

Controllo di qualità dei dati GPS di siti permanenti

Original

Controllo di qualità dei dati GPS di siti permanenti / Gelmotto, E., Manzano, A.. - 1:(2001), pp. 849-858. (V Conferenza Nazionale Asita).

Availability:

This version is available at: 11583/1414362 since:

Publisher:

Asita

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

CONTROLLO DI QUALITÀ DEI DATI GPS DI SITI PERMANENTI

Elena Gelmotto, Ambrogio Maria Manzino (*)

(*) DIGET, Politecnico di Torino Corso Duca degli Abruzzi 29.
[011/5647675 0161/226390 fax 011/5647699 E-mail: Manzino@polito.it

Riassunto

L'analisi di qualità dei dati GPS, quanto mai attuale, non coinvolge soltanto gli aspetti statistici del trattamento del dato ma la sua affidabilità, la disponibilità, la continuità e molti altri parametri.

Il metodo proposto non vuole affatto sostituirsi a quelli tradizionali, ma affiancarsi ove questi segnalano alcune lacune. Il vantaggio del metodo è sempre più rilevante man mano che la moderna conoscenza degli errori sistematici che coinvolgono il posizionamento GPS si fa sempre più precisa, e la disponibilità di buoni segnali di tempo, diffusa ed economica.

Abstract

Quality control of the GPS data, as never actual, it doesn't involve the statistic aspects of the data analysis, but his reliability, the availability, the continuity and many other parameters also.

The proposed method doesn't want at all take the place of to those traditional, but cooperate where these have any gaps. The advantage of the method is more and more remarkable as soon as that the acquaintance of the systematic errors that involve the GPS positioning is more and more precise, and the availability of good signals is diffused and economic.

1 Introduzione

Il lavoro si inserisce in un progetto di ricerca nazionale, cofinanziato nel 1999 dal MURST e coordinato dal prof. Maurizio Barbarella.

Le vie di controllo tradizionalmente seguite sono due. Una di queste, definita *integrity monitor*, prevede l'utilizzo di un altro ricevitore, in prossimità della stazione. I parametri di qualità sono prima di tutto la ricezione degli stessi satelliti con identica numerosità dei dati e secondariamente la numerosità di quantità differenziali o del posizionamento stesso in tempo reale. In sintesi si usano due ricevitori e misure differenziate. Un'altra via, percorribile unitamente alla prima, è l'utilizzo del programma *TEQC* dell'Unavco (University Navstar Consortium) che ha numerosi pregi. Il programma in sintesi utilizza i dati di un singolo ricevitore e misure combinate ma non differenziate¹. Fra i parametri principali di qualità è la stima dei valori di *multipath* di codice, oltre al numero di *cycle slip*, al numero di osservazioni ottenute rispetto a quelle ottenibili ecc.

Nell'estate 1999, tuttavia, alla stazione GPS di Torino, furono riscontrati problemi sui dati acquisiti, quasi irrilevabili con tale programma, dal momento che i valori di *multipath* erano di poco superiori alla solita norma ed il numero di salti di fase non particolarmente alto. I trattamenti mostrano la non utilizzabilità dei dati di una intera settimana. Si scoprì in poco tempo che il problema era causato dal segnale di frequenza fornito dall'orologio esterno del ricevitore, particolarmente rumoroso.

¹ Si parla di osservazioni combinate e di osservazioni non combinate. Si intende sempre un approccio di tipo non differenziato (singola stazione e singolo satellite) ma con la scelta di poter operare su una osservazione per volta (approccio non combinato) o sulle possibili combinazioni di codici e fasi (approccio combinato).

La via che si propone per evidenziare questi ed altri problemi consiste in un approccio non differenziato e non combinato. È razionalmente possibile solo oggi grazie alla rimozione del degrado SA del segnale e nell'ipotesi che le stazioni permanenti siano dotate di un buon segnale di frequenza (almeno un orologio al rubidio).

2 L'approccio non differenziato

Come detto, questo metodo è proponibile grazie alle favorevoli opportunità createsi negli ultimi anni: il basso costo di orologi al rubidio (circa 1/10 del costo del ricevitore), la rimozione del degrado SA a maggio del 2000, la conoscenza sempre più precisa (decimetrica) delle effemeridi dei satelliti anche al termine della giornata di misura, la conoscenza accurata e in costante ricalcolo delle coordinate delle stazioni permanenti e, non ultimo, il miglioramento degli orologi dei satelliti delle nuove generazioni. Le quantità non differenziate (codici, fasi, velocità Doppler) possono, o meno, essere combinate fra di loro.

