

# Rilievi GPS RTK con correzioni differenziali via Internet

DI M. CRESPI E G.M. MALENA

**A**ttualmente i rilievi GPS in tempo reale RTK (*Real Time Kinematic*) costituiscono argomento di grande interesse nelle applicazioni professionali e nella ricerca perché presentano notevoli vantaggi pratici (non è richiesta la post-elaborazione), riducono i tempi di lavoro e consentono di ottenere risultati con una precisione subdecimetrica (in qualche caso pluricentrica), quanto meno su distanze brevi (5-10 km) tra la stazione base e il ricevitore mobile.

I vantaggi di questo metodo sono rappresentati dalla facilità del rilevamento, che consente di ottenere le posizioni senza attendere la post-elaborazione, e dai limitati costi, che risultano modesti rispetto alle precisioni conseguibili.

D'altra parte, allo stato attuale, il metodo non offre sufficiente affidabilità, in quanto le posizioni del ricevitore *rover* dipendono strettamente dalla posizione della stazione *master* (generalmente provvisoria nell'ambito di ogni rilievo, con posizione determinata nell'ambito del rilievo medesimo) e dalle modalità di trasmissione ed elaborazione real time dei dati, ed inoltre non vi sono concrete possibilità di controllo, a meno di ripetere più volte il rilievo degli stessi punti, a scapito dell'efficienza del metodo.

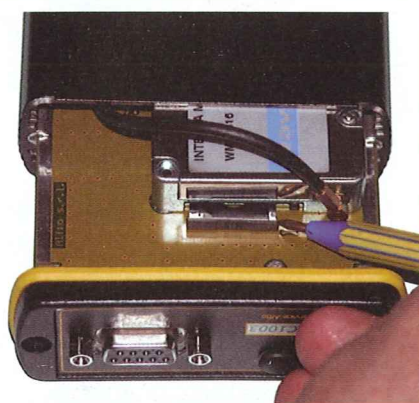
Si è ritenuto quindi importante analizzare la qualità del metodo, supponendo di utilizzare come stazioni *master* più stazioni permanenti inquadrate in IGM95 e poste a distanze diverse dal luogo del rilievo, in modo da poter valutare il loro contributo congiunto sulla precisione e sull'affidabilità del rilievo. Ciò si è ritenuto particolarmente significativo per la crescente importanza che le stazioni permanenti GPS stanno assumendo.

A tal fine è stata condotta dall'Area di Topografia del Dipartimento di Idraulica

Trasporti e Strade dell'Università di Roma "La Sapienza" una sperimentazione volta a valutare, tramite rilievi RTK di vertici di coordinate note, la precisione e l'affidabilità delle posizioni determinate con correzioni differenziali trasmesse via Internet e gestite da un nuovo sistema di trasmissione e ricezione di tali correzioni denominato RIR (RTCM Internet Receiver). Tale sistema è stato utilizzato in versione prototipale durante la sperimentazione ma è ora disponibile in una versione commerciale notevolmente più *user friendly*. A tal fine è stata utilizzata una piccola rete di stazioni permanenti (3 stazioni), georeferenziate nel sistema di riferimento IGM95 (WGS84-ETRF89) ed equipaggiate con il software del sistema RIR per la generazione delle correzioni differenziali, e sono stati impiegati due tra i più comuni ricevitori GPS in commercio di classe geodetica (Leica 530 e Javad-Topcon Legacy E).

base o *master*) ed uno su un vertice da determinare (ricevitore mobile o *rover*).

