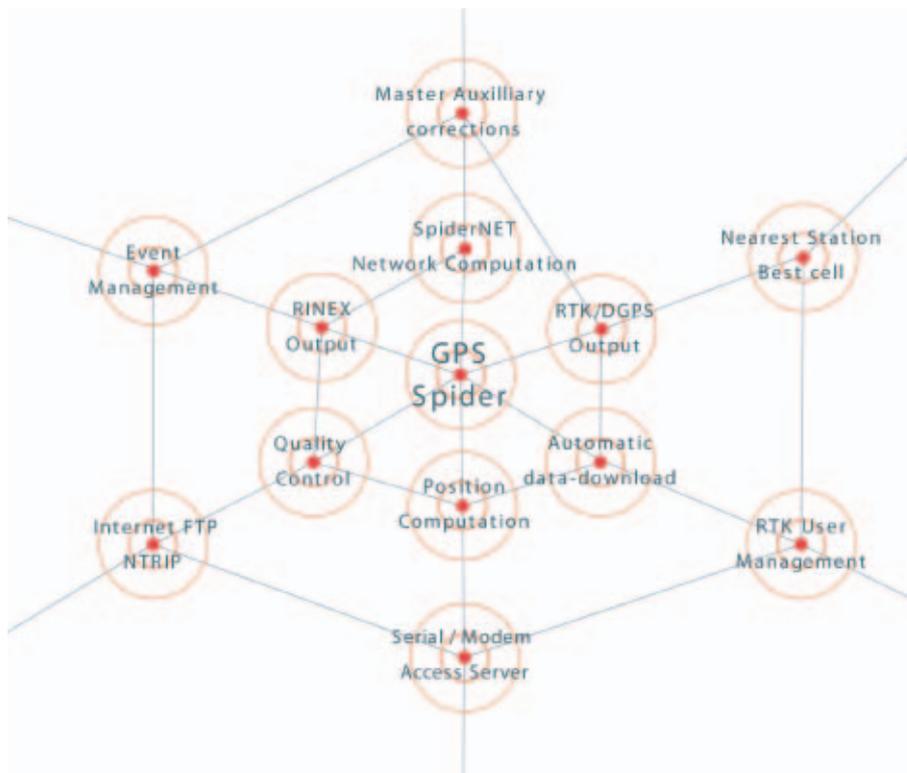


Tecnologie RTK e Multiref GPS: SpiderNET di Leica



L'approccio Master-Auxiliary Concept

Il concetto fondamentale dell'approccio intrapreso da Leica è sostanzialmente quello di trasmettere tutti i dati rilevanti di correzione da un network di riferimento direttamente al rover in forma compatta rappresentando i dati di osservazione ed ambiguità livellata come differenziali di correzione per dati dispersivi e non-dispersivi; questa soluzione è ormai riconosciuta come *Master-Auxiliary Concept* (MAC) e rappresenta la base per i messaggi RTCM 3.0 all'interno di network RTK.

I vari studi e documenti che sono seguiti all'iniziale presentazione della soluzione MAC hanno definitivamente accordato al Master-Auxiliary Concept l'importanza che merita, riconoscendone la superiorità nei confronti delle

precedenti iniziative nello stesso settore in termini di applicabilità e operatività, anche con contenuti di dati non-standard e di distribuzione.

Linee guida del Master-Auxiliary Concept

Requisito fondamentale del MAC è che le *phase ranges* delle stazioni di riferimento siano ridotte ad un *livello comune di ambiguità*; due stazioni di riferimento sono ridotte ad un livello comune di ambiguità quando le *integer ambiguities* per ogni *phase range* (coppia satellite-ricevitore) sono state rimosse (o corrette) permettendo la cancellazione delle *integer ambiguities* quando si formano differenze doppie. Lo scopo principale del software di elaborazione per il network è quello di ridurre tali ambiguità per le *phase ranges* ad un livello comune in tutte le