L'idea dell'approccio non differenziato (Blewitt, 1998) nasce dalla semplice osservazione che suggerisce di guardare alle misure di fase, espresse in numero di cicli per la propria lunghezza d'onda ($\Phi_1 = \lambda_1 \varphi_1$ e $\Phi_2 = \lambda_2 \varphi_2$), come quantità geometricamente equivalenti a quelle di codice, mettendo in evidenza la simmetria che esiste nelle equazioni delle due coppie di osservazioni. Indicando con k il termine, costante per ogni epoca, che raccoglie gli errori di orologio e quelli troposferici comuni a tutte le osservazioni:

$$k = c(dt + dT) + d_{trop} \quad (1)$$

si può scrivere ad ogni epoca:

$$\begin{bmatrix} \Phi_1 - k \\ \Phi_2 - k \\ P_1 - k \\ P_2 - k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -(f_1/f_2)^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & (f_1/f_2)^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{r} \\ I \\ \mathbf{I}_1 N_1 \\ \mathbf{I}_2 N_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{d}n_1 \\ \mathbf{d}n_2 \\ dm_1 \\ dm_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Il termine \mathbf{r} rappresenta il range satellite – ricevitore, il termine I rappresenta il ritardo ionosferico del segnale sulla fase L_1 . I termini N_1 e N_2 sono le ambiguità incognite, l'ultima colonna è invece rappresentata dai valori di *multipath*. Tutti i termini presenti nel sistema sono in qualche modo affetti da vari errori o comunque non noti.

Le equazioni possono essere applicate in maniera differenziale (singole o doppie differenze) e/o possono essere tra loro combinate. Nel primo caso e in molte combinazioni spariscono gli errori comuni, rappresentati dal termine k .

Questo termine scompare anche se si considerano queste equazioni come equazioni ai residui (delle differenze doppie ad esempio) interpretando detti residui sulle quattro osservazioni come quantità dipendenti dai quattro parametri ($\mathbf{r}; I, N_1, N_2$). In tal modo la dipendenza da questi quattro parametri indica la dipendenza residua sugli errori d'orbita, troposferici o degli orologi per il termine \mathbf{r} ; la non corretta modellazione dell'errore ionosferico per il termine I , la non corretta stima delle ambiguità o l'effetto degli errori di *multipath* per i termini N_1 e N_2 .

Le equazioni, applicate più semplicemente alle osservazioni (2) non differenziate, o ai residui delle stesse dopo la rimozione di un modello di tutto ciò che si ritiene predicibile, servono a studiarne la variabilità. Lo strumento ideale in tal caso è il filtro di Kalman.

Si preferisce allora interpretare il *multipath* come termine di errore residuo, dalla differenza di grandezze note o comunque calcolabili con ottime precisioni.

Poniamo per ipotesi al momento di voler trascurare l'errore dovuto al *multipath*, saremmo nelle condizioni di avere ad ogni epoca quattro dati di osservazioni e quattro parametri non noti da calcolare:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r} \\ I \\ \mathbf{I}_1 N_1 \\ \mathbf{I}_2 N_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -(f_1/f_2)^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & (f_1/f_2)^2 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_1 - k \\ \Phi_2 - k \\ P_1 - k \\ P_2 - k \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} - kR \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

con

$$R = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1.647 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1.647 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2.546 & -1.546 \\ 0 & 0 & -1.546 & 1.546 \\ 1 & 0 & -4.091 & 3.091 \\ 0 & 1 & -5.091 & 4.091 \end{bmatrix}$$

Supponiamo ancora di non essere interessati (cosa effettivamente vera) al valore assoluto di queste grandezze ma alla loro variazione, in questo modo è possibile sostituire alle quantità $(\Phi_i - k)$ e $(P_i - k)$ della (2) le osservazioni grezze Φ_i e P_i in quanto, ad esempio $\partial(\Phi_i - k) = \partial\Phi_i$ e sostituire a sinistra a \mathbf{r} ed I i termini variazionali $\partial\mathbf{r}$ e ∂I .

Poichè infine $\partial(\lambda_i N_i) = \mathbf{d}m_i \cong 0$ (il *multipath* di fase è trascurabile rispetto al *multipath* di codice) la (2) in termini di variazione potrà essere scritta come:

$$\begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & -(f_1/f_2)^2 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & (f_1/f_2)^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathcal{J}\mathbf{r} \\ \mathcal{J}I \\ dm_1 \\ dm_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