La stazione base è generalmente costituita da un ricevitore GPS di classe geodetica e per essa è nota con estrema precisione (centimetrica o sub-centimetrica) la posizione nel sistema di riferimento nel quale si intendono determinare le coordinate del ricevitore mobile (ad esempio: ITRF97, ITRF2000, WGS84-ETRF89 o IGM95). Un opportuno software installato presso tale stazione base calcola le correzioni di pseudorange e di fase e le loro variazioni nel tempo, che vengono trasmesse al ricevitore mobile. In pratica, attraverso la conoscenza delle effemeridi GPS è possibile risalire all'effettiva distanza ricevitore-satellite; le misure di pseudorange e/o di fase vengono quindi comparate con la distanza calcolata, determinando così il valore complessivo dell'errore insito nella misura considerata. L'operazione viene compiuta



Il ricevitore RIR che integra il modem GSM e le componenti HW e SW per la ricezione delle correzioni DGPS e RTK.



## Cenni sul posizionamento differenziale

Nel posizionamento GPS differenziale si usano due o più ricevitori: uno su di un vertice di posizione nota (stazione

ta in maniera continua (circa una volta al secondo) e le correzioni per ogni satellite GPS tracciato vengono trasmesse al ricevitore mobile attraverso un messaggio di correzione.

La procedura è eseguita in tempo reale realizzando un collegamento tra le due stazioni generalmente via radio modem o modem telefonico. Il ricevitore mobile applica le correzioni alle misure pseudorange e/o di fase e calcola la posizione del punto sul quale si trova, migliorando notevolmente la precisione delle coordinate.

Il sistema necessario per eseguire un rilevamento GPS in modalità RTK è pertanto complessivamente articolato in 3 componenti principali: la stazione base (*master*) - il ricevitore mobile (*rover*) - l'apparato di trasmissione (*data link*).

Il ricevitore di una stazione permanente GPS, se dotato di un apposito software link di comunicazione, può calcolare e distribuire, in tempo reale, le correzioni differenziali DGPS o RTK che consentono all'utente di determinare la propria posizione con precisione metrica (DGPS) o sub-decimetrica (RTK), stazionando sul punto da rilevare per 1-2 minuti.

Il sistema mobile è costituito da un ricevitore GPS e da un demodulatore del segnale di correzione; tale segnale, generato dalla stazione base, viene ricevuto dal ricevitore mobile, demodulato e applicato allo pseudorange e/o alla fase misurati per ciascun satellite osservato contemporaneamente dalla stazione base e dal ricevitore mobile. Occasionalmente una ulteriore correzione (correzione delta) può essere apportata alle misure se la stazione base osserva una costellazione diversa da quella del ricevitore mobile.

Il *data link* permette il collegamento tra la stazione di riferimento e la stazione mobile. Esistono varie modalità di trasmissione dati, che in ogni caso devono garantire una limitata latenza (ritardo tra l'istante di generazione delle correzioni differenziali da parte della stazione *master* e quello del loro impiego da parte del ricevitore *rover*), generalmente inferiore ad 1 s per le misure di fase e ad una decina di secondi per quelle di pseudorange.

(Per ulteriori dettagli riguardanti le correzioni differenziali vedasi la scheda di approfondimento al termine dell'articolo).

## Il sistema RIR (RTCM Internet Receiver)

La novità di questo *data link* è rappresentata dall'apparato di trasmissione dei dati: il comune collegamento, realizzato generalmente con un radio trasmettitore o con un apparato telefonico GSM, è stato sostituito con un apparato detto RIR,

che integra un modem per telefonia cellulare GSM dedicato alla gestione del collegamento con la rete Internet.

Il sistema, realizzato dalle società D.G. Service s.r.l. e Alfio s.r.l., è nato successivamente all'assegnazione da parte dell'Internet Assigned Numbers Authority (IANA) di una specifica porta TCP/IP ed UDP (porta 2101) per il rilascio delle correzioni RTCM via Internet.

L'attenta analisi del sistema standardizzato dalla IANA ha portato le due società a riflettere sull'opportunità di verificare la fattibilità applicativa di tale tecnica che presentava due grandi opportunità: quella di realizzare un sistema multiutente con caratteristiche di comunicazione bidirezionale e quella di evitare grossi costi di impianto ed infrastrutturali.