Alla fine del 2001 Leica Geosystems insieme con Geo++ presentò alla Commissione Speciale 104 dell'RTCM un documento dal titolo "Study Of A Simplified Approach In Utilizing Information From Permanent Reference Station Arrays"; lo studio conteneva una soluzione standardizzata per i messaggi di correzione differenziale all'interno di un network GPS creata per superare le problematiche insite all'interno dei precedenti approcci. Da quel momento Leica Geosystems si è fatta portavoce di una battaglia per il raggiungimento di un unico standard per i network RTK con lo scopo di far beneficiare l'intera industria del rilevamento di tale innovazione. E' ormai dal 2001 che la proposta avanzata da Leica Geosystems e Geo++ non viene modificata sostanzialmente ma soltanto "raffinata" da idee provenienti da altre aziende; al momento, la soluzione *Master-Auxiliary Network Messages* rimane immutata da più di un anno e rappresenta l'unica di standardizzazione per reti RTK pienamente documentata (e quindi considerata) nelle mani della Commissione Speciale 104 dell'RTCM. Proprio come era già avvenuto prima che l'NTRIP fosse riconosciuto come standard, anche la soluzione RTCM 3.0 è già disponibile all'interno della soluzione GPS Spider Reference Station Software del sistema GPS System 1200 di Leica. L'accettazione ufficiale e l'effettiva utilizzazione dello standard dipenderà dall'esito dei test di interoperabilità portati avanti dalla commissione dell'RTCM e dalle maggiori compagnie del settore.

stazioni di riferimento del network (o sub-network). Una volta che questa operazione è conclusa sarà dunque possibile calcolare gli errori dispersivi e non-dispersivi per ogni coppia satellite-ricevitore e per le diverse frequenze (L1/L2/L5).

Allo scopo di ridurre il volume di dati da trasmettere all'interno di un network, il Master Auxiliary Concept predispone l'invio delle informazioni relative alle correzioni e alle coordinate ad una singola stazione di riferimento che fungerà dunque da *master station*. A

tutte le altre stazioni di riferimento del network (o sub-network) che saranno chiamate *auxiliary stations*, vengono trasmessi i dati differenziali relativi alle correzioni ed alle coordinate.

Le informazioni differenziate, calcolate rispettivamente tra master station e auxiliary stations, sono in questo modo numericamente minori e possono essere altresì rappresentate all'interno dei messaggi con una quantità inferiore di bits.

Le informazioni sulle differenze di correzione potranno essere utilizzate dal rover semplicemente per interpolare l'errore sul luogo in cui si trova l'utente o per ricostruire l'intera informazione di correzione da tutte le stazioni di riferimento presenti nel network (o sub-network). Il MAC supporta dunque un *simplex communication media* senza alcuna perdita di performance di posizionamento segnalata al rover. L'ampiezza della banda richiesta per la trasmissione dei dati può essere ulteriormente ridotta in seconda battuta segmentando le correzioni in due singoli valori: quello affetto da errori dispersivi e quello che invece subisce errori non-dispersivi. Gli errori dispersivi sono direttamente correlati alla frequenza del segnale mentre gli errori non-dispersivi rimangono sempre gli stessi qualsiasi sia la frequenza; dal momento che la relazione tra frequenza ed errore dovuto alla ionosfera è noto, è dunque possibile rappresentare una piena correzione su tutte le frequenze (L1/ L2/L5) all'interno dei due singoli valori. Inoltre, essendo gli errori dovuti alla troposfera e alle orbite conosciuti per cambiare lentamente nel tempo, ne consegue che la componente non-dispersiva non

necessita di essere trasmessa alla stregua di quanto viene fatto con quella dispersiva che ha inoltre la caratteristica di poter ridurre l'ampiezza della banda necessaria per inviare le correzioni di network al rover.

Il Master Auxiliary Concept permette al rover la flessibilità di poter operare una singola ed efficiente interpolazione sulle correzioni del network o di effettuare calcoli più impegnativi a seconda delle capacità di elaborazione del rover stesso; il sistema Leica GX1230 RTK è dotato di una potente unità di elaborazione che gli permette di massimizzare le potenzialità di correzione del MAC sfruttando sofisticate tecniche di modellamento degli errori. La stazione di riferimento indicata come master non deve necessariamente essere la più vicina rispetto all'utente, anche se ciò è preferibile, dal momento che essa viene utilizzata solamente con compiti di trasmissione dati, e non assume, dunque, particolari funzioni nell'elaborazione degli errori.

