

### **CAPITOLO 3**

## **OTTIMIZZAZIONE DELLE STRATEGIE DI GESTIONE, CONTROLLO ED ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI (POST-PROCESSAMENTO E TEMPO REALE)**

*Battista Benciolini (1), Ludovico Biagi (2), Mattia Crespi (3),  
Ambrogio Maria Manzino (4), Marco Roggero (4), Fernando Sansò (2)*

- (1) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento, via Mesiano 77 – 38100 Trento  
(2) DIAR - Politecnico di Milano, c/o Polo Regionale di Como, via Valleggio 11 – 22100 Como  
(3) DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Sapienza Università di Roma, via Eudossiana 18 – 00184 Roma  
(4) DITAG - Politecnico di Torino, II Facoltà P.zza S. Eusebio 5 – 13100 Vercelli

#### **SOMMARIO**

*Una rete di stazioni permanenti deve fornire servizi su tre diverse scale temporali: in tempo reale, il giorno successivo ed entro una settimana dall'acquisizione. L'elaborazione di dati in tempo reale prevede un'ottimizzazione tra tempo di latenza e precisione dei risultati; in questo caso il controllo di qualità può essere eseguito esclusivamente in modo automatico. La diffusione dei dati con latenza giornaliera può prevedere valutazioni ulteriori sulla qualità del dato, da pubblicarsi in rapporti giornalieri. Il dato finale con latenza di una settimana deve prevedere analisi di rete più complesse, che ne garantiscano la massima efficacia anche per applicazioni scientifiche. Si presentano i risultati e le proposte del gruppo di ricerca, dirette soprattutto nel controllo di qualità, per i tre livelli temporali.*

#### **1 INTRODUZIONE: IL CONTROLLO E LA GESTIONE DELLA RETE**

La gestione ed il controllo periodico della rete devono essere finalizzati a due scopi: interni ed esterni.

Verso l'utenza le procedure del centro di controllo debbono essere orientate al rispetto della "carta dei servizi", ipotizzando che l'ente gestore della rete voglia pubblicare e dettagliatamente illustrare queste proposte di servizio. Su tali aspetti ritorneremo puntualmente in seguito.

Per scopi interni all'ente, oltre alle procedure da eseguire per rispettare detti fini, debbono essere attivate tutte le attività di gestione e di eventuale tariffazione dell'utenza, quelle di gestione e controllo delle Stazioni Permanenti (SP), quelle inerenti gli accessi al servizio, quelle relative all'acquisizione di parametri statistici di qualità, ed infine l'attivazione di una serie di procedure di sicurezza e di ripristino, necessarie da un lato alla verifica che i servizi offerti siano stati ragionevolmente distribuiti e dall'altro al mantenimento costante di un elevato standard di servizio.

In dettaglio, quali possono essere i servizi offerti da una rete? Partiamo dall'uso per il post-processamento.

##### **1.1 I dati per il post-processamento**

I dati delle stazioni permanenti arrivano al centro di calcolo della rete normalmente ogni secondo per mezzo di stringhe in formato RTCM (2.xx o .3.xx) o attraverso formati proprietari.

I primi prodotti da gestire sono i dati delle SP a varie decimazioni. Il dato a 1<sup>s</sup> si ritiene sufficiente anche per scopi inerenti la fotogrammetria diretta, il rilevamento LIDAR e quello di navigazione geodetica terrestre; per rilievi rapido statici si utilizzano normalmente archivi a 5<sup>s</sup>, per rilievi statici si passa ai dati a 30<sup>s</sup>: si noti che questi ultimi hanno scarso interesse economico e in genere dovrebbero essere disponibili gratuitamente. Parliamo normalmente, per i dati, dei codici e delle fasi della costellazione GPS; già attualmente però possono essere memorizzate le informazioni Doppler; assumono

inoltre interesse anche i dati GLONASS, mano a mano che la costellazione russa raggiunge il completamento.

Anche se di scarso interesse per l'utente finale devono essere in genere scaricabili le monografie dei vertici della rete. Associati ai dati grezzi servono in genere file inerenti la qualità dei dati stessi e i file delle effemeridi trasmesse. Possono essere forniti file accessori dei ritardi troposferici e ionosferici, generati dal SW di rete ed i collegamenti alle effemeridi precise (congruenti a quelle utilizzate per la rete nel suo calcolo statico).

Sul sito possono essere disponibili programmi di utilità, materiale didattico inerente la rete e il suo sistema di riferimento, materiale di spiegazione del settaggio dei ricevitori e dei controller di varie case costruttrici. Ecco alcune avvertenze di gestione che riteniamo basilari per ottenere buoni standard nei dati per il post-processamento.

1. Nessun buco inutile, sia per mancanza dei dati di una SP, sia all'interno dei singoli file; poiché gli elementi deboli di una SP sono l'eventuale PC connesso localmente e la linea di trasmissione dati, si giustificano quindi i requisiti indicati per la fornitura delle SP: connessione diretta del ricevitore alla rete dati, presenza di gruppi di continuità e scaricamento dei dati per il post-processamento effettuato periodicamente, a posteriori e in modo robusto.

I dati grezzi contengono inoltre molte informazioni non contenute nel messaggio inviato per il tempo reale (segnali DOPPLER, indici di qualità ecc.). È utile tuttavia, per altri scopi, principalmente per ricostruire la percentuale di integrità del dato trasmesso, anche la memorizzazione del dato trasmesso al centro di controllo in tempo reale, o, perlomeno, rapporti sintetici di tale integrità.

2. Nessuna autonomia sui formati: è dannoso inventare nuovi standard. Esiste uno standard IGS sul formato, l'archiviazione e la nomenclatura dei dati ed uno standard EUREF per la diffusione delle correzioni. I dati, decimabili in genere a 30<sup>s</sup>, 5<sup>s</sup> e quelli ad 1<sup>s</sup>, dopo il controllo di qualità (eseguito ad esempio con il SW TEQC dell'UNAVCO), sono archiviati in formato RINEX standard (RINEX 2.10: <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html>; RINEX 3.0: EUREF mail 2679: <http://www.aiub.unibe.ch/download/rinex/rinex300.pdf>), compattati secondo le procedure di Hatanaka e compressi con compressione UNIX compatibile. I dati grezzi delle SP devono essere scaricabili in tale formato: a tale riguardo si noti che lo standard RINEX non solo è leggibile già ora da tutti i SW commerciali, ma è pronto a ricevere le innovazioni di nuove costellazioni e nuovi codici.

3. Nessuna ambiguità: le intestazioni dei dati RINEX devono essere coerenti con gli standard IGS: le più frequenti fonti di errore sono il nome dell'antenna non conforme a tale standard e l'errata trascrizione dell'altezza dell'antenna rispetto alla posizione del marker.

4. Un unico sistema di riferimento quadridimensionale: secondo gli standard, nei file RINEX le coordinate potrebbero essere solo valori approssimati; per una rete di servizio è viceversa bene che siano le stesse utilizzate anche per il tempo reale e temporeferenziate nel sistema di riferimento IGS (ovvero aggiornate periodicamente, ad esempio ogni sei mesi, si veda il Cap. 3).

## 1.2 I servizi per il post-processamento

Ci chiediamo a questo punto se i servizi per il post-processamento possano rappresentare una nuova evoluzione. Riteniamo che lo siano solo a due condizioni:

1. la loro certificazione su rigorose basi scientifiche confermate dalla verifica di numerosi risultati. L'utente deve possedere la documentazione in grado di comprovare con ragionevole certezza il buon risultato ottenuto da terzi;
2. la crescita culturale dell'utenza, non solo per poter leggere ed interpretare i risultati, ma anche per saper progettare e proporre nuovi tipi di rilievo o correggere errori commessi. Certamente questi servizi, a queste condizioni, possono anche allargare la fascia dell'utenza a settori meno specializzati e, contemporaneamente, migliorare per tutti la conoscenza tecnologica.

Tali servizi dovranno in ogni caso essere basati sull'utilizzo dei dati grezzi memorizzati da ogni SP e trasferiti periodicamente al centro di controllo, e non a partire da quelli trasmessi in tempo reale, evitando così carenze e disomogeneità nei dati. Facciamo ora due esempi di servizi per il post-processamento.

Dietro opportuna richiesta può essere fornito un file di dati rappresentanti le misure di codice e fase acquisibili da una stazione virtuale sita in prossimità del rilievo. Questa possibilità può essere molto utile

per trattare in post-processamento non solo i rilievi statici, rapido statici o statici in tempo reale ma anche i veri rilievi cinematici (per la Fotogrammetria o il Laser a scansione, il Catasto stradale ecc.). Purtroppo non sempre è chiaro come vengano costruiti dal SW di rete tali archivi e il loro trattamento, per mezzo di SW commerciale, è a nostro parere ancora argomento di esaustiva sperimentazione ma sconsigliabile nei confronti dell'utenza generica.

È possibile prevedere un servizio di calcolo in post-processamento, per il quale l'utente deposita sul sito del servizio i dati da lui rilevati su uno o più punti di una campagna di misure e, automaticamente, a seguito di una eventuale tariffazione, vengono trattati e spedite le soluzioni per posta elettronica. Un servizio di questo tipo per dati statici è già previsto per i più diffusi SW commerciali di rete; non è ancora previsto, ci risulta, un trattamento in post-processamento per scopi cinematici.

A motivo del fatto che l'utente finale non ha il controllo del processo di questi dati, né delle modalità di calcolo, è a nostro parere quanto mai opportuno che vengano forniti all'utenza sia un manuale che illustri i criteri fondamentali seguiti per l'elaborazione, sia una serie di parametri che sono ad esempio: il tipo e la quantità di osservazioni trattate e le loro combinazioni, la percentuale e le modalità di fissaggio i parametri statistici come ratio o chiquadro, il tipo di trattamento: multibase o compensazione delle singole basi, il sistema di riferimento, la matrice di covarianza delle coordinate e quanto altro possa globalmente o puntualmente essere utile a valutare la bontà e l'affidabilità dei risultati.

### 1.3 I servizi per il tempo reale

Debbono essere costantemente acquisite e pubblicate sul sito tutte le informazioni sulla funzionalità della rete che consentano di valutare periodicamente la qualità dei servizi erogati e la percentuale di conseguimento degli obiettivi indicati nella "carta dei servizi".

Debbono essere pubblicate (ad es. ogni 15 minuti) sul sito: l'elenco delle SP attive, il numero di satelliti in vista per ogni SP, il numero di satelliti con ambiguità fissata ad intero; ciò serve anche al controllo interno della rete.

Per gestire gli allarmi della rete (gli utenti vengono gestiti automaticamente) è necessaria la presenza di un operatore il quale sia in grado anche di fornire informazioni e consigli all'utenza: tali operatori debbono essere disponibili e reperibili a turno almeno 12 ore al giorno, sebbene, preferibilmente, lo dovrebbero essere in qualsiasi momento (h24). Durante la connessione, anche se questa avviene in modalità automatica, gli operatori hanno anche il compito del controllo dei servizi erogati.

La maggior parte dei SW commerciali di rete prevede un dialogo bidirezionale con il ricevitore dell'utente. In tal caso il SW registra la posizione del ricevitore, i tempi di trasmissione della correzione, necessari anche alla tariffazione e i tempi di un eventuale fissaggio. È possibile registrare dopo il fissaggio anche la posizione precisa del ricevitore mobile. Questi dati, assieme al "nome" delle SP della rete o sottorete utilizzati, alla modalità di posizionamento e a molti altri parametri statistici e di qualità, possono rimanere registrati sul server di rete e, se necessario, inviati per posta elettronica all'utente e utilizzati a fini statistici per valutare la qualità dei risultati conseguiti (par. 2.4). Si utilizzano diversi acronimi per indicare gli standard utilizzati per la diffusione delle correzioni di rete che permettono di effettuare un posizionamento GNSS in relativo in tempo reale. Le denominazioni N-RTK e MRS-RTK indicano genericamente servizi di rete distinti dalla classica modalità RTK basata su una singola stazione.

Le sigle VRS, FKP e MAX indicano diverse modalità di elaborazione e di trasmissione delle informazioni di rete. Si tratta di modalità proposte inizialmente da singole aziende che sono però divenute di fatto degli standard accolti anche, in parte, nelle definizioni di RTCM.

La modalità VRS (Virtual Reference Station) richiede una comunicazione bidirezionale tra il ricevitore dell'utente e il centro della rete, perchè questo deve confezionare delle correzioni "specializzate" per la posizione il ricevitore dell'utente. Il calcolo che combina tra di loro i dati delle diverse stazioni viene eseguito nel centro di controllo della rete per produrre i dati di una stazione virtuale che vengono spediti al ricevitore dell'utente.

Questo modo di procedere, apparentemente illogico, risponde invece ad una esigenza ben precisa: impacchettare l'informazione che viene da molte stazioni di riferimento in un formato corrispondente ai vecchi standard e quindi utilizzabile anche da ricevitori progettati solo per lavorare con una singola stazione base.

Gli svantaggi, per la verità superabili, sono legati agli aspetti seguenti: necessità (già citata) di comunicazione bidirezionale, elevato carico computazionale nel centro di controllo (per eseguire calcoli almeno in parte dedicati per ogni singolo utente) e un particolare problema legato alla ottimizzazione della posizione della stazione di riferimento virtuale. Questa ottimizzazione è necessaria per evitare che alcuni rover, ricevendo la informazione che sembra provenire da una stazione base molto vicina, utilizzino solo i dati di L1, scelta questa che sarebbe forse appropriata con una vera stazione base molto vicina, ma non con una VRS.