Per coniugare queste due esigenze si è ritenuto indispensabile poter accedere alla rete Internet tramite un modem GSM. Infatti, la rete GSM è l'infrastruttura di trasmissione e/o ricezione dati più estesa mentre la rete Internet permette la distribuzione dei dati con la caratteristica intrinseca di multiutenza.

Le caratteristiche fondamentali che il dispositivo RIR possiede sono le seguenti:

- la possibilità di compiere automaticamente (previa opportuna impostazione) le operazioni necessarie al collegamento alla rete Internet;
- il basso costo di realizzazione;
- la semplicità d'uso;
- le dimensioni ridotte;

Conseguentemente, l'utilizzo contemporaneo della rete GSM e della rete Internet ha permesso la realizzazione di un sistema completo per la trasmissione e la ricezione dei dati di correzione generati da una stazione permanente di riferimento GPS.

Il sistema realizzato è composto da una componente software ed una hardware. Il software residente presso la stazione base preleva i dati di correzione differenziale, li prepara e li instrada verso la rete Internet, rendendoli fruibili agli utenti. La componente hardware riceve i dati da Internet e li instrada verso il ricevitore GPS utilizzando una porta di comunicazione seriale RS232 standard.

Il presupposto per il funzionamento del sistema è ovviamente la presenza di un collegamento alla rete Internet presso la stazione base, condizione generalmente soddisfatta presso le stazioni permanenti GPS.

Il software che supporta le operazioni

presso la stazione base non necessita di elaboratori di elevate capacità di calcolo; ovviamente tali elaboratori (in genere comuni PC) debbono soddisfare le caratteristiche minime imposte dalle case costruttrici dei ricevitori GPS per il corretto funzionamento dei software destinati al controllo dei ricevitori medesimi. Il software che gestisce l'invio dei dati in rete esegue anche tutte le operazioni di gestione degli accessi e l'eventuale instradamento degli utenti verso indirizzi IP specifici. La caratteristica tecnica peculiare del server è quella di formattare i dati di correzione per l'invio in rete secondo il protocollo di trasmissione TCP/IP, standard per la rete Internet.

Il dispositivo hardware che riceve i dati sul ricevitore *rover* è composto da due sezioni:

- 1 - una dedicata all'esecuzione delle procedure di negoziazione per l'accesso alla rete e per il collegamento al server;
- 2 - l'altra dedicata alla trasmissione/ricezione dei dati.

La prima sezione è il cuore del sistema ed è composta da un microprocessore a 16 bit che gestisce il circuito elettronico dotato di porte seriali, due delle quali impiegate per il collegamento esterno. Il microprocessore gestisce prima la parte di telecomunicazione (modem) eseguendo in automatico le chiamate al POP e l'invio delle informazioni necessarie per l'accesso alla rete (user ID, password) e poi esegue sia l'elaborazione dei dati ricevuti, ricomponendoli secondo la formattazione originale (quella che avevano prima che venissero tradotti dal sistema server per l'immissione in rete) sia l'invio alla porta seriale sulla quale viene collegato il ricevitore GPS, mentre le operazioni di comunicazione sono affidate ad un modem Falcom A2D.

## La sperimentazione

Nell'ambito della sperimentazione sono stati rilevati otto vertici IGM95 (Figura 1, Tabella 1), in modo da poter confrontare le soluzioni finali, sia comparandole tra loro sia con le coordinate da monografia (assunte come riferimento) e da desumere la qualità delle soluzioni stesse e la loro dipendenza dai seguenti parametri:

- distanza dalla stazione base
- durata dello stazionamento (1 minuto e 2 minuti)
- configurazione satellitare (PDOP)
- tipo di ricevitore