Se per qualsiasi motivo la master station non dovesse essere disponibile, il suo ruolo potrebbe essere ricoperto da una qualunque delle stazioni di riferimento ausiliarie assicurando, in questo modo, una importante continuità nel lavoro

SpiderNET

Il software Leica GPS Spider è stato concepito ed implementato secondo caratteristiche di flessibilità, modularità ed affidabilità; il software, totalmente dedicato alla gestione di networks RTK, si adatta perfettamente alle problematiche che si devono affrontare

in una rete di stazioni di riferimento, sia essa grande o piccola, semplice o complessa. La versione 2.0 di Leica GPS Spider utilizza gli ultimi algoritmi di elaborazione a differenza zero con l'obiettivo di assicurare ottime performances ed alta affidabilità. SpiderNET ha passato numerosissimi test condotti con diversi dataset provenienti da tutto il mondo allo scopo di assicurare prestazioni di rilievo anche durante periodi in cui la componente ionosferica è di grosso disturbo e quando vi siano notevoli differenze nelle quote delle stazioni di riferimento. SpiderNET supporta numerosi formati di input, compresi il Leica LB2, l'RTCM e numerosi formati grezzi di diversa provenienza. Un range completo di formati dedicati alla correzione sono supportati per essere applicati direttamente sul campo inclusi l'RTCM 3.0, l'RTCM 2.x, il CMR e il CMR+.

Leica GPS Spider si compone di cinque componenti fondamentali: *Site Server*, *Network Server*, *Cluster Server*, *RTK Proxy Server* e la *Spider User Interface*. I moduli *server* possono tranquillamente girare insieme su un singolo computer oppure separatamente su diverse macchine. L'architettura del Leica GPS Spider è fortemente scalabile e permette di distribuire il lavoro di un network RTK su diversi computers, così da ridurre le problematiche di calcolo e portare al massimo le performance della rete.

La stessa architettura, flessibile e distribuita, permette inoltre di ottenere una alta ridondanza dell'intero sistema, allo scopo di assicurare una *network services* altamente efficiente e sicuro. I computer dotati di multiprocessore sono regolarmente supportati in modo da affrontare al meglio le incalzanti necessità di calcolo richieste al giorno d'oggi.

L'algoritmo di elaborazione

Il cuore pulsante della soluzione SpiderNET è concepito e sviluppato per conformarsi e connettersi al meglio con le potenzialità espresse dal nuovo standard RTCM per i messaggi di correzione. Essa sfrutta lo stato dell'arte nel campo degli algoritmi per massimizzare i benefici apportati dai network RTK direttamente al rover impegnato sul campo. Per la stima dei parametri rilevanti, comprese le *network ambiguities* e i modelli atmosferici, SpiderNET utilizza codici a differenza zero e misure di fase con filtro di Kalman basate su osservazioni

Il funzionamento delle tecnologie MAX e i-MAX



ottimizzate matematicamente. Questo approccio ha necessariamente numerosi punti di forza rispetto alle normali strategie basate sulle elaborazioni a doppia differenza. Lavorando con singole osservazioni, SpiderNET incrementa la quantità di dati disponibili, riduce la debolezza del sistema nei confronti di eventuali guasti informatici e permette una più puntuale previsione degli errori atmosferici e non. Operando in questo modo si evita inoltre di incontrare le combinazioni lineari osservabili col GPS (combinazioni wide-lane e ionosphere-free) che influenzano ed amplificano il rumore ed il multipath delle misure. SpiderNET ha un ciclo di aggiornamento di 1Hz, e l'elaborazione continua assicura che le correzioni trasmesse dal network siano sempre disponibili ogni qualvolta un sistema rover si connetta alla rete.

Oltre alle *network ambiguities*, il filtro di Kalman viene impiegato per stimare modelli deterministici della ionosfera e della troposfera, stimare gli orologi del ricevitore e del satellite ed anche le orbite di questi ultimi. Vengono anche impiegati modelli stocastici per la ionosfera e gli orologi del satellite al fine di assicurare che gli errori vengano modellati con la maggior fedeltà possibile. Per rendere ancora più precise le correzioni, possono essere impiegati i parametri orbitali di precisione calcolati da altre organizzazioni come l'IGS e l'AIUB.

Per la risoluzione delle ambiguità di fase, SpiderNET utilizza il ben conosciuto e affidabile metodo LAMBDA; operando costantemente in sinergia con la tecnologia SmartCheck integrata nei sistemi rovers della serie GX1230 RTK, SpiderNET verifica continuamente le ambiguità di fase assicurando che quest'ultime siano state corrette con la massima precisione possibile.

