'importante è che l'aggancio venga continuamente mantenuto. La Figura 3 è esemplificativa dell'effetto di durata *carrier lock* sull'accuratezza ottenibile mediante un ricevitore H-Star. Sono state registrate sei ore di dati rover H-Star con un ricevitore ProXH in condizioni di cielo libero e sono stati elaborati con diverse condizioni di durata di *carrier lock*; i file sono stati corretti in maniera diversa servendosi di tre stazioni di riferimento in doppia frequenza distanti dai 20 ai 120 km. Nel grafico è evidente come già in condizioni

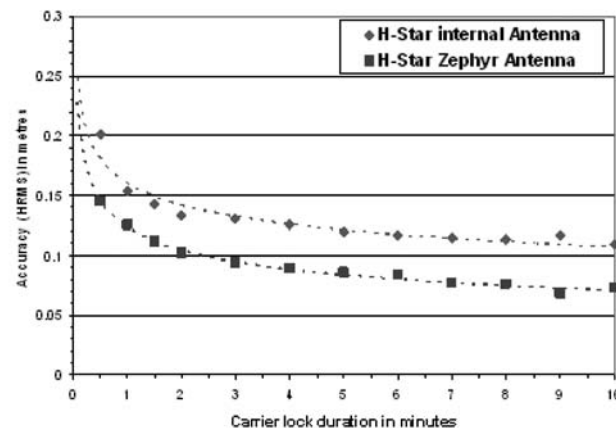


Figura 3 - Confronto tra Precisione e Durata del carrier lock per antenne ProXH (interna) e Zephyr

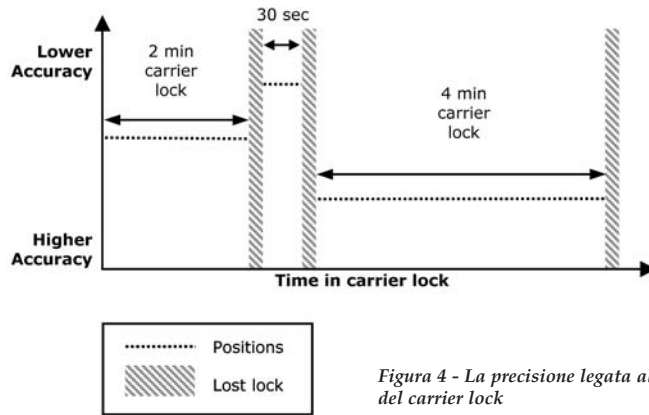


Figura 4 - La precisione legata alla durata del carrier lock

di breve durata del lock si riescano ad ottenere buoni risultati a livello di precisione e, seguendo l'andamento della curva, si può notare come al punto in cui la curva effettua la variazione più ampia corrisponda anche il più rapido incremento nell'accuratezza dei dati; superati i due minuti, la precisione continua ad aumentare col tempo ma ad un ritmo più lento. Nel grafico è anche possibile notare la differenza coi dati ottenibili tramite un'antenna Zephyr. È importante notare che l'accuratezza ottenuta è applicabile a tutte le posizioni e agli elementi rilevati dal momento in cui il lock viene acquisito. La Figura 4 mostra come questo effetto si applichi ad un ipotetico dataset con tre periodi separati di carrier lock. Più è lunga questa durata, maggiore sarà la precisione delle coordinate finali.

Le principali ragioni che influiscono sulla perdita del lock ai satelliti sono da ricondursi a situazioni che tendono a verificarsi abbastanza comunemente; è buona norma fare attenzione nel passare sotto a ostacoli di qualsiasi genere come alberi o ponti, evitare di abbassare l'antenna o salire su un veicolo per spostarsi verso un altro punto senza prestare attenzione all'antenna.

## La post elaborazione H-Star

Un ricevitore H-Star impiegato in singola frequenza con l'antenna integrata, permette di ottenere soluzioni di precisione elevata. Avendo poi la possibilità di effettuare misure in doppia frequenza con antenna Zephyr, il calcolo in post elaborazione ha a disposizione misure in L2 che permettono una stabilità della soluzione GPS e una precisione ancora maggiore.

A differenza delle misure in sola L1 (frequenza singola), le misure congiunte in L1 e L2 permettono un calcolo accurato del ritardo ionosferico del segnale, rimuovendo in questo modo una significativa fonte di errore.