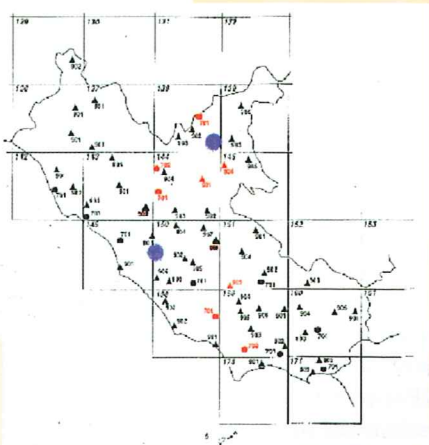


Fig. 1 - Vertici IGM95 rilevati nel corso della sperimentazione (in rosso) e stazioni permanenti di Roma e Rieti (in blu) (la stazione permanente di Ancona è fuori quadro)

**Comportamento del sistema rispetto ad una stazione base**  
**DISTANZA DALLA STAZIONE DI RIFERIMENTO**

Entrambi i ricevitori hanno evidenziato una dipendenza della precisione in funzione della distanza dalla stazione di riferimento, ma in modo diverso per la planimetria e la quota; tale dipendenza è risultata più marcata per il ricevitore

Topcon con 1 minuto di stazionamento.

**DURATA DELLA SESSIONE**

All'aumentare della durata della sessione di misura, passando da 1 a 2 minuti, si è rilevato un aumento della precisione delle coordinate, ma in modo diverso per i due ricevitori. Il ricevitore Leica non ha mostrato sensibili differenze mentre per il ricevitore Topcon i miglioramenti all'aumentare del tempo di acquisizione sono

stati sensibili.

**CONFIGURAZIONE SATELLITARE**

Per quanto riguarda lo studio del comportamento in funzione della bontà della configurazione satellitare, espressa in questa sede dal PDOP, non si sono evidenziate particolari dipendenze; un PDOP elevato non ha comportato una evidente degradazione della qualità delle soluzioni.

**TIPI DI RICEVITORI MASTER E ROVER**

Come accennato, le tre stazioni di riferimento sono state allestite con tre ricevitori GPS differenti, rispettivamente Roma - Trimble4000SSI, Rieti - Leica 530, Ancona - Javad-Topcon Legacy E; si è evidenziato che alcune combinazioni ricevitore mobile-stazione base hanno fornito risultati migliori di altre e, in generale, i ricevitori mobili hanno avuto un comportamento migliore quando i dati di correzione differenziale provenivano da una stazione base realizzata con uguale ricevitore, a volte indipendentemente dalla distanza.

In particolare, il ricevitore Topcon ha avuto migliori prestazioni utilizzando le stazioni di riferimento di Roma e Ancona; diversamente, il comportamento migliore del ricevitore Leica si è riscontrato utilizzando la stazione di Rieti.

**CONCLUSIONI**

Al termine delle elaborazioni relative agli esperimenti di posizionamento rispetto ad una stazione di riferimento si è cercato di aggregare i risultati per classi di distanze (i limiti delle classi sono intermedi rispetto ai valori di riferimento), indipendentemente dal tipo di ricevitore, ottenendo quanto mostrato in Tabella 2; è interessante notare che l'aumento della durata della sessione da 1 a 2 minuti ha un effetto rilevante soprattutto entro i 50 km, ove il prolungamento dello stazionamento aumenta significativamente la probabilità di fissare le ambiguità iniziali a valori interi.

**Comportamento del sistema con una rete di stazioni permanenti**

Per verificare le potenzialità del sistema rispetto ad una rete di stazioni di riferimento che, a differenza di quanto avviene con un'unica stazione, garantisce l'affidabilità statistica della soluzione, tenendo presente la dipendenza di quest'ultima dalla distanza dalla stazione di riferimento, ci si è posti il seguente problema: Qual è la precisione della soluzione ottenuta come media pesata (in funzione della distanza) delle soluzioni relative alle tre stazioni di riferimento?