Networks, clusters e celle

Per ragioni pratiche, l'elaborazione del network e la distribuzione delle correzioni Master-Auxiliary sono fondate su di un sistema con architettura a serie di networks, clusters e celle.

Un network è una raccolta di stazioni di riferimento che devono essere combinate per la generazione di correzioni di network. Un cluster è un sub-network di stazioni che vengono elaborate insieme al fine di ottenere un livello comune di ambiguità. Per networks di piccole dimensioni, l'intero sistema può essere contenuto all'interno

di un singolo cluster. Per quelli più grandi, dove si necessita un tipo di calcolo di livello superiore, c'è bisogno di più clusters in modo da distribuire l'elaborazione su più computers. I singoli punti all'interno del network possono venire a trovarsi all'interno di più di un cluster permettendo l'overlap tra questi ultimi (Fig. 2). Ogni cluster del network può trovarsi o meno nello stesso *integer level*. Una cella è una selezione di punti presi da un cluster e costituita da una master station e da un certo numero di stazioni ausiliarie e che viene utilizzata per generare correzioni Master-Auxiliary (Fig. 3).

Dal momento che SpiderNET processa tutti i dati con lo stesso filtro, ogni punto nel cluster viene ridotto allo stesso livello di ambiguità. Dal punto di vista dell'utente questo significa che non c'è nessun limite artificiale che restringe l'utilizzo a tre sole stazioni di riferimento come avviene cimentandosi con altri approcci, aprendo quindi lo sfruttamento per la determinazione delle correzioni da dare al rover ad un numero ottimale di stazioni di riferimento.

Allo stesso tempo, impiegando un numero superiore di stazioni rispetto alle tre sopracitate, il rover non incapperà in nessun tipo di difficoltà semmai una di esse lo abbandonasse a causa di un imprevisto dovuto ad una errata comunicazione o ad altri fattori che inevitabilmente entrano in gioco in queste situazioni. La flessibilità della soluzione GPS Spider permette di aggiungere nuovi moduli dedicati alle orbite ed alla meteorologia estendendo la sua operatività e supportando tutte le innovazioni sia del GPS che del futuro sistema europeo Galileo.

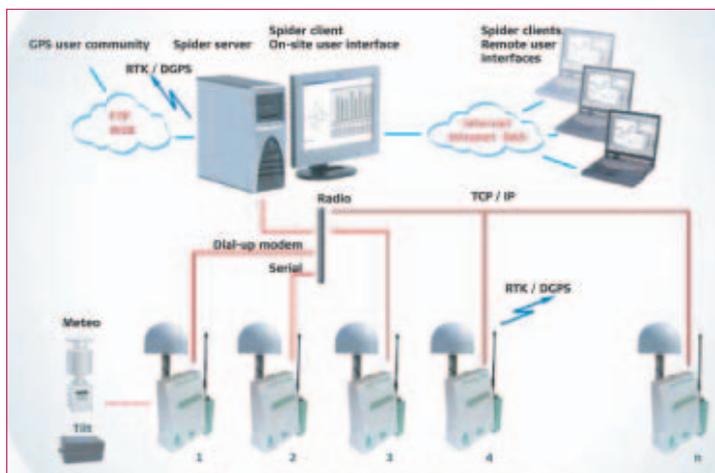
Master Auxiliary Corrections (MAX)

La trasmissione delle correzioni può avvenire con un set di celle create dall'utente del network stesso, in modo tale da utilizzarle nella trasmissione delle correzioni Master-Auxiliary (MAX) ai rovers. L'utente del rover potrà connettersi al servizio di correzione più prossimo alla locazione geografica in cui si trova; a seconda della dimensione del network, celle multiple potranno essere definite per ottimizzare la trasmissione dei dati riducendo il numero di stazioni contenute nei messaggi di correzione. In caso di comunicazioni biunivoche, Leica GPS Spider sceglierà automaticamente i punti migliori per le celle utilizzate per generare le correzioni MAX per ogni rover. Ci si riferisce a questo tipo di correzione col nome Auto-MAX.

Scegliendo la configurazione ogni volta più appropriata, le correzioni Auto-MAX minimizzano la banda richiesta per la trasmissione della stessa. La master station viene sempre scelta tra quelle più vicina al rover; quelle ausiliarie, invece, vengono scelte intorno al network per fornire il miglior set di correzioni possibile rispetto alla posizione del rover. Grazie ad Auto-MAX anche i networks di riferimento più grandi saranno serviti egregiamente mediante un solo canale di comunicazione.

