



## Elaborazione dati della rete FReDNet

### Rapporto Tecnico

Autore: D.Zuliani<sup>(1)</sup>

Collaborazioni: M. Battaglia<sup>(4)</sup>, P. di Bartolomeo<sup>(1)</sup>, G. Duri<sup>(1)</sup>,  
A. Michelini<sup>(2)</sup>, M.Murray<sup>(3)</sup>, D. Pascutti<sup>(1)</sup>,  
F. Ponton<sup>(1)</sup>, E. Priolo<sup>(1)</sup>, S. Urban<sup>(1)</sup>.

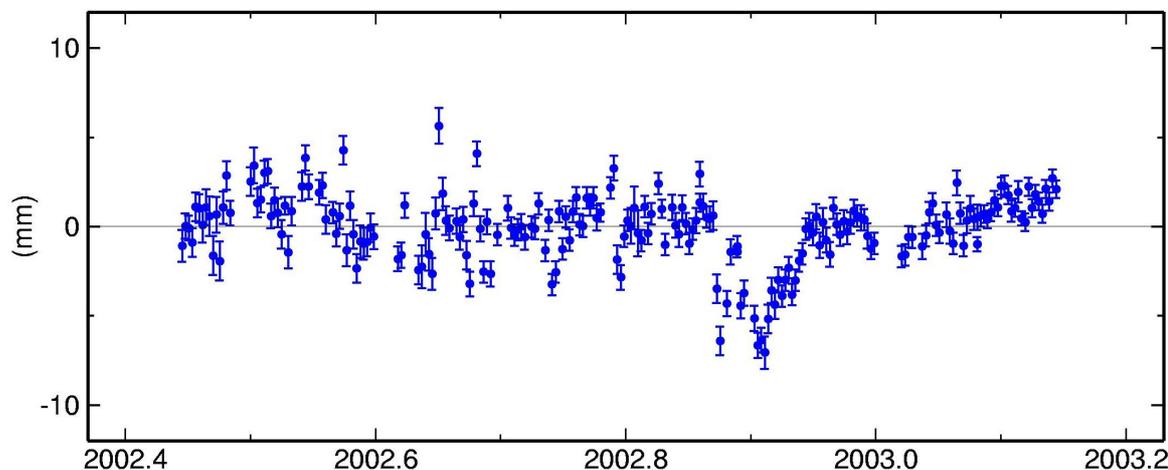
<sup>(1)</sup> Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale –OGS  
Seismological Research Centre Department (Udine), Italy

<sup>(2)</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

<sup>(3)</sup> UC Berkeley Seismological Laboratory, 215 McCone Hall, Berkeley CA 94720-4760, USA

<sup>(4)</sup> Dept. of Earth and Planetary Science, UC Berkeley, 385 McCone Hall, Berkeley, CA 94720-4760, USA.

ZOUF North Offset 5182725.930 m  
rate(mm/yr)=  $1.9 \pm 0.2$  nrms= 2.81 wrms= 1.8



Director of CRS Department: Dr. Enrico Priolo



Rel. I. OGS- 38/2004/CRS-5  
Ott. 11th, 2004



- **Introduzione.**

Il *data processing*, ovverosia l'elaborazione che permette di passare da dati GPS grezzi (*raw data*) alla determinazione degli spostamenti e delle velocità dei siti, viene effettuato mediante l'uso del pacchetto software **GAMIT/GLOBK**<sup>1</sup>.

Scopo dell'elaborazione è la definizione delle serie temporali (*time series*) indicanti gli spostamenti delle stazioni nel tempo e dei diagrammi di velocità (*velocity field*) dei siti.

L'elaborazione dei dati ricavati da una rete GPS prevede due passaggi fondamentali:

- Stima delle *baselines* indipendenti osservate.
- Scalatura della rete, utilizzando le *baselines* ricavate al punto precedente come input.