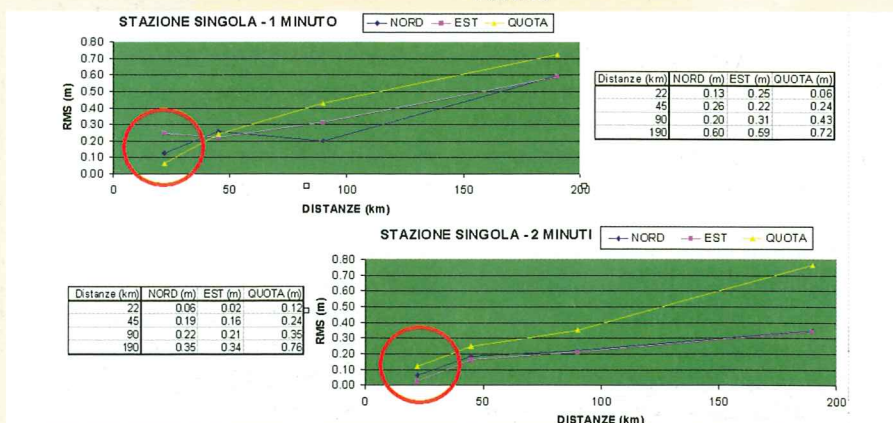
Sulla base delle precisioni ( $1\sigma$ ) per classi di distanza sopra riportate (Tabella 1), disponendo di tre stazioni permanenti di riferimento, è stato possibile calcolare la soluzione relativa ad ogni vertice IGM95 come media pesata delle tre

| Descrizione       | Codice  | Stazione di riferimento | Distanza (km) |
|-------------------|---------|-------------------------|---------------|
| LONGONE SABINO    | 145904  | RIETI                   | 15            |
| MORLUPO           | 144701  | ROMA                    | 22            |
| LABRO             | 138701  | RIETI                   | 24            |
| SCANDRIGLIA       | 144901  | RIETI                   | 28            |
| CIVITA CASTELLANA | 144702  | ROMA                    | 34            |
| SCANDRIGLIA       | 144901  | ROMA                    | 42            |
| CIVITA CASTELLANA | 144702  | RIETI                   | 46            |
| MORLUPO           | 144701  | RIETI                   | 53            |
| SEGN              | 151903A | ROMA                    | 55            |
| LONGONE SABINO    | 145904  | ROMA                    | 56            |
| TOR TRE PONTI     | 158701  | ROMA                    | 61            |
| LABRO             | 138701  | ROMA                    | 69            |
| SEGN              | 151903A | RIETI                   | 78            |
| PONTINIA          | 159702  | ROMA                    | 82            |
| TOR TRE PONTI     | 158701  | RIETI                   | 103           |
| PONTINIA          | 159702  | RIETI                   | 119           |
| LABRO             | 138701  | ANCONA                  | 140           |
| LONGONE SABINO    | 145904  | ANCONA                  | 159           |
| SCANDRIGLIA       | 144901  | ANCONA                  | 171           |
| CIVITA CASTELLANA | 144702  | ANCONA                  | 178           |
| MORLUPO           | 144701  | ANCONA                  | 188           |
| SEGN              | 151903A | ANCONA                  | 220           |
| TOR TRE PONTI     | 158701  | ANCONA                  | 241           |
| PONTINIA          | 159702  | ANCONA                  | 253           |

Tab. 1 - Vertici IGM95 rilevati nel corso della sperimentazione e rispettive distanze dalle tre stazioni permanenti.

Successivamente, sulla scorta delle coordinate ottenute rispetto alle tre stazioni permanenti di riferimento, sono state calcolate per ogni vertice le coordinate medie pesate, in modo da simulare il comportamento del sistema nell'ambito di una rete di stazioni permanenti.

Nella totalità dei test il posizionamento RTK è basato sui messaggi RTCM di tipo 18 e 19.