E quindi, invertendo la (4), così come si era fatto nel passare dalla relazione (2) alla relazione (3), si ottengono i valori di *multipath*, i range \mathbf{r} e gli errori ionosferici (o le loro variazioni):

$$\begin{bmatrix} \partial\mathbf{r} \\ \partial I \\ dm_1 \\ dm_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2.546 & -1.546 \\ 0 & 0 & -1.546 & 1.546 \\ 1 & 0 & -4.091 & 3.091 \\ 0 & 1 & -5.091 & 4.091 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Torniamo alle quantità non differenziate espresse in modo non variazionale, è facile vedere che l'unica quantità affetta da vari *bias* è la prima equazione in \mathbf{r} , in quanto, moltiplicando la matrice R per il vettore colonna unitario la (3) diviene:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r} \\ I \\ \mathbf{I}_1 N_1 \\ \mathbf{I}_2 N_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2.546 & -1.546 \\ 0 & 0 & -1.546 & 1.546 \\ 1 & 0 & -4.091 & 3.091 \\ 0 & 1 & -5.091 & 4.091 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Abbiamo in questo modo ottenuto un algoritmo in grado di fornire i valori di quelle grandezze che solitamente sono poco prevedibili a partire dalle sole osservazioni grezze ed un semplice metodo per il calcolo del *multipath* sul codice epoca ad epoca o una stima dei valori di ambiguità.

Nell'ipotesi di assenza di *cycle slip*, per il controllo di qualità non servono i valori assoluti: la variazione del *multipath* rappresenta uno strumento particolarmente utile per attestare la qualità dell'ambiente in cui è inserita una stazione GPS.

Le ultime tre relazioni delle (5) e (6) ci permettono di sottolineare come tutte le combinazioni in cui la \mathbf{r} "scompare" (dette *geometry free*) non tengono ovviamente conto in nessun modo degli errori legati al calcolo della \mathbf{r} , cioè gli errori di effemeride, di posizione della stazione, degli orologi e, indirettamente, possono non tenere conto di errori troposferici e ionosferici. Ciò risulta dannoso in un

controllo di qualità “completo” dove invece sarebbe utile una identificazione della provenienza dell’errore. Ricadiamo in questo tipo di inconveniente (è quello che fa il software *TEQC*) anche ogni volta che utilizziamo equazioni “variazionali”.

Si ribadisce che ciò non è un errore, ma solo una mancanza che andrebbe recuperata: è chiaro che le quantità differenziate o combinate hanno invece il grandissimo vantaggio di essere misure molto più precise delle misure grezze e di non richiedere la conoscenza di buoni modelli per l’eliminazione dei *bias* che spariscono automaticamente in queste quantità.

3 Analisi di quantità non combinate.

Partiamo dalle equazioni complete di codici e fasi, scrivendole, per brevità, solo per la prima frequenza. Trascuriamo le variazioni del centro di fase e gli effetti del secondo ordine degli errori.

$$P_1 = \mathbf{r} + c(dt + dT) + I + d_{trop} + dm_1 + noise_{p_1} \quad (7)$$

$$\Phi_1 = \mathbf{r} + c(dt + dT) + \mathbf{I}_1 N_1 - I + d_{trop} + dm_1 + noise_{\Phi_1} \quad (8)$$

ipotizziamo di conoscere con buona precisione alcune quantità:

- \mathbf{r} : è possibile calcolarlo con precisione utilizzando le coordinate note della stazione e le effemeridi precise per la posizione dei satelliti;
- $c \cdot dt$: è calcolabile attraverso l’interpolazione degli offset degli orologi dei satelliti forniti dalle effemeridi precise ogni 15 minuti. È comune ogni epoca, e può essere noto con buona precisione a causa della rimozione della SA.
- $c dT$: è comune per ogni epoca e alle misure di tutti i satelliti, poniamo sia anch’esso noto a motivo dell’utilizzo di un buon orologio atomico.
- d_{trop} : è modellabile utilizzando ad esempio il modello di Hopfield, tuttavia i parametri di questo sono difficilmente ricavabili e, nelle procedure sviluppate si tiene conto di un valore di ritardo costante sul sito, dipendente dall’elevazione α con funzione del tipo $I/\sin(\alpha)$.
- I : in teoria potrebbe essere calcolato alcuni minuti prima dell’osservazione, ma il più delle volte subisce delle fluttuazioni non prevedibili; è ricavabile attraverso parametri di modello inseriti di solito nelle effemeridi trasmesse o, con più precisione, per mezzo di una stima a posteriori (dopo circa 8 giorni) dei centri di elaborazione dei dati (ad esempio il centro *CODE* di Berna).

È possibile anche ricavare il ritardo ionosferico utilizzando la seconda delle (6), che possiamo chiamare anche I_p o, a meno delle incognite ambiguità, ma con maggior precisione, da entrambe le fasi Φ_1 e Φ_2 :

$$I_p = \frac{P_2 - P_1}{\left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1\right)} = 1.546(P_2 - P_1) \quad ; \quad I_\Phi = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\left(\frac{f_1^2}{f_2^2} - 1\right)} \quad (9)$$

Inserendo questi valori come quantità note nelle (7) e (8) è teoricamente vero che si passa da quantità non combinate a misure combinate ma, data la dimensione di questo errore e la scarsa variabilità per epoche vicine, potremmo considerare trascurabile la correlazione indotta nei confronti degli altri errori che si desiderano stimare, specie quelli di orologio del ricevitore.