La modalità FKP (Flachen Korrektur Parameter) è basata su una rappresentazione delle varie grandezze che costituiscono le correzioni differenziali con dei modelli parametrici. Nel centro di controllo si sfruttano i dati delle varie stazioni per stimare i parametri che vengono trasmessi al ricevitore dell'utente. Nel ricevitore dell'utente si esegue il calcolo delle varie grandezze riferite alla posizione richiesta.

Il calcolo risulta suddiviso tra il centro di controllo (stima dei parametri) ed il ricevitore dell'utente (calcolo in relazione alla posizione).

Il vantaggio rispetto al metodo VRS dovrebbe essere quello di evitare di eseguire nel centro di controllo dei calcoli dedicati al singolo ricevitore dell'utente; inoltre la trasmissione potrebbe essere unidirezionale.

Il formato dei dati di FKP è un formato proprietario che sfrutta il record 59 di RTCM-2 lasciato libero per questi scopi. Non risulta che il formato abbia ricevuto un riconoscimento ufficiale indipendente.

Nel metodo FPK non si modellano separatamente tutti i diversi fenomeni, ma si distingue tra l'effetto dispersivo, cioè il ritardo ionosferico eventualmente sommato ai bias intercanale, e il complesso degli effetti indipendenti dalla frequenza, tra cui predominano il ritardo troposferico e gli errori d'orbita.

Il metodo MAX (con la sua variante iMAX) è stato proposto da una singola azienda ma il suo formato è diventato una parte delle standard RTCM-3.

Il formato MAX è basato sulla scelta di trasmettere al ricevitore dell'utente i dati di varie stazioni di riferimento senza effettuare alcuna modellazione spaziale e lasciandogli la effettiva combinazione dei dati in un modello di calcolo che non è definito in modo rigido.

Il calcolo effettuato nel centro della rete non è dunque una modellazione, ma è solo una trasformazione per poter impacchettare le informazioni in un messaggio non troppo pesante da trasmettere. La sigla MAX significa Master-Auxiliary, perché l'elaborazione di rete consiste nel formare le differenze tra i dati di una stazione (Master) e quelli di tutte le altre (Auxiliary). È da notare che l'elaborazione di rete è particolarmente semplice e non è basata sulla scelta di un particolare modello. Questo fatto viene considerato importante a livello legale quando si deve certificare la qualità di un servizio e la riproducibilità di un risultato.

Il sistema MAX richiede necessariamente il protocollo RTCM-3 e questo esclude per gli utenti l'uso di ricevitori non aggiornati.

La variante iMAX (individualized MAX) impacchetta la informazione in un formato simile a VRS e comunque utilizza il formato RTCM-2. Il metodo iMAX richiede una comunicazione bidirezionale mentre il metodo MAX potrebbe funzionare, in teoria, con una comunicazione unidirezionale.

È necessario osservare che i metodi che non richiedono una trasmissione bidirezionale permetterebbero in teoria una diffusione delle informazioni molto economica con trasmissioni tipo broadcast basate su tecnologia di digital radio o simili. Tali sistemi, però, sono stati realizzati solo a livello sperimentale. Quasi tutti i sistemi oggi in uso si basano su un collegamento tra il ricevitore dell'utente e la rete (diretto o via internet) che utilizza la rete di telefonia cellulare. In queste condizioni il vantaggio di un sistema unidirezionale non esiste più. Si deve ricordare, inoltre, che molti gestori di rete preferiscono avere un controllo sull'uso dei servizi che non sarebbe possibile con la diffusione generica di un messaggio trasmesso a tutti gli utenti.

#### 1.4 Gli indicatori statistici utili al gestore

Per un migliore servizio serve poter disporre e valutare da parte del gestore di una serie di indicatori statistici; riportiamo i più significativi.

Occorre valutare la qualità dei dati utilizzabili in post-processamento. Uno dei SW più comuni, ma

non per questo banali è TEQC dell'UNAVCO. Fra i parametri significativi occorre monitorare il numero di dati acquisiti rispetto agli acquisibili, i rapporti S/N nelle varie frequenze a varie elevazioni, il numero e la causa media dei cycle slip, il comportamento medio degli orologi dei ricevitori: se si rilevano indici anomali è senza dubbio presente qualche problema legato alla SP. Non è detto il contrario: è cioè possibile che vi sia qualche problema non rilevabile dal SW, ad esempio problemi legati agli orologi dei ricevitori, a disturbi locali, a cedimenti del sito. Per questi scopi è auspicabile siano dedicati appositi SW. Il programma dell'UNAVCO ad esempio non è in grado di valutare il rumore od il *multipath* sulle singole fasi, o altri interessanti parametri di qualità.

Per il tempo reale può essere utile valutare la percentuale dei dati inviati dalle singole SP per analizzare la quantità di dati persi per problemi legati alla rete od al singolo ricevitore.

Può essere utile disporre di dati accessori, ad esempio, georeferenziate, le seguenti informazioni storiche:

1. numero di connessioni fallite per problemi di telefonia;
2. numero di connessioni riuscite;
3. numero di esiti "fixed" rispetto al totale di connessioni;
4. tempi medi di fissaggio.

Con cadenza mensile possono essere analizzate statisticamente tali informazioni.

### 1.5 Il monitoraggio di stabilità

La rete deve essere costantemente ricalcolata, non tanto per il fissaggio in tempo reale delle ambiguità, ma per due altri scopi principali:

1. il monitoraggio in quasi tempo reale della qualità e della stabilità delle SP;
2. l'inquadramento della rete nel sistema di riferimento globale.

L'inquadramento della rete regionale riguarda il problema della materializzazione del sistema di riferimento da parte della rete e viene discusso nel capitolo successivo. Per perseguire il primo scopo, che deve invece avere la minima latenza possibile, è necessario condurre una compensazione parallela. Si propone di compensare automaticamente e quotidianamente la rete, immediatamente dopo la mezzanotte GPS, utilizzando i dati delle sole SP della rete di servizio, delle effemeridi e degli EOP ultrarapidi IGS eseguendo una soluzione a minimi vincoli (ad esempio vincolando la SP baricentrica della rete alle sue coordinate stimate nell'inquadramento della rete). In tale compensazione vengono stimate le coordinate delle altre SP della rete e viene generata automaticamente la reportistica sintetica sulla qualità dei risultati, ovvero, per ogni SP:

1. numerosità dei cycle slip,
2. percentuali delle ambiguità fissate,
3. statistiche sui residui di osservazione,
4. confronto delle coordinate stimate con quelle risultanti dall'inquadramento.

Tali stime servono a comprendere innanzitutto se, localmente, non sia avvenuto un cedimento, una deformazione, o un problema legato all'antenna o al supporto. Inoltre gli indicatori sintetici permettono l'analisi empirica della qualità dei dati acquisiti nella giornata precedente da ogni SP. I protocolli di trasmissione delle correzioni di rete (VRS, FKP, MAX)

### 1.6 Il sito web

Per lo scambio di dati ed informazioni sulla rete, è essenziale implementare un sito web che indichi:

1. le principali caratteristiche della rete e dei servizi erogati,
2. chiare informazioni sull'utilizzo del servizio,
3. accesso alle osservazioni delle SP in formato RINEX,
4. preavvisi di manutenzione,
5. notizie in tempo reale sulla funzionalità della rete,
6. indicatori statistici sul funzionamento attuale della rete,
7. le serie storiche di stima delle coordinate delle SP,
8. le trasformazioni fra sistema di riferimento materializzato dalla rete (Cap. 3) e il sistema di riferimento nazionale ETRF89-IGM95 e/o altri sistemi di riferimento (i.e. ETRF00),

9. il SW e i dati da usare e i parametri da impostare per i più comuni ricevitori;
10. tabelle e mappe che pubblicizzino gli stessi indicatori statistici discussi al par. 2.4.

Sul sito debbono trovarsi anche programmi di utilità, che ad esempio gestiscano file di dati per il cambio di sistema di riferimento, documenti che spieghino i settaggi dei ricevitori e controller e materiale didattico, scientifico od illustrativo. Sul sito deve trovare posto, ovviamente, l'interfaccia per l'accesso e l'eventuale tariffazione di tutti i servizi offerti.

### 1.7 I problemi aperti per il posizionamento in tempo reale

Rimangono ancora alcuni problemi aperti, affrontati o risolti solo in parte in questi mesi, che non sono solo argomento di studio o aggiornamento nei vari SW, ma anche scelte strategiche per migliorare e diffondere il servizio.

In primo luogo: quali servizi di rete per il tempo reale? Come già detto sono oggi disponibili più SW di rete; prescindendo dagli algoritmi implementati per il calcolo di rete, ovviamente differenti fra i diversi SW, allo stato attuale vengono proposti tre tipi di prodotti di rete per il tempo reale:

1. dati di una SP e parametri d'area per i disturbi spazialmente correlati (il cosiddetto approccio FKP, Wübbena, Bagge, 2002);
2. dati di una stazione virtuale in prossimità del ricevitore dell'utente (il cosiddetto approccio VRS, Vollath et al., 2000);
3. correzioni relative a tutte le SP della cella circostante l'utente (il cosiddetto approccio MAC o MAX, Euler et al., 2001).

Si ricorda che ciascuno dei SW di rete oggi disponibili ha legato la sua nascita ad uno specifico prodotto fra i tre citati: peraltro ogni SW implementa e fornisce almeno uno fra gli altri prodotti. Allo stato attuale, sulle diverse reti oggi operative, è già stata condotta attività di sperimentazione comparativa sui diversi prodotti di rete. Tali test hanno in generale dimostrato buone affidabilità e accuratezze; se non per minime sfumature, affidabilità e accuratezze sono sembrate omogenee per i diversi prodotti: ovvero non esistono elementi attuali per ritenere un prodotto migliore rispetto agli altri. Pertanto si può solo suggerire alle istituende reti di prevedere la trasmissione di tutti i tipi di prodotto e di continuare l'attività sperimentale in modo da arrivare ad una miglior comprensione di tali aspetti.

Quali strategie di distribuzione dei servizi in tempo reale, ovvero quale formato e quale protocollo? Al riguardo del formato, potremmo dire semplicemente: il formato di distribuzione è RTCM. In realtà vi sono state tante evoluzioni del formato, alcune delle quali non standard ma standard "de facto", come ad esempio il segnale FKP nel record 59 degli standard 2.xx. La nuova introduzione della versione 3.0 ha migliorato di molto due aspetti: la dimensione della banda trasmessa, consentendo velocità di trasmissione maggiori o maggior numero di correzioni trasmissibili con la stessa banda, dal lato utenza una minor spesa nel caso in cui la tariffazione del collegamento sia legata alla quantità di segnale ricevuto; d'altro canto non tutti i ricevitori sono in grado di utilizzare questo formato. Ultimamente si stanno utilizzando, da parte di due case costruttrici di ricevitori, i record 1015, 1016 e 1017 di che non fanno parte del formato RTCM 3.0 e che sono stati recentemente standardizzati nel formato RTCM 3.1. Tali record permettono di trasmettere i dati di una cella della rete, ad esempio di 5 o 6 stazioni e consentono, se il ricevitore è in grado di trattarli, il posizionamento mediante processamento multibase: anche questa interessantissima possibilità non è ancora disponibile su tutti i ricevitori e va offerta ancora opzionalmente. In generale, quindi, occorre verificare preventivamente che tutti i servizi erogati siano compatibili sia con i più diffusi che con i più recenti ricevitori disponibili.

Meno problemi pone oggi la scelta sul protocollo di trasmissione delle correzioni: lo standard europeo è la modalità di diffusione NTRIP che all'inizio è stato oggetto di studio EUREF (<http://www.euref-iag.net/>), ma ora si va diffondendo anche su reti proprietarie di minor estensione. Ricordiamo brevemente che il protocollo NTRIP prevede la connessione dell'utente mediante modem GPRS a punto d'accesso Internet e quindi il dialogo con il centro di controllo mediante un protocollo HTTP: il meccanismo di accesso, una volta impostato il modem, è del tutto trasparente all'utente. Rispetto ad altri possibili protocolli che non utilizzino la telefonia mobile, NTRIP presenta diversi vantaggi, sia dal lato rete sia dal lato utente: in primo luogo permette il dialogo bidirezionale fra centro di controllo e utente; dal lato rete offre la possibilità di autenticazione degli utenti; dal lato utente fornisce una completa e chiara

informazione, aggiornata in tempo reale, dei diversi prodotti erogati dalla rete. Rispetto alla connessione telefonica "tradizionale", ovvero mediante semplice modem GSM, NTRIP permette un più elastico dimensionamento dei server di erogazione presso il centro di controllo e, nei test sperimentali, si sta dimostrando meglio performante (Schoffel et Schneider, 2004).

Un problema ancora aperto sono le procedure di controllo di qualità dei dati trasmessi dalla rete in tempo reale e di diffusione delle relative informazioni o di allarmi agli utenti. Dal lato utenza l'analisi in campagna di parametri statistici legati a questi nuovi modi di posizionamento evidenzia che in alcuni, sia pur rari casi, tali parametri sono attualmente difforni rispetto alla precisione realmente conseguita.