L'accuratezza in post elaborazione dipende in maniera decisiva dalla qualità delle stazioni di riferimento e dalla loro distanza dai punti del rilievo. Trimble utilizza una serie di providers di dati GPS, la cui lista è utilizzata dal software di post elaborazione (Pathfinder Office) al momento del download dei dati di base. Ad ogni Reference Station è anche associato un indice di integrità impiegato dal software di elaborazione.

### L'indice di integrità delle stazioni di riferimento

Il calcolo dell'indice di integrità delle stazioni di riferimento viene effettuato da Trimble in maniera regolare allo scopo di evidenziare la qualità effettiva dei dati forniti da ogni singola stazione; il fatto di trovarsi di fronte a dati dell'indice non soddisfacenti rende improbabile, per una certa stazione di riferimento, la possibilità di ottenere correzioni di buon livello da quest'ultima.

L'indice di integrità varia tra i valori 1 e 100, con la qualità delle stazioni che aumenta all'aumentare del valore associatogli all'interno dell'indice. La stazione col valore più alto non è necessariamente detta che sia anche la più vicina. L'indice è calcolato in base a diverse variabili di integrità, precisione ed affidabilità, oltre alla distanza tra il rover e la

stazione di riferimento. L'indice di integrità inoltre tiene in considerazione altri parametri, come eventuali malfunzionamenti della stazione, il ritardo o altri problemi legati alla connettività internet, o per il danneggiamento dell'antenna.

#### Selezione delle stazioni di riferimento (tra cui alcune italiane)

Al momento di selezionare la stazione di riferimento, è preferibile affidarsi a quella più vicina al rover e che presenta un elevato indice di integrità. La post elaborazione H-Star permette di ottenere la media dei risultati calcolati su basi multiple; l'effetto dovuto a distanze di baseline più lunghe può essere ridotto ricorrendo alla media tra diverse stazioni di riferimento posizionate in luoghi diversi. Utilizzare la media dei risultati in questo modo permette di diminuire l'influenza dell'errore atmosferico che influisce sulla singola stazione e fornisce una chiara immagine di quello che sta effettivamente succedendo al punto misurato. La Figura 7 mostra l'influenza di singole stazioni di riferimento, ognuna delle quali con dati relativi ad una sola direzione e la confronta con la soluzione ottenibile attraverso la media dei dati delle baseline.

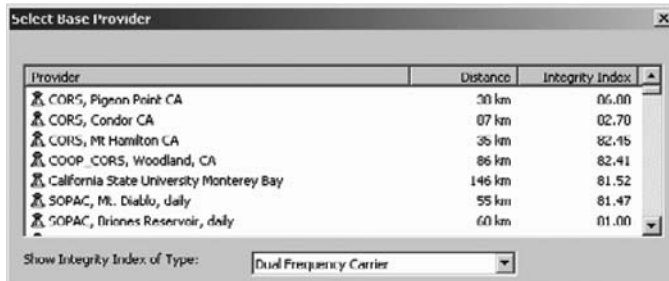
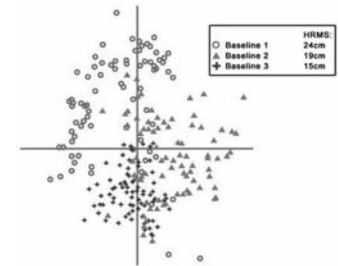


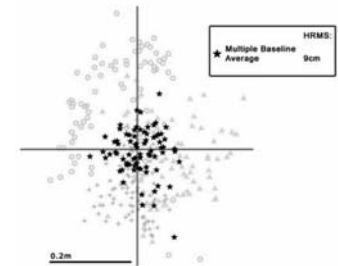
Figura 5 - Il software GPS Pathfinder Office con la lista delle stazioni ed i loro indici di integrità sulla destra

Per ottenere risultati veramente efficaci Trimble consiglia di utilizzare come provider di base un set di tre stazioni di riferimento ben distribuite e con un buon indice d'integrità. È comunque possibile ottenere buoni risultati anche attraverso una singola ma affidabile stazione di riferimento, purchè sia nelle vicinanze (20-30 km); più essa è vicina e meno si risentirà infatti dell'errore atmosferico.