Tab. 2 - Precisioni planimetrica ed altimetrica in funzione della distanza e della durata della sessione con posizionamento rispetto ad una stazione di riferimento.

soluzioni:

$$\phi_P = (\phi_{RM}P_{RM} + \phi_{RI}P_{RI} + \phi_{AN}P_{AN}) / (P_{RM} + P_{RI} + P_{AN})$$

$$\lambda_P = (\lambda_{RM}P_{RM} + \lambda_{RI}P_{RI} + \lambda_{AN}P_{AN}) / (P_{RM} + P_{RI} + P_{AN})$$

$$h_P = (h_{RM}P_{RM} + h_{RI}P_{RI} + h_{AN}P_{AN}) / (P_{RM} + P_{RI} + P_{AN})$$

dove il singolo peso  $P_i$  è l'inverso della varianza della generica coordinata ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $\eta$ ) competente alla classe nella quale ricade la distanza del vertice dalla stazione permanente considerata ( $P_i = 1/\sigma_i^2$ ).

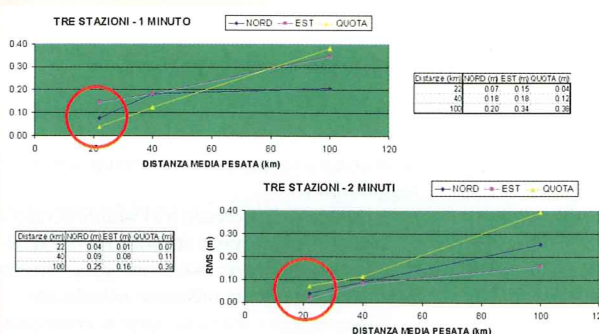
$$d_P = (d_{RM}P_{RM} + d_{RI}P_{RI} + d_{AN}P_{AN}) / (P_{RM} + P_{RI} + P_{AN})$$

In tal modo è stato possibile individuare il campo di applicazione del sistema con una rete di stazioni permanenti di riferimento, distinguendone essenzialmente due: topografico ( $\sigma < 10$  cm) o cartografico ( $\sigma < 0.2$  mm/scala, avendo assunto pari a 0.2 mm l'errore di graficismo).

Il posizionamento in tempo reale basato su una rete di stazioni permanenti ha portato ad evidenziare un comportamento sostanzialmente omogeneo per entrambi i ricevitori ed è quindi stato semplice procedere ad un'aggregazione dei risultati analogamente a quanto fatto in precedenza (Tabella 3).

In modo analogo, per associare la soluzione media pesata ad una distanza, si è definita una distanza media pesata dalle stazioni permanenti secondo un analogo criterio:

Anche in questo caso l'aumento della durata della sessione da 1 a 2 minuti ha



Tab. 3 - Precisioni planimetrica ed altimetrica in funzione della distanza e della durata della sessione con posizionamento rispetto ad una rete di tre stazioni di riferimento.

un effetto rilevante soprattutto entro i 40 km (media pesata); è altrettanto evidente che entro tale soglia, con stazionamenti di 2 minuti, le precisioni sono subdecimetriche e diventano centimetriche in planimetria se si contiene la distanza media pesata entro i 25 km.

### Osservazioni conclusive

I risultati ottenuti relativamente ad una rete di stazioni permanenti evidenziano che, indipendentemente dal tipo di ricevitore, il sistema consente di ottenere precisioni idonee per applicazioni topografiche, con distanze medie pesate dalle

stazioni permanenti minori di 40 km e precisioni di pochi decimetri, idonee per applicazioni cartografiche a media e grande scala (1:10000, 1:5000, 1:2000) con distanze medie pesate anche notevolmente superiori (entro i 100 km).

Sebbene tali risultati richiedano di essere ulteriormente comprovato con altre sperimenta-

## Long Range 3D Laser Scanner MENSIS GS100



GS100

**CONTATTATECI SUBITO PER ULTERIORI INFORMAZIONI**

Il laser scanner GS100 è una soluzione eccezionalmente versatile per l'acquisizione di grandi quantità di dati. La sua straordinaria efficienza è proprio nel poter acquisire un elevato numero di informazioni su ampie zone in tempi significativamente ridotti.