Un importante problema è: come normare e certificare i risultati in tempo reale. Alcuni SW di rete tengono memoria del tipo di soluzione ottenuta e di indici statistici che possono essere trasmessi in seguito all'utente. Anche il ricevitore è in grado di valutare altri indici statistici che, come accennato, anche se raramente, possono da soli essere poco significativi. La soluzione ancora una volta consigliabile è tener memoria nel ricevitore non solo di questi indici statistici, ma anche dei dati grezzi, per poter trattare in ufficio i dati, almeno nei casi dubbi e disporre di archivi utili ad un eventuale collaudo.

## **2 RASSEGNA SUGLI EFFETTI DELLA TROPOSFERA E DELLA IONOSFERA E SULLA LORO MODELLAZIONE NELLE RETI REGIONALI**

La modellazione degli effetti della ionosfera e della troposfera costituisce uno degli elementi più significativi nel posizionamento GNSS in tutte le sue modalità (navigazionale, posizionamento relativo con post elaborazione o in tempo reale, posizionamento a punto singolo di precisione).

Nella trattazione degli effetti atmosferici nelle misure GNSS è possibile da un lato sfruttare le informazioni disponibili sullo stato dell'atmosfera per migliorare le applicazioni di posizionamento, dall'altro si possono ricavare informazioni sull'atmosfera proprio dalle misure GNSS.

I due effetti hanno caratteristiche, del resto ben note, del tutto peculiari.

L'effetto troposferico ha generalmente un valore di qualche metro in direzione zenitale, non è dispersivo, ed ha una variabilità spaziale e temporale abbastanza modesta da essere modellabile in modo conveniente sia con modelli basati su informazioni esterne sia con modelli parametrici che lo trattano direttamente come una incognita del processamento dei dati GNSS. Nel primo caso il sistema di posizionamento trae giovamento dalla disponibilità di dati meteorologici o anche, in mancanza di dati, da modelli standard. Nel secondo caso, che ovviamente richiede una informazione geometrica "più ricca", si ricavano tutte le informazioni necessarie dalle misure GNSS e si producono anche informazioni utili per la conoscenza dello stato dell'atmosfera (in particolare il contenuto d'acqua).

L'effetto ionosferico ha generalmente un valore di qualche decina di metri (fino a 100 metri circa in qualche caso), è dispersivo, e può essere modellato con molta difficoltà. L'effetto ionosferico, proprio perchè dispersivo, può essere ricavato direttamente dai dati grazie alla presenza di due portanti (o più di due in futuro) nel sistema GPS e nei sistemi simili. La possibilità di separare l'effetto ionosferico con l'uso di due portanti è una delle differenze principali tra PPS ed SPS, perchè la seconda portante è modulata dal solo codice Y, versione criptata del codice P. Un tema particolarmente rilevante è lo stretto legame tra la modellazione dell'effetto ionosferico e la stima intera (fissaggio) delle ambiguità delle misure di fase. Bisogna dire che la letteratura sul calcolo dell'effetto ionosferico appare molto più ricca di quella sull'effetto troposferico.

Una trattazione di base degli effetti dell'atmosfera nelle misure GPS si trova in Langley (1996).

Le differenti caratteristiche della rifrazione troposferica e ionosferica devono essere considerate non solo nella costruzione di modelli matematici più adeguati alla loro descrizione numerica, ma anche nella trasmissione dei dati da una rete di stazioni permanenti ai ricevitori degli utenti. Per ovvi motivi tecnici ed economici conviene economizzare la quantità di dati da trasmettere, e questa economia si ottiene, tra l'altro, separando l'effetto ionosferico, che varia piuttosto velocemente e deve essere aggiornato di frequente, dall'insieme degli altri effetti, incluso il ritardo troposferico. Su questo si veda per esempio Euler (2005). Per gli stessi motivi la latenza delle informazioni trasmesse risulta particolarmente critica proprio in riferimento al ritardo ionosferico (vedi Kashami, Wielgosz, Grejner-Brezezinska 2004-b e 2004-c).

## 2.1 Effetto troposferico

Gli articoli di Mousa et al. (2004) e di Zheng e Feng (2005) trattano la modellazione spaziale e temporale del ritardo troposferico per il miglioramento del servizio di posizionamento tipo N-RTK. L'articolo di Mousa et al. (2004) analizza le prestazioni di alcuni modelli standard per il calcolo a priori del ritardo troposferico e propone una tecnica di interpolazione per modellare la parte residua. I dati utilizzati nella sperimentazione sono raccolti in una zona equatoriale in cui l'effetto troposferico è particolarmente forte e variabile. L'articolo di Zheng e Feng (2005) descrive una prova di interpolazione del ritardo troposferico zenitale residuo. I dati provengono dalla rete europea EPN e il metodo utilizzato è il kriging applicato sui residui rispetto ad un modello a priori basato su dati meteorologici. Si documenta una accuratezza di stima di pochi millimetri per una rete con interdistanza tipica di circa 140 Km.

L'articolo di Skone e Hoyle (2005) presenta la costruzione di un modello tomografico della componente umida della rifrattività troposferica. I diversi effetti presenti nelle misure sono separati con modelli opportuni: l'effetto ionosferico si determina con le due frequenze, la componente idrostatica dell'effetto troposferico si determina con incertezza millimetrica usando dati meteo raccolti a terra, la geometria è fissata perché si usano i dati di una rete di stazioni permanenti. In questo modo si isolano dalle misure le componenti umide del ritardo troposferico lungo i singoli percorsi satellite-ricevitore. Questi dati vengono assorbiti da un modello tomografico che utilizza:

1. polinomi del secondo ordine per rappresentare la variabilità orizzontale,
2. una discretizzazione in strati verticalmente omogenei per rappresentare la variabilità verticale con una correlazione imposta a priori per legare tra di loro gli strati,
3. la variazione nel tempo è trattata stimando serie temporali dei coefficienti con una funzione di covarianza esponenziale.

I dati GPS sono trattati assieme a dati di radiosonde utilizzati in due modi: come controllo diretto del vero contenuto di vapor d'acqua e come informazione di vincolo sull'andamento verticale dello stesso. Nei risultati, sia simulati sia reali, si evidenzia che i limiti legati alla geometria della rete richiedono in effetti un vicolo esterno sull'andamento verticale della pressione parziale di vapore acqueo per garantire un risultato affidabile della tomografia. Questo è impiegato per studiare la formazione e la evoluzione di fenomeni atmosferici violenti.

## 2.2 Effetto ionosferico

La possibilità di determinare l'effetto ionosferico utilizzando il suo carattere dispersivo non rende affatto inutile la costruzione di modelli interpolativi predittivi dell'effetto stesso o del parametro fisico da cui esso dipende che è il TEC (Total Electron Content). Un modello dell'effetto ionosferico è utile per almeno tre motivi:

1. il suo uso è necessario per eseguire il posizionamento con un ricevitore a singola frequenza (Le e Tiberius, 2006),
2. aiuta la stima delle ambiguità di fase,
3. è impiegato per applicazioni diverse dal posizionamento, per esempio nel telerilevamento a micro-onde o nella altimetria radar.

Il lavoro di Liu e Gao (2003) descrive un modello di calcolo tomografico per la modellazione spaziale tridimensionale e temporale del TEC e i risultati di una sperimentazione condotta con i dati di una rete locale. Per le applicazioni in tempo reale la descrizione della variabilità temporale deve avere una buona capacità predittiva per compensare la latenza causata dai tempi di trasmissione e di calcolo. La sperimentazione, condotta fuori linea ma pensata nell'ottica delle necessità di un trattamento in tempo reale, ha permesso di predire il ritardo sulle singole coppie satellite-stazione con un errore relativo di poche unità percentuali. La variabilità laterale è descritta con uno sviluppo in armoniche sferiche, ma nell'articolo citato manca la descrizione di due elementi chiave del modello adottato, e cioè: (1) la forma delle funzioni che rappresentano la dipendenza radiale del TEC e (2) la descrizione del modello di dipendenza dal tempo. Gli stessi autori avevano già mostrato in un altro articolo (Gao, Liu 2002) la superiorità di un modello tomografico tridimensionale rispetto ad un modello bidimensionale che tratta la ionosfera come se fosse concentrata in uno strato singolo.

Il legame tra la modellazione della ionosfera e la stima delle ambiguità è piuttosto evidente. La



formazione della combinazione Ionospheric Free delle misure di fase contiene una combinazione delle ambiguità che non è intera, e questo obbliga a separare l'effetto ionosferico con una stima ricavata dalle misure di codice, se non sono disponibili altre informazioni, prima di effettuare almeno la stima della componente Wide Lane. Questo problema è trattato da Richert ed El-Sheimy (2005) che esaminano le diverse possibilità connesse alla modernizzazione del GPS ed al dispiegamento di Galileo.

I vari articoli di Grejner-Brzezinska, Kashani e Wielgosz (2004-a, 2004-b, 2004-c, 2005-a, 2005-b) trattano vari aspetti del posizionamento NRTK a grande distanza. Anche in questo tipo di applicazioni la modellazione della ionosfera e il fissaggio delle ambiguità giocano un ruolo significativo.

La modellazione spaziale dell'effetto troposferico pone un particolare problema. Quasi tutti i programmi di calcolo usati per la elaborazione di dati GNSS trattano differenze doppie per eliminare gli errori di orologio ed attenuare tutti gli effetti spazialmente correlati. D'altra parte è chiaro che un modello fisicamente significativo, per esempio una stima di TEC, è derivabile più facilmente da dati riferiti al singolo percorso ottico satellite stazione. Questo problema è citato nei lavori di Kashami, Grejner-Brzezinska, Wielgosz (2004-a) e di Rocken e altri (2000). Entrambe fanno riferimento ad un lavoro di Alber e altri (2000) per la costruzione di quantità indifferenziate (definite ovviamente a meno di qualche "costante di integrazione") a partire dalle doppie differenze.

È ovviamente possibile anche un trattamento diretto dei dati indifferenziati, come descritto nel lavoro di Cina, Manzano e Roggero (2004).

Il lavoro di De Lacy, Sansò, Gil e Rodriguez-Caderot (2005) propone una procedura per modellare l'effetto ionosferico in una rete regionale con lo scopo di migliorare il posizionamento con un ricevitore rover a singola frequenza. La procedura proposta si basa sulla separazione tra un effetto ionosferico medio (mediato rispetto al tempo su un periodo di qualche ora) e la variazione dello stesso rispetto alla media. La variazione rispetto alla media viene stimata dai dati, mentre il valore medio si ricava da un modello globale. In questo modo si libera la stima effettuata dall'effetto dei bias elettronici differenziali presenti nei dati. I dati sono trattati in un modello "non geometrico" tipo Euler-Goad. Oltre alla teoria si presentano due applicazioni pratiche su una rete realizzata presso Granada in Spagna ed una rete realizzata in Lombardia.

### 3 IL CONTROLLO DI QUALITÀ IN TEMPO REALE

Verranno affrontati nei paragrafi seguenti i problemi di controllo di qualità della rete (intendendo con ciò sia la rete stessa che i suoi prodotti). Ottimizzazione delle strategie di elaborazione e controllo dei dati sono due aspetti strettamente legati ed inscindibili.

L'unica distinzione che verrà fatta, sarà in merito alla latenza con cui alcune di queste operazioni debbono essere eseguite: alcune in tempo reale, altre giornalmente, altre ancora settimanalmente.

Nel servizio di rete per il posizionamento, il tempo reale riguarda almeno questi quattro aspetti:

- 4 il controllo in tempo reale dei dati che affluiscono alla rete,
- 5 il controllo in tempo reale dello stato della rete e del sistema,
- 6 il controllo del servizio in tempo reale fornito all'utenza,
- 7 il controllo che l'utente può eseguire in campagna.

#### 3.1 Il controllo in tempo reale dei dati che affluiscono alla rete

I dati delle stazioni permanenti arrivano al centro di calcolo della rete normalmente ogni secondo per mezzo di stringhe in formato RTCM (2.xx o .3.xx) o attraverso formati proprietari.

Usualmente, se è possibile ricevere i dati nel formato proprietario è possibile anche gestire remotamente il ricevitore e modificarne all'occorrenza alcuni parametri (cut off, rate di memorizzazione, frequenze e segnali da ricevere ecc.). Il formato proprietario contiene di solito un maggior numero di informazioni, come ad esempio le effemeridi trasmesse o i rapporti segnale rumore, non sempre disponibili nei messaggi RTCM. Ciò consente un controllo di qualità più dettagliato. D'altra parte il segnale RTCM consente l'uso di ricevitori di qualsiasi marca all'interno della rete, anch'esso permette la trasmissione dei dati di codici e fasi, più completi dal punto di vista della possibilità di controllo, dei semplici valori correttivi.

In entrambi i casi sono possibili ed auspicabili numerosi controlli, parleremo dei più importanti e frequenti senza pretendere di esaurire l'argomento che è ancora tema di ricerca applicativa. In ogni tipo di controllo si può prevedere che si attivino degli allarmi e degli avvisi nel caso si esca dalle soglie fissate.