Gli errori di *multipath* sulle fasi sono in genere di pochi millimetri, alcune volte raggiungono l’ordine dei centimetri. Due o tre ordini di grandezza più grandi possono invece essere i *multipath* di codice. L’aspetto comunque più complicato per quanto riguarda questo *bias* rimane la quasi impossibilità del calcolo di un modello: gli unici tentativi sono del tutto empirici (usando ad esempio la ripetitività giornaliera del segnale) e, anche quando si vuole utilizzare un metodo statistico, (correlazioni con i rapporti segnale rumore) i risultati non sono migliori.

Se ora pensiamo di togliere alla parte sinistra delle equazioni (7) e (8) per dati non combinati, od anche alle (3) per dati combinati, un modello valido per le osservazioni, i termini scritti andrebbero interpretati come offset residui dei valori nominali. Si ha allora:

$$P_1 - \mathbf{r} - cdt - I_p - d_{trop} = B_p = cdT + dm_1 + noise \quad (10)$$

$$\Phi_1 - \mathbf{r} - cdt + I_\Phi - d_{trop} = B_\Phi = cdT + \partial m_1 + noise + N_1 \mathbf{I}_1 \quad (11)$$

I *bias*, che risultano dalla somma dei termini a destra dell'uguale e degli errori non modellati a sinistra, sono stati indicati con i simboli B_p e B_Φ . La proposta di questo lavoro è il controllo di qualità per mezzo dell'analisi dei termini B . Gli strumenti saranno l'analisi in frequenza di questi residui e l'analisi dei valori filtrati con opportune medie mobili.

Della *quantità* B_p , è possibile ricavare anche un valore medio o medio pesato nell'epoca in esame, per tutti i satelliti. In tale caso, assumendo che i valori medi residui di *multipath* e rumore siano nulli, questo valore rappresenta bene l'errore di orologio del ricevitore, comune a tutti i satelliti:

$$M[B_p] = \bar{B}_p \cong cdT \quad (12)$$

Esaminando l'andamento di questa quantità nel tempo è possibile ricavare un modello più o meno fine degli errori di orologio del ricevitore. Il grado di precisione raggiungibile è dipendente dalla precisione stessa dell'oscillatore. Normalmente si arriva a risultati accettabili con un orologio al rubidio o con un buon orologio al quarzo, non comune però a tutte le case costruttrici. In questi casi è sufficiente la stima dei parametri di una retta interpolatrice o al più di una parabola.

Così facendo è possibile spostare la parte modellata dell'errore di orologio del ricevitore da destra a sinistra nelle equazioni (10) e (11) ed analizzare i residui. Del valore B_Φ non ha senso calcolare la media in quanto non sono note le ambiguità, ma, una volta modellati gli errori di orologio del ricevitore, le variazioni di questi termini sono quantità molto più precise dei loro corrispettivi di codice per l'analisi di qualità dei dati.

L'errore di orologio, meglio la sua accuratezza relativa, varia da 10^{-6} - 10^{-7} per i quarzi dei normali ricevitori geodetici a 10^{-8} - 10^{-9} per oscillatori a cristallo termoregolati. Questo stesso limite: 10^{-9} , era anche l'accuratezza raggiungibile sugli orologi dei satelliti in presenza di SA. L'accuratezza di un orologio al rubidio raggiunge 10^{-12} , quella di un cesio è dell'ordine di 10^{-13} ed infine quella di un maser ad idrogeno va da 10^{-15} a 10^{-16} .

Al punto 4 vedremo quali possibili informazioni sono ricavabili da queste quantità non differenziate e non combinate, al punto 5 utilizzeremo queste formule e altre quantità per la scoperta di osservazioni con particolari problemi nei dati.

4. Le informazioni ricavabili da quantità non differenziate e non combinate

Come accennato, è oggi possibile conoscere con precisione la posizione spazio temporale dei satelliti grazie alla rimozione della SA e all'uso delle effemeridi precise. Partiamo anche dall'ipotesi di disporre sulle stazioni di "buoni" oscillatori e di assenza di SA. Analizziamo gli scarti dopo la regressione lineare dei valori B per ogni satellite o dei loro valori medi $M[B]$.

La figura 1 mostra questi scarti con due simboli grafici, per le stazioni di Torino e Matera. La prima cosa che si nota è il loro ordine di grandezza: ± 3 m, la seconda è la loro fortissima somiglianza (si ricoprono quasi). Ciò significa che, nonostante la rumorosità del codice e la distanza tra le stazioni, in media, su tutti i satelliti, la differenza prima è una quantità molto prossima a zero.