È lo strumento ideale per il rilievo di ponti, tunnel, edifici, monumenti, insediamenti industriali o archeologici.

### Caratteristiche principali:

- Portata fino a 100 mt.
- Precisione 3-6 mm (standard mode)
- Area di scansione 360°x60°
- Sensore CCD per acquisizione dell'immagine
- Dimensioni: 32x42x28
- Peso: 13 Kg

**GEO TOP**  
Positioning Instruments



GEOTOP srl  
Via Brece Bianche, 152 - 60131 ANCONA  
Tel. 071.21325.1 - Fax 071.21325.282  
E-mail: info@geotop.it

[www.geotop.it](http://www.geotop.it)

zioni e dipendono dallo stato della configurazione software ed hardware dell'apparato RIR all'estate 2002, si ritiene che il sistema sia in grado di offrire prestazioni idonee a soddisfare i requisiti di precisione di moltissime operazioni di georeferenziazione (non solo connesse a problematiche topografiche e cartografiche).

Conseguentemente si auspica che nelle operazioni di progettazione ed installazione di reti permanenti GPS attualmente in corso a livello regionale e nazio-

nale venga previsto come servizio di primaria importanza la diffusione di correzioni differenziali (DGPS-RTK) via rete Internet.

### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano sentitamente le società Geotop S.r.l. e Leica-Geosystem S.r.l. per aver messo a disposizione la strumentazione GPS impiegata nel corso della sperimentazione.

### Autori

M. Crespi, G.M. Malena  
*DITS- Area di Geodesia e di Geomatica- Università di Roma "La Sapienza".*  
 G. Pusceddu, L. Pantanetti  
*D.G. Service s.r.l.- Alfio s.r.l.*

## Il protocollo di trasmissione delle correzioni differenziali RTCM

**L**a trasmissione delle correzioni differenziali relative a misure di codice e di fase via radio modem o modem GSM è stata standardizzata secondo il protocollo internazionale RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Service).

Il messaggio di correzione inviato da una stazione permanente viene formattato seguendo lo standard binario RTCM-SC104, stabilito nel 1983 dal Radio Technical Commission for Maritime Service, Special Committee 104.

Il formato SC104 del segnale è simile a quello del messaggio navigazionale GPS; nella versione 2.3 sono possibili 64 differenti tipi di messaggio, dei quali 33 sono stati definiti, fissati o sperimentali, i rimanenti sono riservati o non definiti.

Il messaggio è formato da parole di 30 bit, codificate secondo record numerati. I record da 1 a 17, disponibili in tutte le versioni RTCM, contengono le correzioni per le misure di codice mentre i successivi quelle per le misure di fase. Ogni parola contiene una serie di informazioni relative al satellite da cui proviene il segnale, al tipo di correzione che viene applicata, e ad altri parametri riguardanti il tipo di messaggio.

### Il posizionamento differenziale con misure di codice

Questo tipo di posizionamento, denominato DGPS (Differential Global Positioning System), si basa sui messaggi di tipo 1 e 2 del protocollo RTCM, di cui si descrive brevemente il contenuto. Tali messaggi sono dedicati alla trasmissione della correzione differenziale relativa allo pseudorange ottenuto dalle misure di codice.

La PRC (Pseudo Range Correction) è contenuta nel messaggio tipo 1 del RTCM ed è associata ad ogni satellite. In generale il range di codice corretto all'epoca  $t$  PR( $t$ ), si ottiene correggendo PRM( $t$ ) (Pseudo Range Measured) come segue:

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t) = PRM(t) + PRC(t_0) + RRC*(t-t_0)$$

dove  $(t-t_0)$  rappresenta la latenza del messaggio tipo 1.

La latenza è l'intervallo tra l'istante di calcolo della correzione, nella stazione base, e quello della sua applicazione nel ricevitore remoto dovuto a tempi di trasmissione, calcolo, etc.