Il primo controllo riguarda la numerosità dei satelliti ed in genere dei dati ricevuti rispetto a quelli attesi. È un parametro molto semplice da calcolare. La carenza di questi dati dipende in gran parte da problemi trasmissivi; anche una latenza molto elevata non consente al software di provvedere al calcolo di rete per quella stazione e deve essere monitorata.

La mancanza di dati può tuttavia dipendere da ostruzioni presenti alla stazione al di sotto della maschera di cut-off o semplicemente da problemi elettronici nel ricevitore, se non proprio a spegnimenti locali. Può riguardare una o più parti del segnale, codici o fasi ed essere causata ad esempio da disturbi presenti su quella particolare frequenza.

Un secondo aspetto è la coerenza interna di questi dati. Il dato può essere presente ma essere decisamente inattendibile (outlier). Ciò può essere verificato da semplici test che utilizzano le serie precedenti, per ciò che riguarda i codici; per le fasi la verifica è più delicata perché occorre distinguere il dato inattendibile dal cycle slip. Normalmente questa verifica più raffinata avviene da parte del software di rete, anche se è possibile e forse preferibile eseguirla ugualmente in tempo reale da software dedicato al controllo di qualità.

Due altri parametri grossolani ma significativi sono la latenza media del dato e la percentuale dei dati trattati dalla rete rispetto a quelli inviati. Questo aspetto è legato alla quantità di dati che il software ritiene superino una certa soglia di rumore e che non sono attendibili secondo ciò che si indicava prima.

Il software di rete potrebbe indicare, in tempo reale, anche i residui stessi delle osservazioni utilizzate nel calcolo di rete, anche se, a nostra conoscenza, non vi sono programmi commerciali che forniscano tale dato.

Arriviamo ora a controlli più accurati e meno globali: in genere, anche in tempo reale, sono possibili quasi tutti i controlli eseguibili con software classici e ben consolidati come TEQC della Unavco. Ciò è vero in quanto questo software fornisce dei parametri che sono in alcuni casi funzioni puntuali nel tempo delle quantità di misura ed, in altri casi, delle medie mobili su poche epoche che possono ricavarsi anche in tempo reale (dopo poche epoche). È possibile configurare le finestre di queste medie ed una serie di parametri limite per generare specifici allarmi. Saremo meno generici.

Un parametro di controllo è il multipath su tutte le frequenze ed i segnali. Questa quantità, sulle fasi, è molto difficile da ricavare senza evitare il posizionamento di precisione.

È difficoltoso distinguere il multipath da altri effetti non dispersivi e dallo stesso rumore delle misure. La diversa frequenza del segnale rispetto ad esempio a quello troposferico aiuta in questa impresa, ma difficilmente avviene in tempo reale. Vi sono software che permettono una stima del multipath e del rumore delle osservazioni di fase e di codice a partire da dati orari, per ogni satellite, dopo una stima abbastanza affidabile delle ambiguità iniziali. Questi programmi si basano sull'uso di equazioni non differenziate secondo lo schema di Euler e Goad.

Utilizzando lo stesso schema è possibile teoricamente distinguere il rumore delle misure dalla stima dei multipath sulle fasi con l'uso del filtro di Kalman analizzando le proprietà dello "scarto predetto".

In alternativa è possibile ricavare delle quantità che sono combinazioni dei ritardi multipercorso di fasi e di codice. Sono abitualmente valori decimetrici e di per sé indicano i valori dei ritardi che affliggono i codici, essendo questi errori proporzionali alle lunghezze d'onda di ogni segnale. (È stato dimostrato che non possono superare metà della lunghezza d'onda di ciascun segnale). Ciò nonostante, fatte le debite proporzioni, sono indicativi anche di quanto le varie frequenze e le fasi sono influenzate da questo bias.

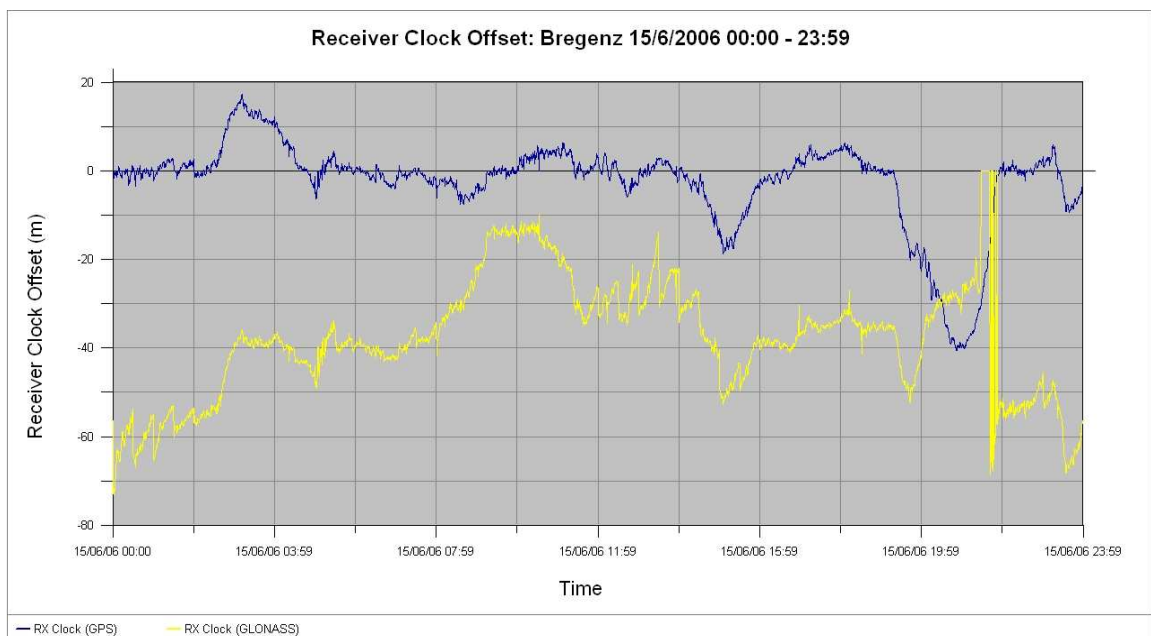
Due considerazioni: i valori di multipath dipendono fortemente da come il ricevitore estrae dal segnale i codici e le fasi, in particolare il codice e la fase della seconda frequenza GPS. Valori medi di 80 cm sulla seconda frequenza sono comuni per alcuni ricevitori ormai obsoleti, mentre sono elevati per ricevitori abitualmente in commercio. Valori elevati di multipath possono essere riscontrabili anche in assenza di problemi esterni al ricevitore, a causa di problemi nell'elettronica o, più frequentemente, a causa di rumorosità del segnale di frequenza esterno in ricevitori sincronizzati con sorgenti esterne al rubidio od al cesio (quest'ultimo ha maggiori problemi di manutenzione).

Con le stesse tecniche usate da TEQC è possibile valutare l'esistenza di cycle slip nelle fasi e stimare grossolanamente se questi sono avvenuti ad esempio per motivi ionosferici, per l'elettronica del ricevitore o semplicemente per ostacoli.

È possibile stimare i ritardi ionosferici ed, attraverso un posizionamento approssimato, la somma dell'errore di orologio e dei ritardi medi troposferici.

È molto utile valutare tutti questi parametri in modalità grafica, aggiornando il grafo in tempo reale. In particolare sono significativi i grafici dei multipath, del ritardo ionosferico, dei rapporti segnale rumore, e dei cycle slips in funzione sia del tempo che dell'elevazione dei satelliti.

Nel caso di tracciamento di due o più costellazioni (GPS e GLONASS) l'errore di orologio deve essere separato per entrambe le costellazioni. Anche se ciò può apparire strano, le modalità interne al ricevitore di tracciamento delle due costellazioni sono completamente diverse e diversi sono i ritardi anche a parità di oscillatore, interno od esterno. Ciò che si definisce "errore di orologio" è propriamente un ritardo globale dovuto anche all'elettronica e al tipo di decodifica che i segnali subiscono.



**Figura 1.** Errore di orologio del ricevitore per i satelliti GPS (Colori: blu/BN: grigio scuro) e per i satelliti Glonass (Colori: giallo/BN: grigio chiaro)

### 3.2 Il controllo in tempo reale dello stato della rete e del sistema

Il più fine anche se non esaustivo controllo, è quello del posizionamento in tempo reale. Questo controllo può essere convenientemente fatto dal software di rete, ma può essere eseguito anche da un modulo a parte, parallelo e funzionante anche su un altro computer. Normalmente, per analizzare ogni parte del segnale, il posizionamento è quello di precisione a punto singolo. Allo scopo servono sia le effemeridi trasmesse, per avere una stima ragionevole degli errori di orologi dei satelliti, sia le effemeridi precise predette che debbono essere preventivamente scaricate e validate. Le posizioni vanno verificate con quelle imposte per la stazione e le loro tolleranze. Non è detto che differenze significative (che peggiorano la qualità del fissaggio della rete) siano dovute a movimenti, ma a problemi interni del ricevitore od al calcolo di rete. Per non generare falsi allarmi è necessario superare test statistici che tengano conto anche dell'affidabilità della soluzione di rete.

Assieme ai parametri discussi precedentemente, fra i quali ricordiamo la percentuale dei dati utilizzati e la latenza media, il dato facilmente verificabile è lo stato della rete per quanto concerne il fissaggio delle

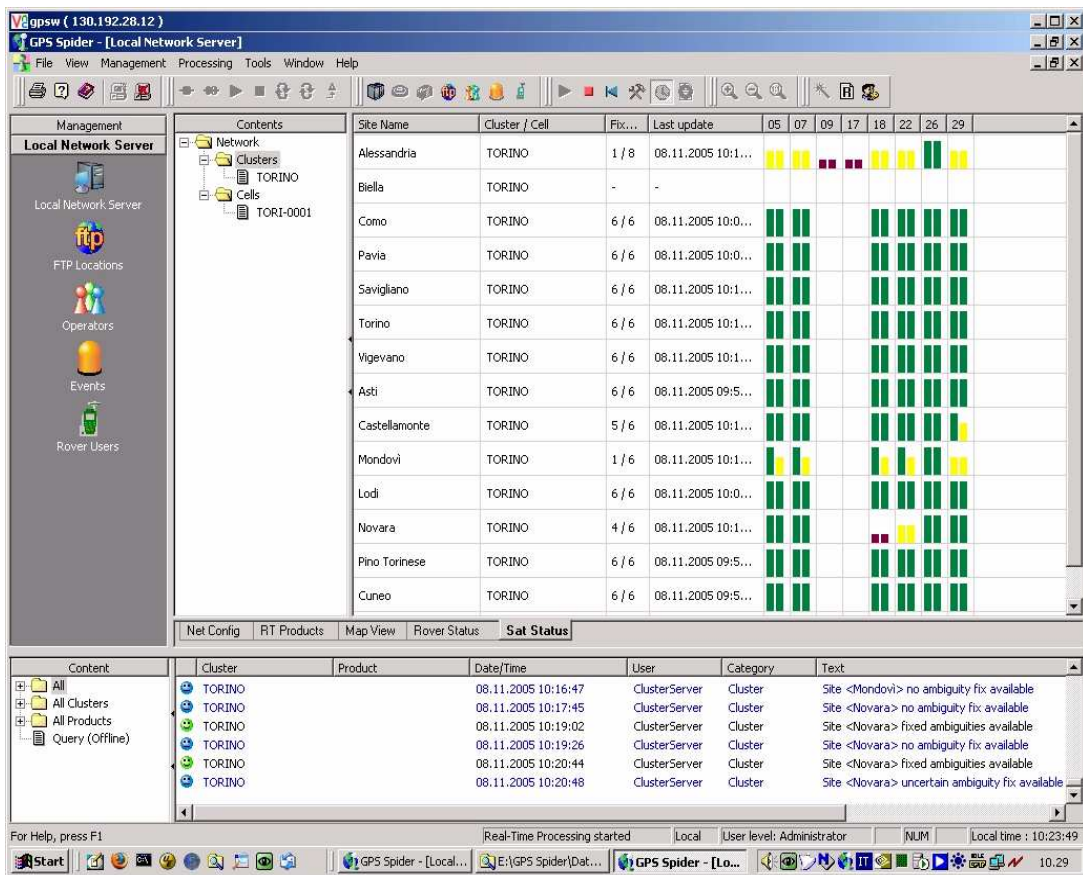
ambiguità. Usualmente, per ogni stazione e satellite ciò è visibile graficamente da una serie di barrette colorate, che indicano le frequenze trattate e che sono di colore rosso ad ambiguità non fissate, giallo ad ambiguità float ma prossime al fissaggio, verdi ad ambiguità fissata. Questi parametri di sintesi dovrebbero poter essere disponibili anche all'utenza esterna in fase di misura.

Il calcolo in tempo reale della rete avviene per mezzo del filtro di Kalman che necessita di fissare una serie di ipotesi stocastiche ed eventualmente dinamiche. Ciò significa che è possibile imporre alla rete di fissare in breve tempo a partire dall'accensione o con tempi più lunghi, a seconda di come si tarano alcuni parametri statistici i quali non vanno fissati a caso ma tarati con cura in un periodo che precede la nascita della rete all'utenza esterna.

Per il gestore della rete sarebbero auspicabile avere anche pochi parametri di massima che forniscano un'indicazione globale dello stato del fissaggio.