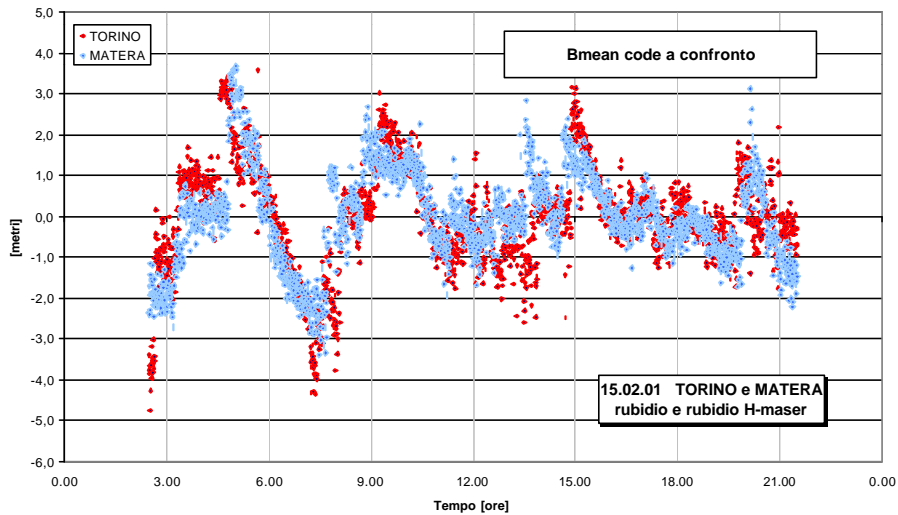


figura 1

Il valore non differenziato è quindi realmente significativo degli errori medi residui comuni alle due stazioni. Questi errori (12) non possono essere altro che gli errori medi residui degli orologi della costellazione, gli errori medi residui di orbita, in parte gli errori medi residui di troposfera e di ionosfera, mentre la loro differenza è costituita dagli errori comuni alla parte terrestre.

Ritorniamo all'analisi non differenziata per osservare, satellite per satellite cosa succede: la figura 2 riporta per tutta una giornata i valori B_p (si noti la maggior rumorosità di tali residui al sorgere ed al tramontare del satellite). Si vede che l'andamento medio, la pendenza media, è diversa satellite per satellite. Osservando con più cura i dati scopriamo che i satelliti più recenti del blocco IIR hanno andamenti più lineari e meglio assimilabili a tale andamento. Senza pretendere di arrivare alla stima degli errori di orologio per ogni satellite, il metodo proposto permette allora un paragone fra questi errori.

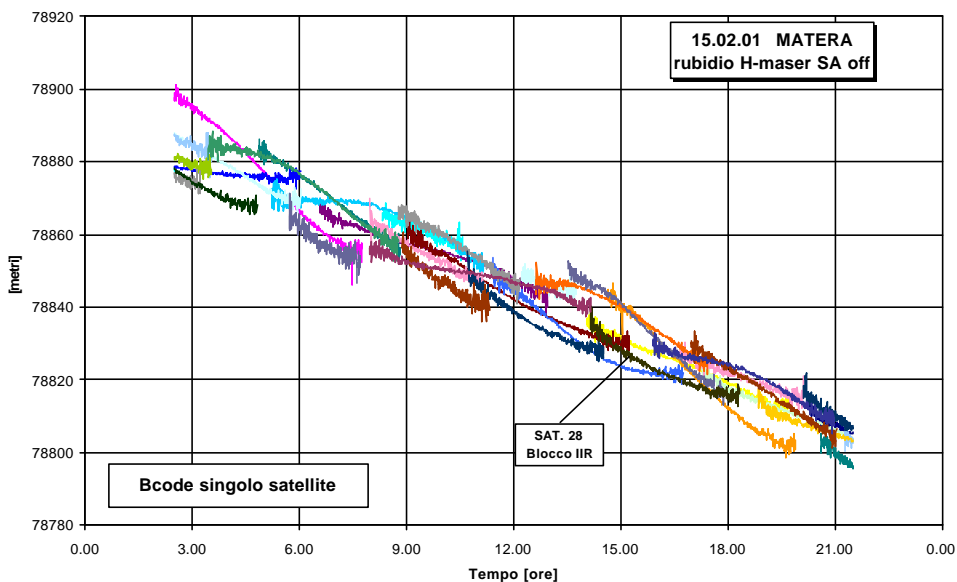


figura 2

Se consideriamo l'ipotesi che gli errori residui di orologio (satelliti e ricevitore) possano modellarsi con un andamento al più parabolico, è ora possibile analizzare i residui, satellite per satellite (figg. 3 e 4).