Ogni punto mostrato in Figura 8 rappresenta lo stesso file raccolto mediante un GPS rover, corretto in doppia frequenza e messo in contrapposizione al grafico relativo all'utilizzo di una stazione di riferimento diversa. Il file del rover contiene 40 posizioni, ognuna delle quali registrata mediante un fix di due minuti, in un periodo di 4 ore. Una stazione con un basso livello di integrità possiede un valore HRMS significativamente peggiore rispetto alla sua vicinanza al rover. La ragione principale di questo è da imputarsi alla qualità del ricevitore anche se altri fattori entrano sicuramente in gioco come: un'errata posizione dell'antenna, le condizioni atmosferiche sul luogo o il web server potrebbero essere allo stesso modo causa di problemi. Altri tipi di errori potrebbero nascere mischiando diversi sistemi di coordinate e datum; ad esempio, una errata conversione delle posizioni tra datum WGS-84 e locale potrebbe già introdurre un



Plot of three single baselines



Plot of three single baselines overlaid with a multiple baseline average

Figura 6 - Gli effetti della media di baselines multiple

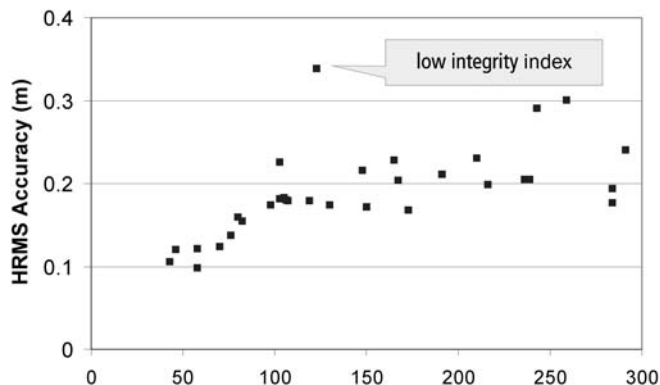


Figura 7 - Confronto tra HRMS e Distanza dal rover alla base station

errore superiore al metro. E' perciò importante ricordare che le coordinate GPS post elaborate devono riferirsi allo stesso sistema di riferimento delle Reference Station utilizzate.

La lista delle stazioni di riferimento di Trimble fornisce tutte le posizioni di riferimento seguendo l' International Terrestrial Reference Frame 2000 (ITRF2000), lo standard internazionale per l'espressione delle coordinate di riferimento GPS. Nonostante ciò, è comunque sempre meglio monitorare la posizione di riferimento utilizzata, in modo che, se si dovesse incorrere in qualsiasi tipo di cambiamento, esso non influisca sui database GIS esistenti.

## Conclusioni

La tecnologia H-Star unisce l'acquisizione di dati GPS di qualità con un sistema di software di controllo sul campo dei dati acquisiti, oltre ad avanzate tecniche di post elaborazione, ottenendo un potente sistema

che fornisce precisioni decimetriche (20-30 cm). Con H-Star ci troviamo di fronte, insomma, ad un consistente passo in avanti della tecnologia GPS, soprattutto rispetto alle tecnologie precedentemente utilizzate, diminuendo i tempi di lavoro ed allo stesso tempo aumentando la produttività. Il fatto di poter ottenere precisioni decimetriche con soli 2 minuti di stazionamento è esemplificativo del salto produttivo che la tecnologia Trimble vi mette a disposizione; le stazioni di riferimento possono distare anche più di 200 km, riducendo i costi per la dotazione di una apposita infrastruttura. Oltretutto, molti luoghi sono adeguatamente serviti con dati di base liberamente consultabili su Internet. H-Star utilizza un design avanzato per il ricevitore e sofisticate tecniche di elaborazione senza per questo appesantire il lavoro dell'operatore con la sua complessità: lo stesso staff che si occupa della gestione degli attributi informativi del GIS può a sua volta raccogliere dati precisi in maniera semplice, aumentando la flessibilità di tutto il flusso di lavoro ed ovviamente la produttività dell'azienda.

*Estratto da H-Star technology explained White Paper*



A sinistra l'antenna Zephyr al lavoro, a destra il dispositivo palmare GeoXH