Il non fissaggio su una o più stazioni di rete significa semplicemente che quella stazione, per quel satellite, non ha un "livello comune" di ambiguità, in altre parole in quella stazione e per quel satellite non si possono trasmettere le correzioni di rete.

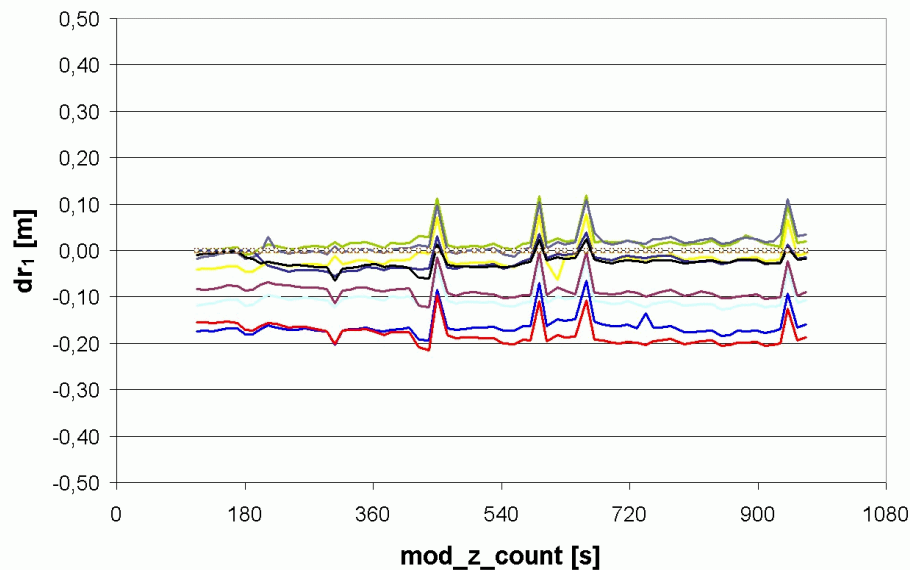
Ciò può essere problematico quando, pur osservando in campagna sei o più satelliti, si ricevono i dati di rete di soli cinque o quattro satelliti.



**Figura 2.** Software di calcolo di una rete per il tempo reale. (Spidernet di Leica Geosystem nell'esempio ®). Sulle righe le stazioni permanenti, nelle colonne i satelliti visti in tali stazioni. In colore verde (in BN grigio medio, ad esempio Alessandria, sat. 26) i satelliti con ambiguità fissate (la doppia barretta per le due frequenze GPS). In colore giallo (in BN grigio chiaro, ad esempio Alessandria, sat. 05) i satelliti con ambiguità float per la stazione permanente che compete, in rosso (in BN grigio scuro, ad esempio Alessandria, sat. 09) i satelliti con ambiguità ancora da calcolarsi. Nell'esempio mancano dati dalla stazione di Biella, mentre per Alessandria molte ambiguità sono ancora da fissare.

Il problema può essere superato agevolmente se il sistema è in grado di gestire le correzioni a partire dai dati di stazioni permanenti vicine. Questo è possibile ad esempio nelle modalità MAC (o MAX) con l'uso di stazioni costituenti celle che inglobano o sono prossime alla stazione rover e che vengono create automaticamente in funzione della posizione del ricevitore mobile e delle condizioni di fissaggio delle stazioni vicine.

Nel caso di trasmissione delle correzioni secondo lo standard FKP o VRS, saranno trasmessi i dati della stazione per quanto concerne i soli satelliti fissati. Anche in caso di fissaggio sarebbe auspicabile trasmettere questi dati solo dopo un controllo della loro attendibilità nel tempo.



**Figura 3.** Variabilità delle correzioni nel tempo dovuta alla variazione dei parametri FKP causati dall'eccessiva latenza dei dati in alcune epoche

### 3.3 Il controllo del servizio in tempo reale fornito all'utenza

È importante che il gestore della rete possa verificare in tempo reale la qualità del dato di correzione fornito all'utenza, non solo per avvisarlo di problemi sulla rete, ma per comprendere statisticamente l'efficacia dei servizi forniti.

Il software di rete visualizza il numero e il "nome" degli utenti esterni in quanto normalmente, anche se il servizio fosse gratuito, avviene una prima fase di autenticazione.

In secondo luogo è in grado di sapere la posizione dell'utente, grazie alla stringa di posizione che questo trasmette al sistema. In questa stringa, che viene inviata almeno due volte al minuto, oltre alla posizione, vi è anche lo stato del ricevitore: posizionamento stand-alone, posizionamento ad ambiguità reali, posizionamento ad ambiguità fissata. Il software di gestione della rete e dei collegamenti (non è detto sia lo stesso software di rete) è in grado allora di visualizzare su una mappa la posizione del ricevitore e, con un simbolo idoneo, il suo stato.

Nel caso del posizionamento MAC (o MAX) è in grado di evidenziare la sottocella della rete in uso al rover e la stazione master della sottocella.

In alcuni casi (ricevitori e software di rete della stessa ditta) è anche in grado di fornire un parametro qualitativo della bontà del fissaggio.

I software di rete più conosciuti, subito dopo la connessione e l'autenticazione dell'utente, creano un "connection log file" che permette di comprendere ciò che è avvenuto in campagna. Questi files non solo sono consultabili dal gestore anche parecchio tempo dopo la connessione, ma possono essere utilizzati per

estrarre informazioni riassuntive molto comode da visualizzare con grafici e istogrammi. In appendice A è mostrato un esempio di un piccolo file di rapporto. Forniamo sinteticamente le informazioni minimali che esso sempre contiene:

Nome dell'utente, epoca iniziale e finale, ultima stringa NMEA inviata dall'utente prima della disconnessione che comprende lo stato del posizionamento.

Sono disponibili usualmente anche queste informazioni: la prima stringa NMEA ricevuta, il tipo di servizio richiesto (FKP, VRS, MAC) l'eventuale cella utilizzata e la stazione master della cella, o del servizio FKP/VRS e la distanza in km da questa; i valori DOP alla posizione del rover, lo stato del rover (fix, float, stand alone). Tutti questi valori sono riscritti nel caso sia cambiata la cella o lo stato del ricevitore, sino alla disconnessione.

### 3.4 Il controllo di qualità dell'utente sul servizio fornito ed il risultato ottenuto

È fondamentale che l'utente sia tempestivamente avvisato dei problemi inerenti il posizionamento di rete con avvisi di posta elettronica molto tempo prima dell'inizio del rilievo. L'utente è ormai abituato ad uscire in campagna senza pianificare un'ora opportuna del rilievo a motivo della completezza della costellazione GPS e del ripristino della costellazione GLONASS. In realtà sarebbe buona norma eseguire un minimo di progettazione inerente il numero di satelliti esistenti ed i valori DOP in funzione dell'ora di misura e degli ostacoli previsti. Come accennato non è affatto scontato che i satelliti visibili al ricevitore siano non solo gli stessi disponibili in rete, ma anche che questi siano fissati (ad ambiguità fissata) e quindi realmente trattabili. La disponibilità di progetto di un buon numero di satelliti, assicura una buona riuscita del rilievo.

Anche in campagna, disponendo di adeguata strumentazione informatica: computer palmare e/o telefono connesso ad internet è possibile verificare in tempo reale lo stato della rete.

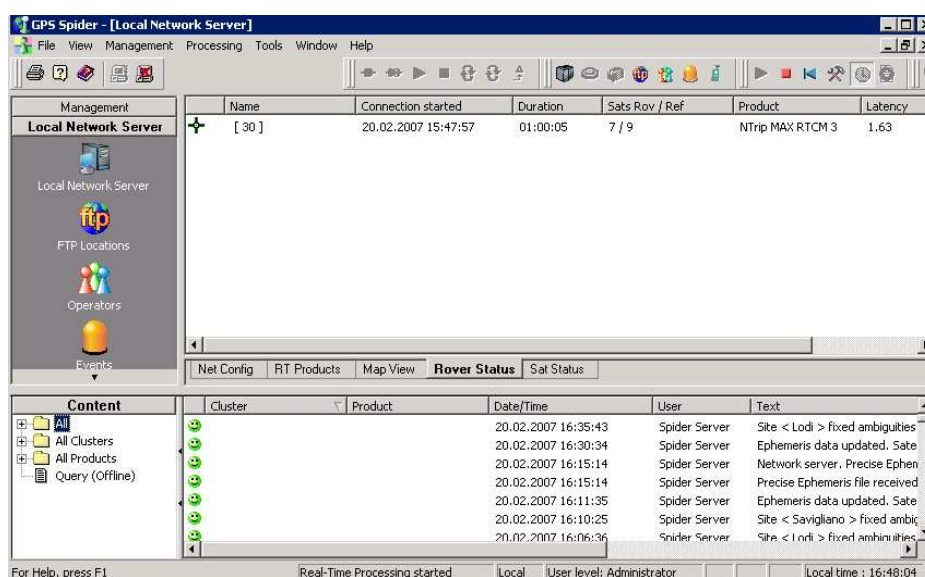
Uno dei tre software di rete maggiormente conosciuti fornisce ad esempio all'utenza una serie di informazioni per mezzo di una stringa leggibile in connessione TelNet. LA stringa contiene: lo stato di fissaggio dei satelliti e la loro posizione, la stima degli errori d'orbita dei satelliti, la stima dei disturbi atmosferici. Questi parametri sono già molto utili al rilievo. Queste ed altre informazioni possono essere accessibili anche graficamente su un portale Web.

Il metodo meno automatico, ma certo molto efficace, è quello di disporre di un numero verde, con più linee, sul quale l'utente può fare affidamento non solo per lo stato della rete, ma per chiarire eventuali problemi di connessione od autenticazione. Per fare ciò è chiaro che deve essere previsto del personale specializzato dedicato a questo servizio.

L'affidabilità del fissaggio sul ricevitore e la precisione delle coordinate sono caratteristiche strettamente dipendenti dalle modalità di calcolo interne al ricevitore, nonché dalla qualità del dato direttamente ricevuto dal ricevitore dell'utente.

Non è possibile fornire direttive o norme in merito, ma solo qualche informazione generale.

La modalità di posizionamento VRS è vista, da parte del ricevitore, come un normale posizionamento RTK in cui la stazione master è situata a pochi metri (od a pochi km) di distanza. La distanza di pochi km dalla posizione NMEA è impostabile al centro di controllo affinché il ricevitore dell'utente non esegua per il posizionamento procedure troppo semplificate (ad esempio utilizzi una sola frequenza), vista la distanza estremamente ridotta dalla stazione di base.



**Figura 4.** Il centro di controllo può verificare il tempo reale che un utente abbia conseguito un certo risultato (nella figura un fissaggio con 7 satelliti corretti su 9 visibili). Con più dettaglio questi dati sono riportati nel log di connessione in appendice

I parametri di qualità sul ricevitore dell'utente sono al solito il "ratio", gli SQM delle coordinate o semplicemente una varianza globale (variabile in tempo reale).

Le numerose esperienze avute hanno purtroppo dimostrato che non sempre i buoni valori ottenuti su detti parametri sono indicativi di un corretto fissaggio, con errori risultanti anche di alcuni decimetri.

Il posizionamento secondo le tecniche FKP consentirebbe a priori il calcolo di un altro parametro, indice di stabilità della rete: la varianza dei termini FKP trasmessi. A nostra conoscenza questa verifica non viene eseguita su alcun ricevitore.

Nel posizionamento di rete con correzioni ricevute nel formato RTCM 3.xx è possibile trasmettere i dati di un gruppo di stazioni permanenti: una stazione master e un certo numero di stazioni ausiliarie. Il ricevitore mobile può, se ne ha la capacità, eseguire un posizionamento cinematico e multibase, certamente più affidabile (anche se non è detto sia più formalmente preciso) del posizionamento a singola base. Purtroppo per ora non esistono ricevitori in grado di compiere questi calcoli in tempo reale. Abituamente questi ricevitori utilizzano i dati di una cella della rete per interpolare linearmente, all'interno della cella le correzioni e gli errori sistematici. Il posizionamento rimane a singola base. Anche in questo caso sarebbe auspicabile fornire dei parametri di qualità legati alla varianza di questi valori interpolati nelle varie epoche di misura.

Anche se attualmente i parametri di qualità visualizzabili durante la misura sono scarsi, è possibile nei moderni ricevitori memorizzarli assieme alle coordinate, ai valori di DOP ed ai codici dei punti rilevati. Ciò consente in ufficio di scartare quei punti che, anche se apparentemente acquisiti ad ambiguità fissata, abbiano parametri superiori a certe tolleranze. Queste tolleranze tuttavia vanno stabilite sulla base di lunghe esperienze di misura precedenti su siti di posizione nota.