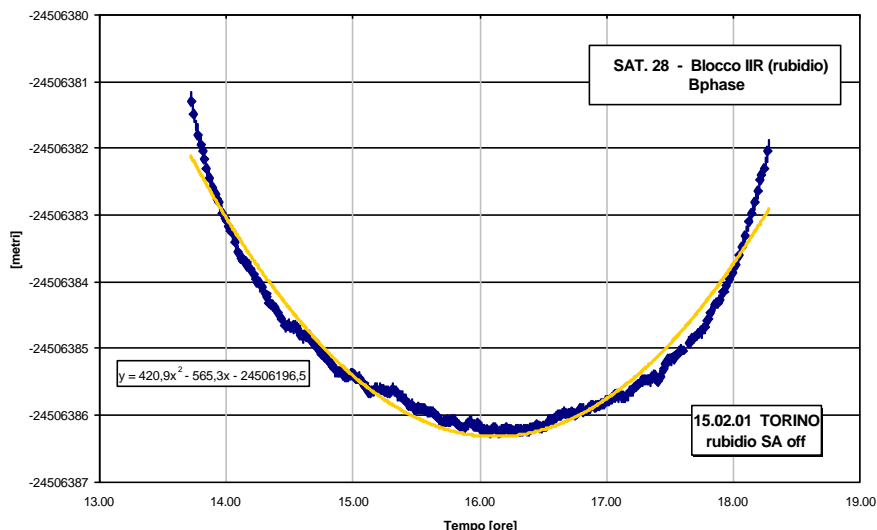


figura 3

Anche in questi casi si possono esaminare sia i valori B_p , per lo studio del *multipath* di codice, sia i più precisi valori B_ϕ , per il *multipath* di fase.

È verosimile, che in questa modellazione, che va dal sorgere al tramontare di ogni satellite, sia compresa una parte a bassa frequenza dei bias residui (troposfera, ionosfera), meno probabile è applicare lo stesso discorso per il *multipath*, che ha lunghezze d'onda più brevi e che è quindi rimasto nel segnale residuo.

L'esame dei residui (fig. 4) può essere fatto attraverso una analisi in frequenza ed anche per mezzo di una semplice media mobile, i cui scarti (fig. 5), possono essere considerati come il risultato di un filtro passa alto.

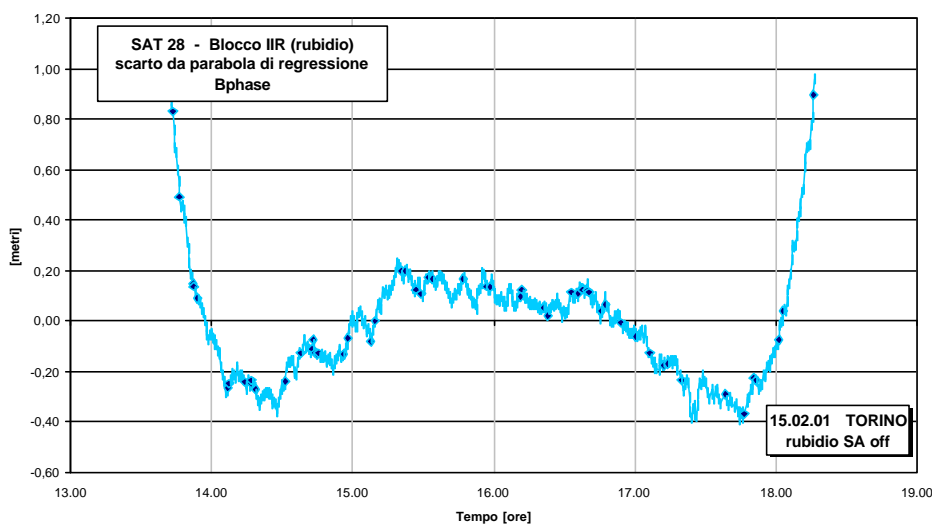


figura 4

Analizzando in frequenza i dati della fig. 4, il cui periodogramma è visibile in fig. 6, si notano due picchi: il più importante di lunghezza d'onda di 178 epoche (circa 90 minuti), può essere considerato causato da errori ionosferici o troposferici residui. Il secondo, di minore ampiezza, di 60 epoche (circa 30 minuti), può essere visto come la frequenza media del *multipath* o della troposfera. Quest'ultime lunghezze d'onda sono altresì visibili nei residui di media mobile riportati in fig. 5.