Il messaggio 1 contiene tutte le correzioni per ogni satellite osservato dalla stazione base: sono necessari fino a 40 bit per ogni satellite.

Il messaggio di tipo 1 contiene inoltre dati relativi alle effemeridi (IOD-Issue Of Data) ed una valutazione dell'errore commesso dall'utente delle correzioni differenziali (UDRE - User Differential Range Error).

Il parametro IOD garantisce che i calcoli del ricevitore e le correzioni della stazione base siano basati sugli stessi dati di configurazione satellitare.

Il parametro UDRE è una stima (1s) dell'incertezza nelle correzioni di pseudorange, come è stimato dalla stazione di riferimento.

Se durante il rilievo cambia la costellazione, il valore del parametro IOD permette di valutare se il calcolo di posizione nella stazione remota e le correzioni nella stazione base derivano dalla stessa configurazione. Fin quando il ricevitore remoto non decodifica dalle effemeridi la nuova costellazione, ne utilizza una diversa da quella con cui la stazione base calcola la correzione differenziale: questo può causare errori di posizionamento. In questo caso viene utilizzato il messaggio RTCM tipo 2 che contiene la DPRC (Differenced Pseudo Range Correction) e di DRRC (Differenced Range Rate Correction) che permettono di tener conto delle differenti costellazioni. La stazione base esegue due calcoli di PRC e RRC con costellazione vecchia (old IOD) e nuova (new IOD); le differenze:

$$DPRC = PRC(old\ IOD) - PRC(new\ IOD)$$

$$DRRC = RRC(old\ IOD) - RRC\ new\ IOD$$

vengono applicate nel ricevitore remoto per ricavare la correzione differenziale al tempo  $t$ :

$$PRC(t) = PRC(new\ IOD) + DPRC(old\ IOD) + DRRC(new\ IOD)(t-t_1) + DPRC(old\ IOD)(t-t_2)$$

dove  $(t-t_2)$  rappresenta la latenza del messag-

gio tipo 2.

La struttura del messaggio tipo 2 è del tutto analoga a quella del messaggio tipo 1.

### Il posizionamento differenziale con misure di fase

Il posizionamento differenziale con misure in tempo reale può fornire precisioni subdecimetriche solo se basato su misure di fase.

Questo posizionamento, denominato RTK (Real Time Kinematic), si basa su quattro tipi di messaggi (18, 19, 20, 21), che forniscono le informazioni necessarie per risolvere le ambiguità di fase e può essere effettuato seguendo due strategie.

La prima utilizzata per la navigazione e le misure in modalità cinematica, sia per applicazioni in tempo reale che in situazioni in cui la post-elaborazione è accettabile, consiste nel trasferire le misure dalla base all'utente (o viceversa) e poi implementare gli algoritmi per la doppia differenza per determinare la posizione relativa. Questo approccio è supportato dai messaggi 18 e 19.

Il secondo metodo è quello supportato dai messaggi 20 e 21 e basato sulla trasmissione delle correzioni, come per il posizionamento DGPS; in questo caso si ha il vantaggio di una minore sensibilità ai tempi di ritardo ed alla latenza durante la comunicazione dei dati, e le esigenze di calcolo imposte al ricevitore sono ridotte.

Per quanto riguarda i messaggi 20 e 21, nella stazione base di riferimento la correzione di fase è calcolata come:

$$CPC = CGR - ACR$$

dove CPC (Carrier Phase Correction) sono le correzioni di fase, CGR (Computed Geometric Range) sono le distanze geometriche calcolate, ACR (Adjusted Carrier Range for the GNSS time of measurement) sono le distanze da misure di fase compensate.

Applicando nel ricevitore rover le correzioni di fase si ottiene:

$$CR = MCR + CPC$$

dove CR (Corrected User Carrier Range) è la distanza corretta misurata dal ricevitore, somma di MCR (Measured User Carrier Range), distanza misurata dal ricevitore, e di CPC (Carrier Phase Correction).