Master-Auxiliary Corrections individualizzate (i-MAX)

Per supportare pienamente i ricevitori rover ormai un po' datati e che quindi non riescono ad interpretare i messaggi RTK RTCM 3.0 all'interno del network, Leica GPS Spider è in grado di produrre



Stazioni di riferimento GPS con ricevitori Leica Systems 1200 e 500

correzioni Master-Auxiliary individualizzate, le i-MAX. Queste ultime richiedono comunicazioni biunivoche e possono essere trasmesse tramite formati RTCM 2.3 e RTCM 3.0. Al contrario di altri approcci, i-MAX usa una vera stazione di riferimento come sorgente per le correzioni così da favorire la consistenza e la tracciabilità delle correzioni ricevute dal rover.

L'interpolazione operata da Leica GPS Spider per le correzioni i-MAX è la stessa che viene utilizzata dal Leica GX1230 RTK quando effettua posizionamenti utilizzando correzioni Master-Auxiliary. A riprova di questo, la performance del rover che utilizza i-MAX è paragonabile a quella di un rover che invece supporta le correzioni Master-Auxiliary. Il flusso di dati ed i passi principali da compiere nell'utilizzo della tecnologia i-MAX sono evidenziati in Fig.4.

La ri-elaborazione

SpiderNET può lavorare in tempo reale sui normali network RTK oppure in modalità di ri-elaborazione per i test sul network. In quest' ultima modalità i punti di riferimento sono simulati utilizzando i dati provenienti da log files in MDB o

RINEX precedentemente elaborati. Tutte le funzionalità dell'applicazione GPS Spider, come l'elaborazione del network, la generazione di flussi di correzione ed il logging dei dati funzionano in modalità di ri-elaborazione allo stesso modo come se stessi lavorando in tempo reale, rendendo possibile una simulazione completa di un network di riferimento operativo; il tutto risulta estremamente utile se si ha intenzione di testare la configurazione del network prima di installare l'intera infrastruttura hardware o per adeguare l'elaborazione alle condizioni locali.

Il Concetto di Sicurezza

Il concetto di sicurezza del Leica GPS Spider è pienamente integrato all'interno della soluzione fin dalla sua ideazione e non è stato implementato in un secondo tempo come invece avviene nella maggior parte degli altri casi. Tale concetto provvede ad operare una separazione della parte operativa e di elaborazione da quella dedicata alla distribuzione dei dati, proteggendo l'infrastruttura chiave del sistema così come i dati sensibili relativi all'utenza connessa col servizio RTK centralizzato.

La componente chiave del sistema di sicurezza di Leica GPS Spider è l'RTK Proxy Server. Esso è situato all'esterno del firewall e viene utilizzato per fornire i dati di correzione agli utenti sia direttamente, tramite ad esempio NTRIP o il TCP/IP, che indirettamente attraverso un router d'accesso. Le comunicazioni tra il modulo di elaborazione del network (il Network Server) e l'RTK Proxy Server possono avere inizio solo grazie al Network Server.

Tutte le informazioni sensibili degli utenti sono conservate all'interno di un database coperto dal firewall e non all'interno dell' RTK Proxy Server e del router d'accesso, come nel caso dei sistemi concorrenti. Questo impedisce a qualsiasi hacker che abbia intenzione di intrufolarsi all'interno del Proxy Server (che di solito è aperto su internet) di avere accesso alle informazioni personali degli utenti o alle diverse parti del sistema. Leica GPS Spider riesce nell'arduo compito di proteggere gli utenti da attacchi esterni e, allo stesso tempo, di minimizzare gli sforzi che si devono affrontare per integrare il sistema all'interno delle esistenti infrastrutture e procedure informatiche.

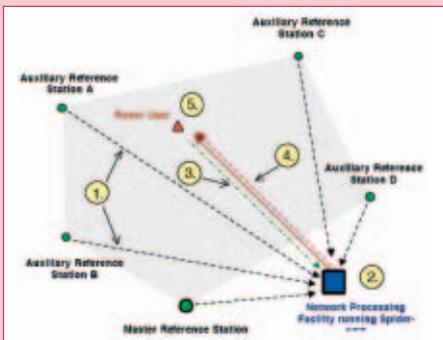
Distribuzione dei dati, gestione utenti e transazioni

Leica GPS Spider supporta comunicazioni tramite NTRIP, TCP/IP, seriale, radio, GSM, GPRS, CDMA e modem oltre ai router d'accesso, che possono essere utilizzati per interfacciare le linee ISDN ed altre tecnologie per la comunicazione. La soluzione offre anche un servizio avanzato RTK centralizzato che può distribuire le correzioni dal punto singolo e più vicino con la stessa flessibilità e sicurezza che si ottiene con le correzioni per il network.