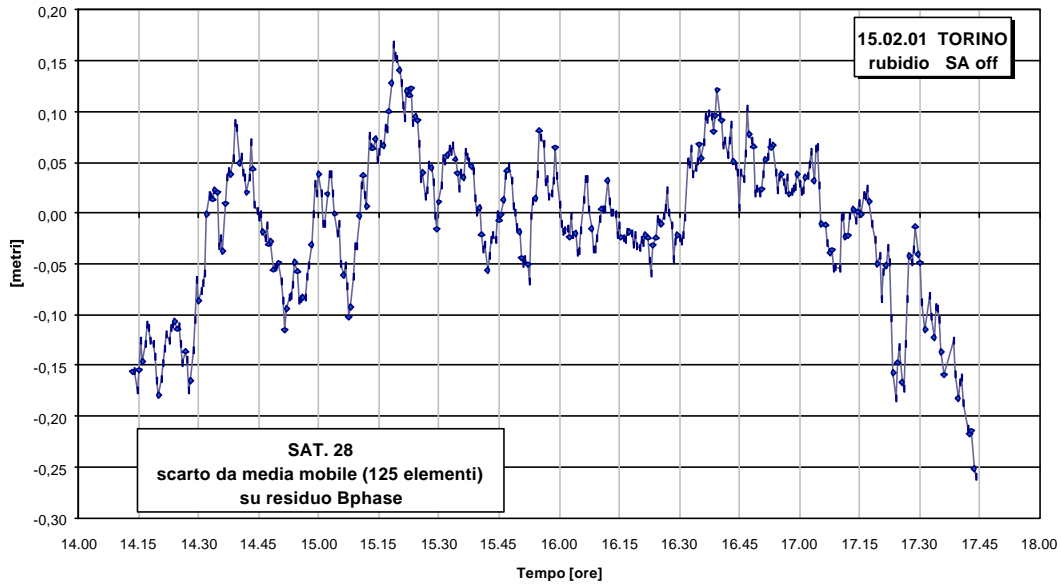


Figura 5

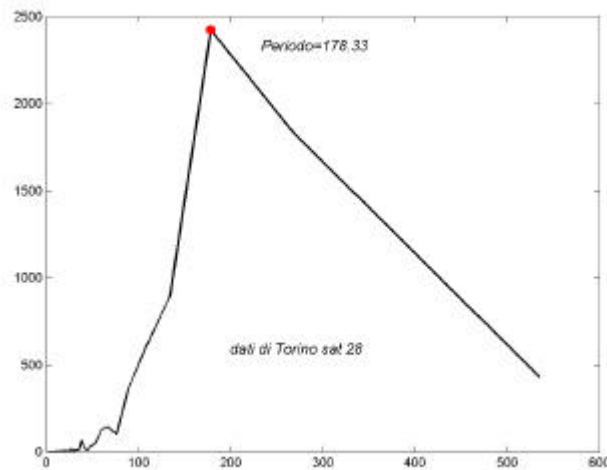


Figura 6: periodogramma dei dati di fig. 4

5. L'esame di dati con particolari problemi

Le analisi tradizionali mettono in luce solo in parte eventuali problemi nei dati. Per nostra fortuna poi il trattamento alle doppie differenze rimuove molti errori comuni legati al ricevitore e a piccoli disturbi del sito di misura, oltre a quelli tradizionalmente ben noti.

Quando questi problemi sono il sorgere di una rumorosità dei dati ad ampio spettro di frequenza, la situazione è insanabile anche con le differenze doppie. Ciò è capitato a Torino per l'ingresso in banda L1 di un segnale di un ponte televisivo, sempre a Torino, anni dopo, per l'esaurimento del generatore di frequenza al cesio ed in seguito per problemi sull'orologio al rubidio.

In questi casi sia le differenze doppie che quelle triple sono inutilizzabili: in una rete tuttavia l'individuazione di quale stazione "gonfia" queste differenze non è immediata e comunque avviene solo a posteriori in fase di trattamento.

Mentre nel primo caso (ponte radio), l'analisi con *TEQC* ha rivelato un forte innalzamento del rumore (interpretato sempre erroneamente come *multipath*), negli altri due casi non vi è stata una decisa variazione dei risultati, ma i dati furono ugualmente inutilizzabili, ciò fu evidente solo analizzando

i residui elevatissimi delle differenze triple con il programma *MAUPRP* del software *Bernese*. La stessa intrattabilità risulta dall'uso di programmi commerciali.

I problemi indicati sono venuti in luce per mezzo del metodo proposto, cioè l'analisi delle quantità non combinate B . La figura 7 mostra i valori B_p per la stessa giornata.