#### 4 IL CONTROLLO DI QUALITÀ DEI DATI GREZZI

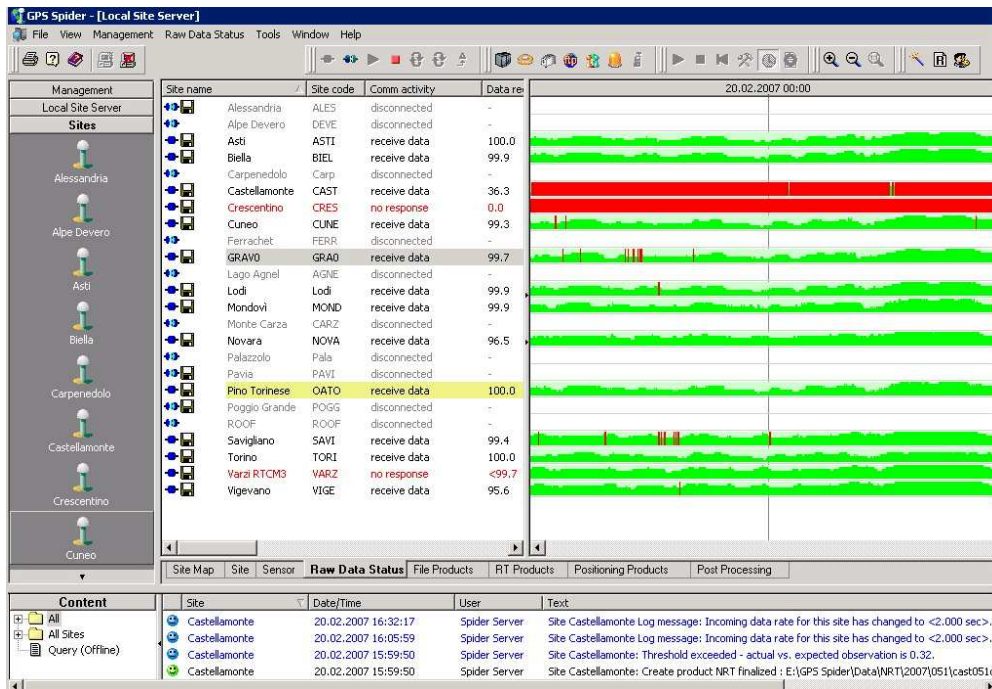
Ci sono molte operazioni diurne che migliorano l'affidabilità della rete, senza necessariamente arrivare al trattamento dei dati. Fra queste segnaliamo la verifica della connessione delle SP, la verifica della quantità di dati forniti, le statistiche giornaliere inerenti il fissaggio della rete.

Un secondo controllo che può essere reso automatico è la verifica della qualità dei dati giornalieri eseguibile, di solito, con il software TEQC dell'UNAVCO.



La Fig. 5 mostra ad esempio i diagrammi del software Leica® SpiderNet inerente la quantità di dati acquisiti durante 24 ore. Il grafico mostra tre tipologie diverse di problemi. Dalla stazione di Crescentino, ad esempio, non si sono ricevuti ultimamente dati, la stessa stazione non fornisce alcuna risposta.

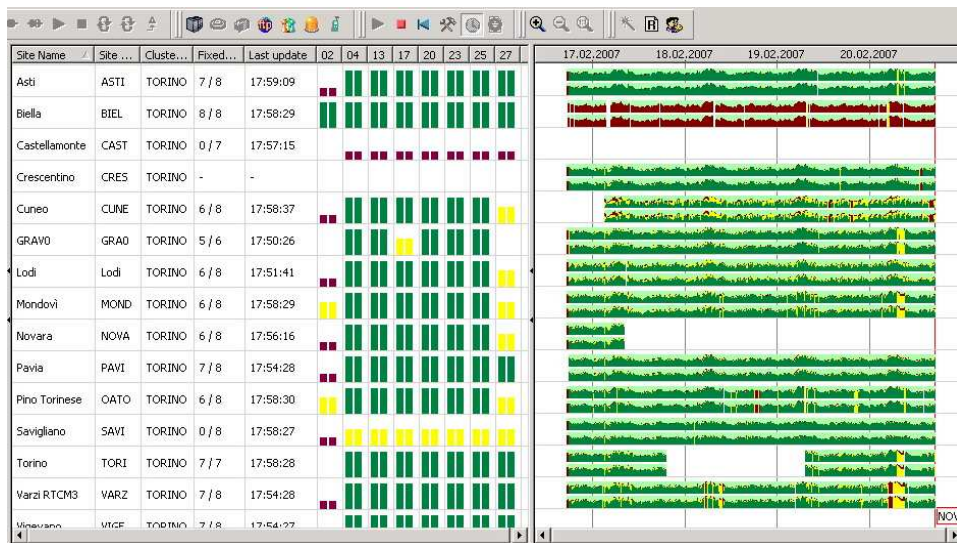
La stazione di Castellamonte ha altri problemi: si ricevono i dati, ma questi arrivano solo di tanto in tanto (la barra è quasi completamente rossa, in BN grigio scuro). I dati ricevuti sono il 36% di quelli desiderati. Sulle altre stazioni permanenti i dati superano sempre il 95%, con qualche problema trasmissivo di tanto in tanto. A Savigliano, ad esempio, alcune barrette rosse indicano una carenza di dati ad una certa ora.



**Figura 5.** Il centro di controllo può verificare la quantità di dati registrati per il post-processing. Questo grafico rappresenta l'operare del software di rete SpiderNet della Leica Geosystem®. In questo caso i dati sono creati a partire dalle stringhe RTCM spedite dalle singole stazioni. La figura mostra ad esempio il 100% dei dati arrivati dalla stazione di Asti, il 96.5% che arrivano da Novara, solo il 36.3% arrivano da Castellamonte. Nessun dato è arrivato ad esempio dalla stazione di Crescentino. Il principale problema della perdita di dati è lo stato della rete internet: per questo si raccomanda di generare localmente i file di dati e di trasmetterli così, con cadenza oraria o giornaliera, al centro di controllo.

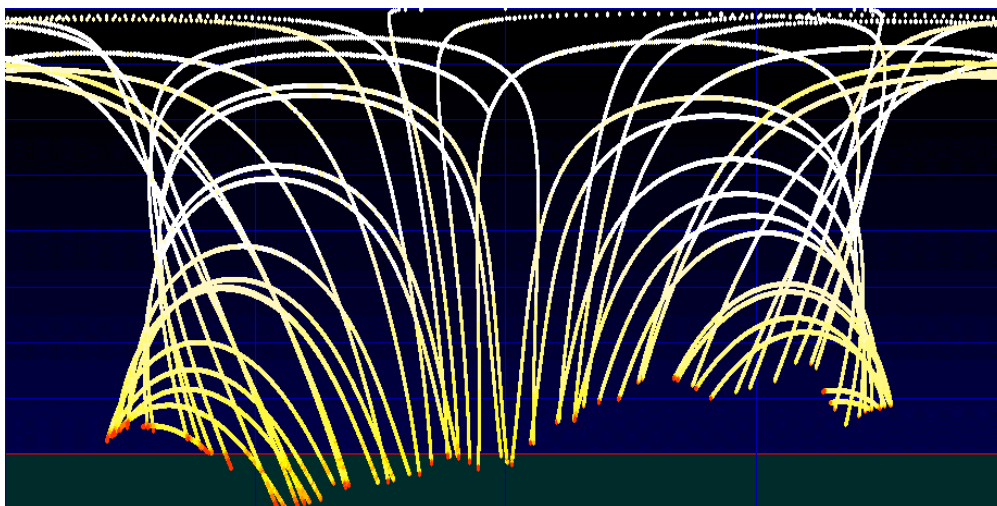
Molto simili ai grafici di Figura 5 sono i grafici di Figura 6 che indicano quale è stato il tipo di fissaggio su tutta la rete nelle ultime  $n$  ore, con  $n$  numero a scelta variabile da 0.5 a 48.





**Figura 6.** Questo grafico rappresenta l'operare del software di rete Spidernet della Leica Geosystem®. I due colori verdi (in BN grigio intermedio, ad esempio Asti, sat. 04) indicano il fissaggio nelle due frequenze GPS, il colore giallo (in BN grigio chiaro, ad esempio Cuneo, sat. 27) il posizionamento float per uno o più satelliti della stazione permanente, il rosso (in BN grigio scuro, ad esempio Asti, sat. 02), il non fissaggio nelle ultime "n" ore

Le figure 7.a e 7.b riportano invece i risultati grafici del controllo di qualità eseguibile con il software TEQC dell'UNAVCO. I grafici sono ottenuti dal programma QC2SKY, sviluppato appositamente dal Politecnico di Torino. È possibile calcolare prima e graficare poi i valori di ritardo ionosferico, di multipath e di rapporto segnale rumore sulle due frequenze GPS. Il diagramma colorato di questi valori indica in modo molto chiaro i possibili problemi, legati a questi bias, eventuali problemi di uno o più satelliti, le ostruzioni che sono intervenute sul sito di misura.



**Figura 7.a.** Andamento azimuth-elevazione dei satelliti in 24 ore di misura. Si noti il profilo inferiore che denota il profilo delle occultazioni. Il sito trovasi in zona di alte montagne. I colori indicano i diversi valori dei parametri IOD, ION, Multipath, rapporti segnale-rumore (vedi figura 7.b)

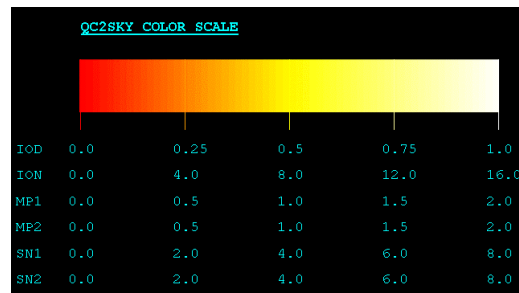


Figura 7.b. Scala dei colori con la quale si interpretano i grafici della figura 7.a

Alcuni problemi sui dati, o nella stazione, non possono tuttavia risolversi se non dopo il trattamento degli stessi. È evidente ad esempio che un cedimento della monumentazione è visibile solo dopo aver trattato i dati. Per questo, e per altri motivi è raccomandabile un trattamento giornaliero. In tal caso occorrerà utilizzare i prodotti rapidi od ultrarapidi disponibili nel sito IGS.

Alcuni anni or sono si è verificato che i dati della stazione del Politecnico di Torino fossero completamente inutilizzabili in post-processing, nonostante che il software TEQC fornisse risultati abbastanza buoni.

Si è capito, dopo molte indagini, che il problema derivava da anomalie nel campione di frequenza esterno (un orologio al cesio) che aveva bisogno di tarature. Senza un processamento dei dati tale problema non sarebbe affatto emerso.

#### 4.1 La ricerca ed il recupero dei Cycle Slip

Una delle condizioni per il posizionamento di precisione è l'affidabilità delle ambiguità di fase. Per questo motivo i salti di fase (cycle slip) sono particolarmente dannosi. Ripulire e ricucire questi salti di fase, che sono inevitabili, costituisce il primo trattamento di base che prelude al successo del posizionamento. Questa operazione può avvenire sia in post-processing ed anche, in una certa misura, in tempo reale.

Il gruppo del Politecnico di Milano ha affrontato, nell'ambito del progetto di lavoro, il tema dell'identificazione e, possibilmente, della ricostruzione dei cycle slip, usando solo le equazioni di osservazione di fasi e codici da un singolo ricevitore a un singolo satellite. L'idea è che in una rete di Stazioni Permanenti GNSS la possibilità di mettere in linea un'analisi diretta dei flussi di dati tra ogni singolo ricevitore e i singoli satelliti, può rendere più efficiente il lavoro della rete stessa in quanto tale compito, o parte di esso, potrebbe essere svolto da ogni stazione prima ancora di centralizzare i dati. Le idee su cui si è concentrato il lavoro sono due e sono sommariamente descritte nel seguito.

##### 4.1.1. Un detector ottimizzato di cycle slip.

Questo è costruito come una combinazione di codici e fasi del seguente tipo

$$\Delta_t = 0.1115C_t + 0.1450P_t - 1.2565L_1 + L_2, \quad (1)$$

I codici e le fasi si riferiscono a una singola coppia ricevitore-satellite. L'indice  $\Delta_t$  ha le seguenti proprietà, come è facile verificare:

1. è sia Geometry Free sia Ionospheric Free;
2. minimizza il contributo di varianza dei due codici, con un rumore complessivo di 7.8 cm di SQM;
3. ha un salto univoco di  $\pm 24$  cm se si sgancia una sola delle due fasi.

L'indice  $\Delta_t$  permette quindi una rapida valutazione della presenza di salti anche di un solo ciclo, ma chiaramente non identifica salti di un uguale numero di cicli contemporaneamente su  $L_1$  e  $L_2$ .

#### 4.1.2. BICYCLES, Bayesian Identifier of Cycle Slips

Qui il metodo è assai più raffinato ed utilizza una tecnica bayesiana per l'identificazione di discontinuità in regressioni lineari. Il metodo lavora con una serie di passi.

1. Identificata una finestra temporale in cui si ha una buona probabilità di non avere più di un cycle slip, lavora con le seguenti combinazioni di entrambe le fasi e di un codice

$$L_{4t} = L_{1t} - L_{2t}$$

$$PL_t = P_t - L_{1t}$$

Sia  $L_{4t}$  che  $PL_t$  dipendono solo dai bias iniziali e dalla ionosfera.

2. Modellata la ionosfera come un polinomio di 4° grado (in periodi di qualche minuto di osservazione) si utilizza un metodo bayesiano per la ricerca di un'epoca di salto  $\tau$  basata solo su  $L_{4t}$ .

3. Successivamente si stima l'ampiezza ottimale del salto (si osservi che questo è della forma  $\lambda_1 \delta N_1 - \lambda_2 \delta N_2$ ) condizionando il valore di  $\tau$  e testando la sua significatività.