L'autenticazione, l'autorizzazione, l'accounting e l'auditing (AAAA) sono pienamente integrate all'interno di Leica GPS Spider in maniera centralizzata, sicura e semplice. L'operatore del network sarà in grado di specificare a quale singolo punto o correzione l'utente potrà accedere; ogni connessione dell'utente verrà affiancata dalla creazione di un log file ed in seguito immagazzinata all'interno di un log XML. Verranno supportate le autenticazioni basate sul numero telefonico, l'NTRIP, l'indirizzo IP e NMEA GPUID.

Estratto da "Leica Geosystems Networked Reference Stations White Paper"

A cura della redazione



1. Trasmissione dei dati di osservazione grezzi dalla stazione di riferimento al modulo di elaborazione del network
2. Processo di stima del network che include la risoluzione delle ambiguità per ridurre le stazioni ad un medesimo livello di ambiguità
3. (Opzionale) Posizione NMEA GGA inviata dal rover al modulo di elaborazione del network. Le stazioni di riferimento più appropriate vengono scelte per il rover a seconda della sua posizione
4. Formazione e trasmissione di messaggi di network RTCM 3.0 utilizzando correzioni per la master station e differenze di correzione per le stazioni ausiliarie
5. Elaborazione della posizione del rover ad alta precisione usando informazioni complete dal network di riferimento

Figura 1 - Generazione di Master-Auxiliary Corrections (MAX) per un rover

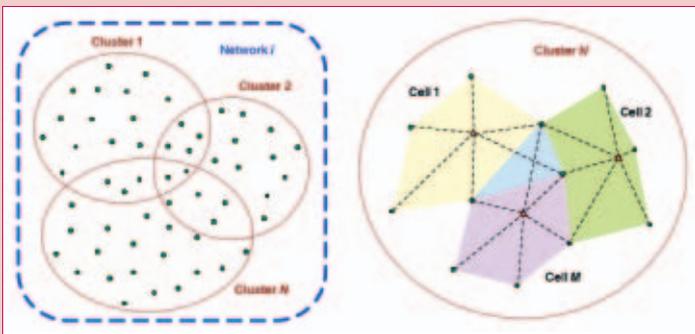
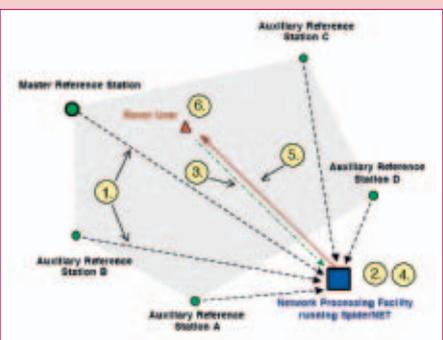


Figura 2 Un network di riferimento comprendente un certo numero di clusters

Figura 3 Un cluster che fornisce Master-Auxiliary Corrections a molti rovers, con ognuno di essi che utilizza una cella appropriata basata sulla sua posizione



1. Trasmissione dei dati di osservazione grezzi dalla stazione di riferimento al modulo di elaborazione del network
2. Processo di stima del network che include la risoluzione delle ambiguità per ridurre le stazioni ad un medesimo livello di ambiguità
3. Posizione NMEA GGA inviata dal rover al modulo di elaborazione del network. Le stazioni di riferimento più appropriate vengono scelte per il rover a seconda della sua posizione. La master station viene scelta essendo la stazione di riferimento più vicina al rover
4. Leica GPS Spider calcola le correzioni per il network dedicate al rover e le applica alle osservazioni della master station
5. Formazione e trasmissione di correzioni RTCM 2.3 o di formati Leica dalla master station
6. Elaborazione della posizione del rover ad alta precisione usando il network di riferimento

Figura 4 - Generazione di correzioni master-auxiliary (i-MAX) individualizzate per il rover