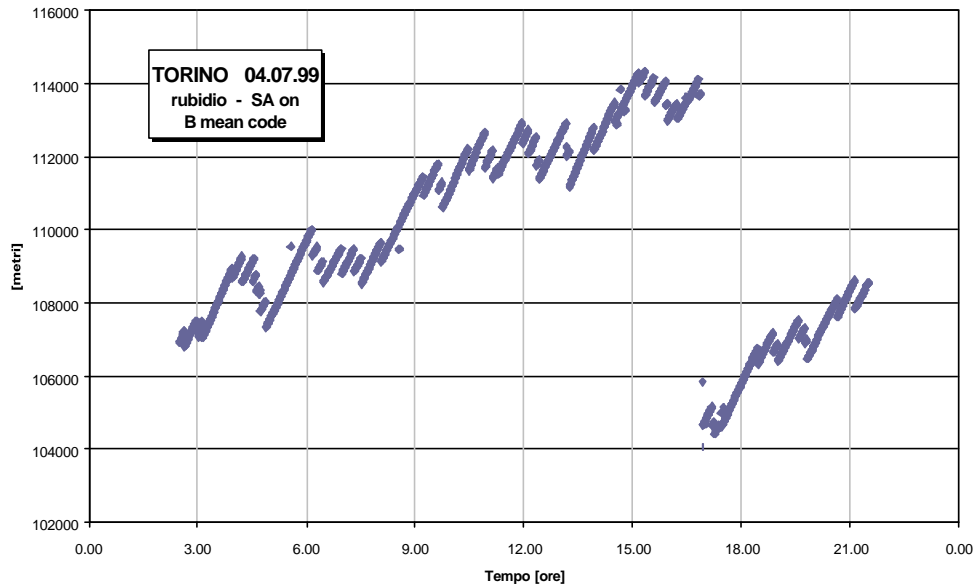


figura 7

Si possono fare due osservazioni: il crollo di questi valori attorno alle 16.30 mostra gli stessi problemi evidenziati anche con un buon uso dei comuni programmi. La prima impressione che si avrebbe è che, rimuovendo solo le misure attorno a questa epoca, i dati possano ritornare trattabili. Purtroppo così non avviene: le prove eseguite con alcuni software hanno dato questa sentenza.

Se osserviamo bene il grafico, la seconda anomalia è il continuo distacco da una pendenza media dei valori di B , distacco che non si ha ad esempio nelle altre giornate. Esiste dunque una rumorosità così elevata dei dati, dovuta a problemi dell'orologio, da causare frequenti *sganciamenti* e l'inutilizzabilità dell'intera giornata di misure, molto meno evidente nelle combinazioni e nelle differenze che riducono (teoricamente eliminano) gli effetti di questo errore.

Conclusioni

Il controllo di qualità dei dati delle stazioni permanenti è una richiesta importante per garantire all'utenza esterna l'affidabilità delle misure ricevute; resa sempre più necessaria a motivo della nascita di stazioni di varia qualità e tipologia e dell'utilizzo cinematico dei loro dati.

Anche la diffusione di nuove applicazioni, come ad esempio il controllo delle spedizioni delle merci, la gestione di una rete urbana di mezzi pubblici, la creazione di sistemi di soccorso ha reso ancora più attuale l'aspetto "qualità". L'articolo propone una via aggiuntiva, percorribile solo oggi, che non sostituisce le necessarie e più diffuse tecniche di controllo.

Bibliografia

- Axelrad, P., Comp, C.J., and MacDoran, P.F., *Use of signal-to-noise ratio for multipath error correction in GPS differential phase measurement: Methodology and experimental results*, Proceedings of ION GPS-94, September, 1994.
- Betti B., Cina A. Manzano A., Olivieri A., Siccardi M., Tombolini L., (1998). *Controllo di qualità dei dati nella stazione permanente di Torino*. Bollettino SIFET N. 1, pp. 37-48.
- Cina A. (1998)- *Il posizionamento cinematico con l'uso dei dati di stazioni permanenti*. Atti Volume I 2° Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano 24-27 novembre, pp. 499-504.
- Cina A., (2001) *GPS Principi, modalità e tecniche di posizionamento*. CELID Torino
- Evans A. G. et al. (1985). *Collocation Tests of an Advanced Geodetic Global Positioning System Receiver*, The First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Rockville, Md., April 1985.
- Kleusberg A., Teunissen P. J. G. Editori, (1998) *GPS for geodesy* Springer Verlag, II ed. Langley R.B., *GPS receivers and the observables*. pagg 151-185.
- Kleusberg A., Teunissen P. J. G. Editori, (1998) *GPS for geodesy* Springer Verlag, II ed. Blewitt G., *GPS data processing methodology: from theory to applications*. pagg 231-270.
- Kleusberg A., Teunissen P. J. G. Editori, (1998) *GPS for geodesy* Springer- Verlag, II ed. Teunissen P. J. G., *Quality control and GPS*. pagg 211-318.
- Leick A., (1995) - *GPS Satellite Surveying. Second Edition*. Wiley Interscience, New York.
- Manzano A. (1998)- *L'analisi dei multipath e delle variazioni del centro di fase dovute ad un sistema di radioprotezione di un'antenna GPS*. Atti Volume II 2° Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano 24-27 novembre, pp. 167-172.
- Strang G., Borre K., (1997) - *Linear Algebra, Geodesy, and GPS* Wellesley-Cambridge Press.