4. Poiché lo stesso salto può corrispondere a più coppie  $(\delta N_1, \delta N_2)$  occorre trovare quella giusta; si vede però che solo coppie di valori che distino fra loro almeno di 5 interi producono circa gli stessi valori: poiché un salto  $\delta N_1$  di 5 cicli è identificabile in  $PL_t$  si trovano con discreta possibilità i valori corretti.

L'uso dell'indice  $\Delta_t$  è stato pubblicato in (Sansò, 2006). Il metodo BICYCLES è descritto in (C. De Lacy et al., 2007). Si osservi che le due proposte possono facilmente essere generalizzate al futuro caso di osservazioni su tre frequenze (GPS modernizzato e Galileo).

## 5 IL CONTROLLO DI QUALITÀ DERIVANTE DAL CALCOLO DI RETE

Il calcolo finale della rete, che avviene normalmente dopo la disponibilità delle effemeridi precise e di altri prodotti IGS (in genere dopo almeno 15 giorni dal dato) costituisce da un lato il controllo geometrico fine della rete, dall'altro l'inquadramento nel sistema di riferimento. L'analisi delle serie settimanali permette quindi di separare il sistema di riferimento da deformazioni locali e di aggiornare periodicamente le coordinate della rete con accuratezza di un ordine superiore a quella necessaria per il tempo reale: di questo argomento si è discusso nel capitolo 2. Evidentemente il calcolo finale della rete e gli indicatori forniti al termine dello stesso possono fornire anche un controllo di qualità dei dati grezzi; tale controllo è però troppo tardivo rispetto alle esigenze di distribuzione di dati per il post-processamento, che impongono un controllo in quasi tempo reale. A tal fine è utile una compensazione di rete quotidiana, effettuata al termine della giornata; i criteri adottati nella elaborazione dei dati grezzi dovrebbero essere in generale i medesimi della compensazione finale; rispetto a questa, però, la compensazione di controllo deve necessariamente essere caratterizzata dai seguenti aspetti:

1. adozione delle effemeridi ultrarapide di IGS e di EOP predetti (IGS non ne fornisce, ma sono ad esempio disponibili quelli dello IERS);

2. compensazione delle sole SP della rete, senza l'introduzione di SP IGS;

3. compensazione a minimi vincoli, ad esempio vincolando una SP baricentrica alle sue stime ufficiali.

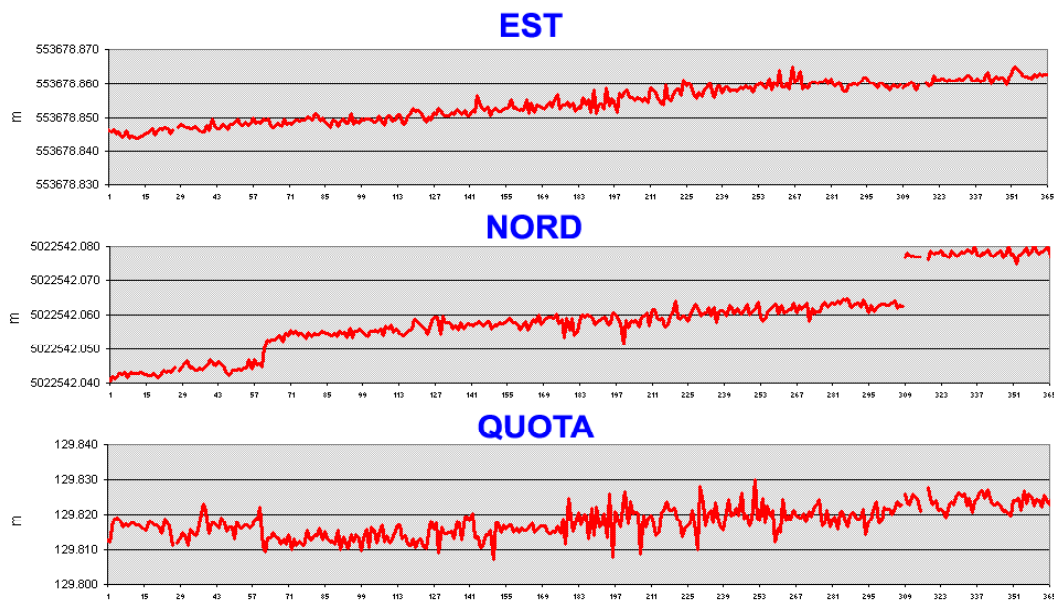
Si noti che tecnicamente la compensazione di controllo della sola rete regionale, le cui basi non superano gli 80 km, potrebbe anche essere effettuata con programmi commerciali; però tali programmi non forniscono altrettanti indici di qualità quanti sono quelli forniti dai programmi scientifici, come ad esempio il Bernese; inoltre l'uso di un programma differente impedirebbe un confronto immediato delle coordinate: perciò si ritiene che anche la compensazione finalizzata al controllo di qualità debba essere effettuata con il medesimo programma utilizzato per l'inquadramento.

A titolo di esempio si riportano le scelte adottate per la compensazione della rete di Regione Lombardia: allo scopo di effettuare il controllo di qualità della rete vengono estratti in automatico, tra i molteplici parametri di reportistica generati dal programma Bernese, i seguenti:

1. lo schema di rete, ovvero il numero di SP, fra quelle previste, non presenti all'elaborazione;
2. le SP che presentano buchi nelle osservazioni o un numero di osservazioni inferiore ad un valore di soglia;
3. la coerenza di EOP e effemeridi, valutata come RMS delle orbite interpolate mediante il programma del Bernese *orbgen*;
4. la qualità dei dati di codice, valutata con l'RMS di stima del programma *codspp*;
5. la qualità nel fissaggio dei cycle slip, valutata come l'RMS delle triple differenze, per ogni base, al termine del programma *mauprp*;
6. il numero di ambiguità intere rimanenti al termine del fissaggio dei cycle slip da stimare per ogni base;
7. la percentuale di ambiguità intere fissate;
8. la qualità nella stima delle ambiguità intere, per ogni base, valutata come l'RMS di fissaggio al termine del programma *gpsest*.

Nel seguito sono riportati alcuni esempi di risultati e statistiche, relativi all'anno 2006. Si nota che gli esempi si riferiscono alla compensazione finalizzata all'inquadramento della rete e non a quella finalizzata al controllo di qualità, poiché quest'ultima è stata avviata solo di recente: non per questo perdono di validità.

Si mostra innanzitutto la serie di risultati relativi alle coordinate UTM stimate per la stazione di Crema: si nota una discontinuità al giorno 60, dovuta a lavori di consolidamento sul piastrino. In questo caso i lavori erano pianificati da tempo; per converso questo esempio mostra come il controllo regolare effettuato a compensazioni giornaliere permette l'identificazione a breve termine di eventuali cedimenti delle strutture delle SP e di quantificare gli spostamenti apparenti dovuti al cambio di hardware e software.



**Figura 8.** Estrazione delle stime Est, Nord, h per Crema (CREA)

Si riporta nel seguito uno stralcio di un file di output del programma che estrae in automatico gli indicatori prima elencati, e subito dopo, la tabella con le statistiche relative a tutto il 2006.

```
=====
BASI CON ELEVATO RMS AL TERMINE DI MAUPRP:
=====

RMS di soglia: 0.015 m

Giorno   da      a      RMS(m)
-----
 316     CLTN    LECC    0.0160
 318     CLTN    LECC    0.0160

=====
BASI CON NUMERO ELEVATO DI AMBIGUITA INIZIALI:
=====

# ambiguità massimo: 110

Giorno   da      a      #amb
-----
 317     BRES    DALM    112
 320     BORM    WTZR    122
 321     MATE    MEDI    298
 321     MATE    MEDI    560

=====
BASI CON BASSA % DI AMBIGUITA FISSATE (METODO QIF):
=====

Fissaggio minimo: 80.0 %

Giorno   da      a      %fix
-----
 316     CLTN    COMO    74.5
         COMO    GAVI    77.4
 319     MANT    PADO    76.0
 321     MATE    MEDI    77.5

=====
BASI CON ELEVATO RMS AL TERMINE DEL FISSAGGIO AMBIGUITA (QIF):
=====

RMS di soglia: 1.50 mm

Giorno   da      a      RMS(mm)
-----
 316     CLTN    COMO    1.70
 317     COMO    LECC    1.80
```

Si nota che la base che presenta maggiori problemi è quella tra Matera e Medicina; andando a visualizzare le stime UTM per Matera: si nota in effetti una serie di risultati anomali nelle stime delle coordinate. Si stanno ora conducendo ricerche sulla effettiva correlazione fra questi parametri e la ripetibilità delle coordinate stimate.

BASE	LUNGHEZZA (km)	RMS CYCLE SLIPS (mm)				N° AMBIGUITA' INIZIALI				% AMBIGUITA' FIX				RMS STIMA AMB FINALE (mm)				
		media	sqm	min	max	media	sqm	min	max	media	sqm	min	max	media	sqm	min	max	
BORM	SOND	51.6	8.8	0.7	8	12	82.8	7.8	44	108	94.5	4.3	70.4	100	1.5	0.2	1.3	2.1
BRES	CREA	48.8	8.9	0.3	8	11	92.9	7.6	20	126	94.1	4.2	80.0	100	1.1	0.3	0.8	2.5
CAGL	GRAS	540.7	9.6	0.6	8	13	87.3	10.1	34	110	90.7	4.4	67.9	100	1.2	0.2	0.8	2.3
COMO	GAVI	31.0	9.7	1.1	8	14	92.6	6.4	78	110	91.6	4.5	72.3	100	1.3	0.4	0.8	2.7
COMO	LECC	24.9	11.9	2.7	8	17	88.7	7.6	54	116	91.0	6.1	68.1	100	1.5	0.4	0.8	2.7
CREA	CREM	33.9	9.5	0.6	8	13	93.9	8.1	20	126	94.0	4.3	70.9	100	1.1	0.2	0.9	2.6
CREA	DALM	33.2	9.8	0.4	9	11	94.3	9.3	20	146	93.2	4.7	73.7	100	1.2	0.2	0.9	2.4
CREM	MANT	61.9	9.9	0.5	9	13	96.2	7.4	70	122	93.6	4.2	74.5	100	1.1	0.3	0.9	2.3
DALM	LECC	27.7	12.1	2.6	8	15	90.1	7.9	54	114	90.6	5.2	75.0	100	1.3	0.3	0.8	2.7
DALM	MILA	34.1	9.4	0.5	8	11	94.9	9.4	34	138	93.0	4.7	76.1	100	1.2	0.2	0.8	2.8
GAVI	ZIMM	148.7	10.4	0.9	9	14	90.6	6.6	34	106	93.6	4.3	78.7	100	1.1	0.3	0.7	2.3
GRAS	IENG	151.3	7.7	0.7	6	10	92.6	16.8	16	214	92.4	5.3	45.8	100	1.0	0.3	0.7	2.3
GRAZ	PADO	332.9	11.1	0.4	10	12	98.8	12.1	42	178	87.9	5.0	74.0	97.9	1.3	0.2	1.0	2.4
GRAZ	WTZR	302.0	10.6	0.5	10	12	94.2	10.4	26	126	92.2	3.5	73.3	100	1.2	0.2	0.9	2.1
IENG	VIGE	101.7	8.3	0.6	7	11	94.1	17.3	14	232	91.5	7.6	43.1	100	1.1	0.2	0.7	2.1
LECC	SOND	48.9	13.8	0.5	13	16	87.1	10.2	44	120	89.1	5.2	69.2	100	1.4	0.2	1.2	2.3
MANT	MEDI	98.2	11.7	0.9	10	25	94.9	13.6	14	128	87.8	7.3	45.0	100	1.1	0.2	0.9	2.2
MANT	PADO	91.2	10.9	0.4	10	12	97.7	11.5	38	176	88.1	5.0	66.7	98.0	1.2	0.2	1.0	2.2
MATE	MEDI	597.3	11.9	7.2	10	148	144.5	101.2	14	570	81.7	8.2	18.6	95.0	1.3	0.3	0.9	4.5
MILA	PVIA	31.6	8.8	0.5	8	11	93.5	8.6	34	130	94.1	3.9	80.0	100	1.0	0.3	0.7	2.6
PVIA	VARZ	42.4	9.0	0.4	8	11	92.4	5.8	60	130	93.9	4.0	79.5	100	1.0	0.3	0.7	2.1
PVIA	VIGE	24.9	8.5	0.6	7	10	92.8	5.9	60	130	94.9	6.2	82.6	100	0.9	0.2	0.7	2.1

Tabella 1. Statistiche sugli indicatori di qualità per la rete di regione Lombardia, anno 2006

## BIBLIOGRAFIA

- AAVV, Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP), version 1.0, [http://igs.ifag.de/index\\_ntrip.htm](http://igs.ifag.de/index_ntrip.htm), 2004.
- Adam J., et al, The European Reference System coming of age, Geodesy Beyond 2000, IAG General Assembly, Birmingham July 1999, K. P Schwarz eds., IAG Symposia, Vol. 121, Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- Alber C., Ware R., Rocken C., Braun J. - Inverting GPS double differences to obtain single path phase delays Geoph. Res. Let. vol. 26 (2000).
- Aoudia A., Barzaghi R., Borghi A., Sabadini R., Marotta A. M., Panza G., Troisi C., Manzino A. M., Roggero M., Lucchetta A., Carraro C., Zampedri G., Laffi R., Crotta S., De Donatis S., Gerbino P. G., Sguerso D., Voelksen C., Drewes H., Valpersdorf A., Zivcic M, Il progetto ALPS-GPSQuakenet, Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 2004.
- Bagge, A., Wübbena G., Schmitz M., Introduction into Real-Time Network Adjustment with Geo++® GNSMART, Geoinformation Workshop 2004, Istanbul Kultur University, Antalya, Turkey, September, 2004.
- Barzaghi R., Betti B., Biagi L., Casella V., Crespi M., Franzini M., Manzino A. M., Mazzoni A., Piras M., Roggero M., Scuratti M., Tornatore V., Rilievi GPS-RTK e stazioni permanenti GPS: sperimentazione del sistema RIR, Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, 2004.
- Belluomini P., Biagi L., Sansò F., Scuratti M., Novembre C., Il servizio di posizionamento della Regione Lombardia: stato di avanzamento, Atti della 8a Conferenza ASITA, Roma, 2004.
- Beutler G., Rothacher M., Schaer S., Springer T.A., Kouba J., Neilan R.E., The International GPS Service (IGS): An Interdisciplinary Service in Support of Earth Sciences, Adv. Space Res. Vol. 23, No. 4, 1999.
- Biagi eds, Il Servizio di Posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi di rete in tempo reale, in fase di sottomissione al Bollettino SIFET, 2006.
- Biagi L., Crespi M., Manzino A. M., Sansò F., Roggero M., *Guidelines to an optimal adjustment of local service permanent networks within a dynamic world: a first proposal*, <http://geomatica.com.polimi.it/prin/>, 2005.
- Biagi L., Crespi M., Manzino A., Sansò F., I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS, relazione invitata alla 9° Conferenza ASITA, 2005, Catania, in pubblicazione sul Bollettino SIFET n°1, 2006.
- Brown N., Keenan R., Richter B., Advances in Ambiguity Resolution for RTK - Applications Using the new RTCM V3.0 Master-Auxiliary Message, ION GNSS technical meeting of the satellite division, 2005
- Cina A., Manzino A. M., Roggero M. - Multi station estimation of GPS signal atmospheric delays by undifferenced observations - XX° ISPRS general assembly, commission I, WG I/5 - (2004)
- Cina A., Manzino A., Piras M., Roggero M, *Rete test in Piemonte, impianto e risultati*, in Bollettino SIFET, N° 2, 2004.
- De Lacy M. C., Sansò F., Gil A. J., Rodriguez-Caderot G. - A method for the ionospheric delay estimation and interpolation in a local GPS network - Stud. Geophys. Geod., 49 (2005)
- De Lacy C., Reguzzoni M., Venuti G., The Bayesian detection of discontinuities in linear regression with GNSS applications. Paper sottoposto per la pubblicazione al Journal of Geodesy, 2007.
- Dorota A. Grejner-Brzezinska, Kashani I., Wielgosz P., On accuracy and reliability of instantaneous network RTK as a function of network geometry, station separation, and data processing strategy, GPS Solutions (2005) 9:212-225

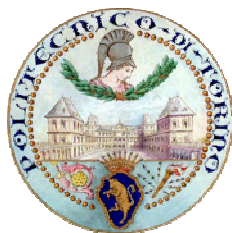
- DOI 10.1007/s10291-005-0130-1.
- Dousa J., On the specific aspects of precise tropospheric path delay estimation in GPS analysis, IAG Symposia 2001, vol. 125, Springer, 2001.
- Euler H.-J. - Reference station network information distribution -IAG-WG5.4.1 - www.network-rtk.info - (2005)
- Euler, H.-J., Keenan, C.R., Zebhauser, B.E. and Wuebbena, G., Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays, ION GPS 2001, September 11-14, 2001, Salt Lake City, UT, 2001.
- Fotopoulos G. Parameterization of DGPS Carrier Phase Errors Over a Regional Network of Reference Stations, (M.Sc. thesis), UCGE Report No. 20142, August 2000.
- Gao Y., Liu Z.Z. - Precise ionosphere modelling using regional GPS network data Journal of Global Positioning Systems vol. 1, n.1 (2002).
- Grejner-Brzezinska D. A., Kashani I., Wielgosz P., On accuracy and reliability of instantaneous network RTK as a function of network geometry, station separation, and data processing strategy, GPS Solutions (2005-b)9:212-225 DOI 10.1007/s10291-005-0130-1.
- Hugentobler, U., Dach, R., Fridez, P., Bernese GPS Software 5.0, Draft. Astronomical Institute, University of Berne, 2005.
- IREALP, Politecnico di Milano – Polo Regionale di Como, Disciplina tecnica del Capitolato Speciale d'Appalto Realizzazione di una rete regionale di stazioni permanenti GPS coordinate da un centro di controllo per l'erogazione all'utenza di servizi di posizionamento e navigazione, IREALP, 2004.
- Kashani I., Grejner-Brzezinska D., Wielgosz P. - Towards instantaneous network-based RTK GPS over 100 km distance - Proc. ION 60th Annual Meeting- (2004-a).
- Kashani I., Wielgosz P., Grejner-Brzezinska D. - The Double difference effect of ionospheric correction latency of instantaneous ambiguity resolution in Long-Range RTK - ION GNSS 17th International Technical Meeting of the Satellite Division - (2004-b).
- Kashani I., Wielgosz P., Grejner-Brzezinska D. - Ionospheric correction latency analysis in long-range RTK - IAG-WG5.4.1 - www.network-rtk.info -(2004-c).
- Landau H., Vollath U., Chen X., Virtual Reference Station Systems, Journal of Global Positioning Systems Vol. 1, No. 2: 137-143, 2002.
- Langley R.B. - Propagation on GPS Signals - Cap. 3° di "Teunissen P.J.G. e Kleusberg A. (Eds.) - GPS for Geodesy" (1996).
- Le A. Q., Tiberius C. - Single frequency precise point positioning with optimal filtering - GPS Solutions (2006).
- Leica Geosystems, Networked Reference stations: take it to the MAX!, Leica Geosystems White paper, June 2005.
- Liu Z.Z., Gao Y. - Ionospheric TEC predictions over a local area GPS reference network - GPS Solutions - n.8 - (2004)
- Manzino A. M., Stazioni permanenti GNSS in Italia: scopi, usi e prospettive, Relazione Invitata ASITA in Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, 2002.
- Mousa T. A., Wang J., Rizos C., Lee Y.-J., Mohamed A. - Mitigating residual tropospheric delay to improve User' network-based positioning - Journal of Global Positioning System vol.3 n.1 - (2004).
- Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM recommended standards for differential GNSS service, Version 2.3, RTCM paper 136-2001, August 20, 2001.
- Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM recommended standards for differential GNSS service, Version 3.0, RTCM paper, 30-2004, February 10, 2004.
- Ray J., Dong D., Altamimi Z., IGS Reference Frame: Status and Future Improvements, Proceedings of IGS: Celebrating a decade of the International GPS Service, Berne, March 1-5, 2004, AIUB, Berne, 2004.
- Reina G., Crespi M., Reti di stazioni permanenti GNSS a supporto dell'aggiornamento di un DB cartografico: il caso della cartografia catastale, Atti della 9ª Conferenza ASITA, 2005.
- Richert T., El-Sheimy N. - Ionospheric Modelling / the Key to GNSS Ambiguity resolution - GPS World, June (2005)
- Rocken C., Johnson J. M., Braun J. J., Kawawa H., Hatanaka Y., Imakiire T. - Improving GPS surveying with modeled ionospheric corrections. Geophysical Research Letters, Volume 27, Issue 23, p. 3821-3824 DOI:10.1029/2000GL012049 (2000).
- Sansò F., Dispense del corso di Topografia. Politecnico di Milano, Polo Regionale di Como. 2006.
- Sansò F., De Lacy C., Uno studio sulle diverse applicazioni del GPS e sul futuro sviluppo della rete di stazioni permanenti GPS sul territorio italiano orientato alla creazione di un servizio geodetico nazionale, International Geoid Service-Agenzia Spaziale Italiana, 2001.
- Schöffel M., Schneider A., Can NTRIP replace GMS communication in RTK surveying?, paper presented at GPSNet User Conference, Munich, July 2004.
- Skone S., Hoyle V. - Troposphere modeling in a regional GPS network - Journal of Global Positioning System vol.4 n.1 - (2005).
- Vollath U., A. Buecherl, H. Landau, C. Pagels, B. Wagner, Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations. Paper presented at ION GPS 2000, Salt Lake City, 2000.

- Wielgosz P., Kashami I., Grejner-Brezinska D. - Analysis of long-rangenetwork RTK during a severe ionospheric storm - J Geod 79 - (2005-a).
- Wübbena G., Bagge A., RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP Version 1.0, Geo++® White Paper Nr. 2002.01, <http://www.geopp.de/download/>, 2002.
- Wübbena G., Bagge A., Schmitz M., Network-Based Techniques for RTK Applications, Presented at the GPS Symposium, GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, November 14.–16., 2001, Tokyo, Japan, <http://www.geopp.de/download/>, 2001.
- Wübbena G., On the modelling of GNSS observations for high-precision position determination, Translation of Wübbena, G., Zur Modellierung von GNSS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung. Wissenschaftliche Arbeiten Fachrichtung Vermessungswesen an der Universität, Hannover, Festschrift Prof. G. Seeber zum 60. Geburtstag, Nr. 239, Hannover, <http://www.geopp.de/download/>, 2001.
- Xiaoming C., Herbert L., Vollath U., New Tools for Network RTK Integrity Monitoring, ION GNSS, 2003.
- Zeng Y., Feng Y. - Interpolating residual zenith tropospheric delays for improved regional area differential GPS positioning - Navigation vol.52 n.3 - (2005).



## APPENDICE 3.1 I REPORT DELLE RETI DI STAZIONI PERMANENTI

Ciò che segue è il report generato dal software Spidernet della Leica Geosystem durante la connessione di un utente che ha eseguito il posizionamento ed il fissaggio con i prodotti in tempo reale forniti dalla rete del Politecnico di Torino.



### GPS Spider 2.0 Torino

#### Real Time Connection Log

##### *General Information*

Rover user name:	[12]
Organization:	Alberto Cina
Server time setting:	Local time (UTC +2h)
Connection started at:	2006-06-09 12:16:53
Start sending corrections at:	2006-06-09 12:17:02
Connection ended at:	2006-06-09 12:24:21
Duration of connection:	00:07:28 [H:M:S]
First reference station used / distance to station:	Mondovì - 9 / 1.056 km
Last reference station used / distance to station:	Cuneo - 14 / 20.880 km

##### *Real Time Product Settings*

Product name:	IP i-MAX 2.3
Type:	Automatic cells
Site/Cell name:	-
Send real time message to:	TCP/IP
Connection settings:	GPSW:2101
Authentication:	None
Check for nearest site/cell:	On
Check for nearest site/cell after:	2000 m
Message type:	RTCM 18,19 (version 2) i-MAX

### Connection History

Time	Event	Real time product state	Rover user state
2006-06-09 12:16:53	Connection started		
2006-06-09 12:16:56	NMEA received		SPS; 6 SV; HDOP 1.8 44° 23' 22.5493" N; 7° 48' 55.5724" E; 97.5620 m
2006-06-09 12:17:02	Start sending corrections	RTCM 18,19 (version 2) i-MAX; 4 SV Mondovi - 9 Cuneo-14;Savigliano-4;Pino Torinese-13;Torino-5;Alessandria-0	
2006-06-09 12:18:17	Reference state changed	RTCM 18,19 (version 2) i-MAX; 5 SV Mondovi - 9	
2006-06-09 12:18:26	Rover state changed		DGPS; 4 SV; HDOP 2.8 44° 23' 22.6104" N; 7° 48' 55.5659" E; 98.8340 m
2006-06-09 12:20:21	Rover state changed		DGPS; 4 SV; HDOP 3.0 44° 23' 22.6202" N; 7° 48' 55.6896" E; 98.5240 m
2006-06-09 12:20:31	Switched to another station/cell	RTCM 18,19 (version 2) i-MAX; 5 SV Cuneo - 14 Savigliano-4;Pino Torinese-13;Torino-5;Alessandria-0;Castellamonte-8	
2006-06-09 12:20:36	Rover state changed		SPS; 6 SV; HDOP 1.8 44° 23' 22.6026" N; 7° 48' 55.7107" E; 97.3020 m
2006-06-09 12:20:46	Rover state changed		DGPS; 5 SV; HDOP 1.9 44° 23' 22.6590" N; 7° 48' 55.7108" E; 100.1300 m
2006-06-09 12:21:21	Rover state changed		PPS; 5 SV; HDOP 1.9 44° 23' 22.6613" N; 7° 48' 55.7223" E; 99.8690 m
2006-06-09 12:21:31	Rover state changed		PPS; 4 SV; HDOP 2.8 44° 23' 22.6127" N; 7° 48' 55.6060" E; 99.9950 m
2006-06-09 12:22:57	Reference state changed	RTCM 18,19 (version 2) i-MAX; 6 SV Cuneo - 14	
2006-06-09 12:24:21	Connection terminated by rover user		