In questo capitolo si riportano i procedimenti ed i risultati ottenuti dal trattamento dei dati di FReDNet per il periodo Novembre 2002 - Febbraio 2003, integrati in seguito con quelli, relativi ai mesi Giugno - Novembre 2002, elaborati da M. Battaglia<sup>2</sup>. Si ricorda che, essendo il periodo di osservazione breve, ed essendo la rete ancora giovane, tali risultati dovranno essere intesi come puramente indicativi ed aventi, in questa sede, scopo principalmente didattico. Per lo stesso motivo non è stata effettuata la stima delle velocità di deformazione, parametro che verrà elaborato in tempi successivi. A tale proposito si consulti il paragrafo 1.

---

<sup>1</sup> Per maggiori informazioni sull'utilizzo di GAMIT/GLOBK si consiglia la consultazione dei rispettivi manuali d'uso (*Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software* [3] e *GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program* [4]). Questi, integrati con le indicazioni riportate nel testo *del Workshop GPS data processing with GAMIT/GLOBK* (M. Murray & M. Battaglia, 2002) disponibile in rete all'indirizzo

<http://www.seismo.berkeley.edu/battag/GAMITwrkshp/wrkshp.html>,

e con le informazioni ricavate dal *GAMIT GLOBK Course*, raggiungibile all'indirizzo <http://www-gpsg.mit.edu/tah/IndianGPSCourse/>,

hanno fornito il supporto bibliografico della presente sezione.

<sup>2</sup> Cfr.: D. Zuliani, M. Battaglia et al., FReDNet: A continuous GPS geodetic network monitoring crustal deformation in NE Italy. AGU Fall Meeting, poster presentation, 2002.



## ***0. Dati disponibili.***

I dati disponibili per l'elaborazione abbracciano il periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003 e sono stati raccolti dai siti FReDNet di **ZOUF** (Zouf Plan) e **MPRA** (Monte Prat).

E stata inoltre inserita nell'elaborazione la stazione **UDIN**, un'antenna collocata a Udine presso la sede del CRS, con scopi di test della strumentazione.

Nell'elaborazione non sono invece stati inclusi i dati registrati dalle stazioni di **MDEA** (Medea) e **TRIE** (Trieste). Il motivo di tale decisione risiede nel fatto che tali stazioni, attive rispettivamente dal 23 Gennaio 2003 e dal 7 Febbraio 2003, non possono ancora fornire un sufficiente set di dati.

Nella tabella 5.1 si riportano i nomi delle stazioni inserite nell'elaborazione e le rispettive date di inizio disponibilità del dato (espresse anche come *DOY*, *day of year*, ovvero sia giorno dell'anno).

<i>Stazione</i>	<i>Data installazione</i>	<i>DOY installazione</i>
ZOUF	11/06/2002	162
UDIN	12/06/2002	163
MPRA	08/08/2002	220

**Tabella 1: siti inseriti nell'elaborazione**



## 1. Definizione di un set di dati significativo.

Si è più volte ripetuto che i dati finora raccolti, relativi ad un periodo di soli 9 mesi, non sono ancora significativi per la modellazione geofisica delle deformazioni crostali.

In questa sezione si analizzerà l'influenza della lunghezza del periodo di acquisizione sull'attendibilità delle stime di spostamenti e di velocità dei siti.

Studi eseguiti da Blewitt e Lavallée hanno definito l'esistenza di una serie di segnali sinusoidali annuali e semiannuali di cui è necessario tenere conto nell'elaborazione di dati per applicazioni geofisiche ad alta precisione (Blewitt & Lavallée, 2002 [1]). I segnali sinusoidali, che possono essere causati da fenomeni atmosferici, idrologici, tettonici e da variazioni nella geometria dei satelliti o nella propagazione dei segnali, devono essere stimati in contemporanea alle determinazioni di velocità e di posizione dei siti.

Si è verificato che gli effetti di disturbo o rumore sulle velocità diventano trascurabili soltanto per set di dati di oltre 4.5 anni e, prima di tale data, presentano dei minimi ogni  $N + 0.5$  anni e dei massimi ogni  $N$  anni, con  $N$  numero intero (Figura 1).

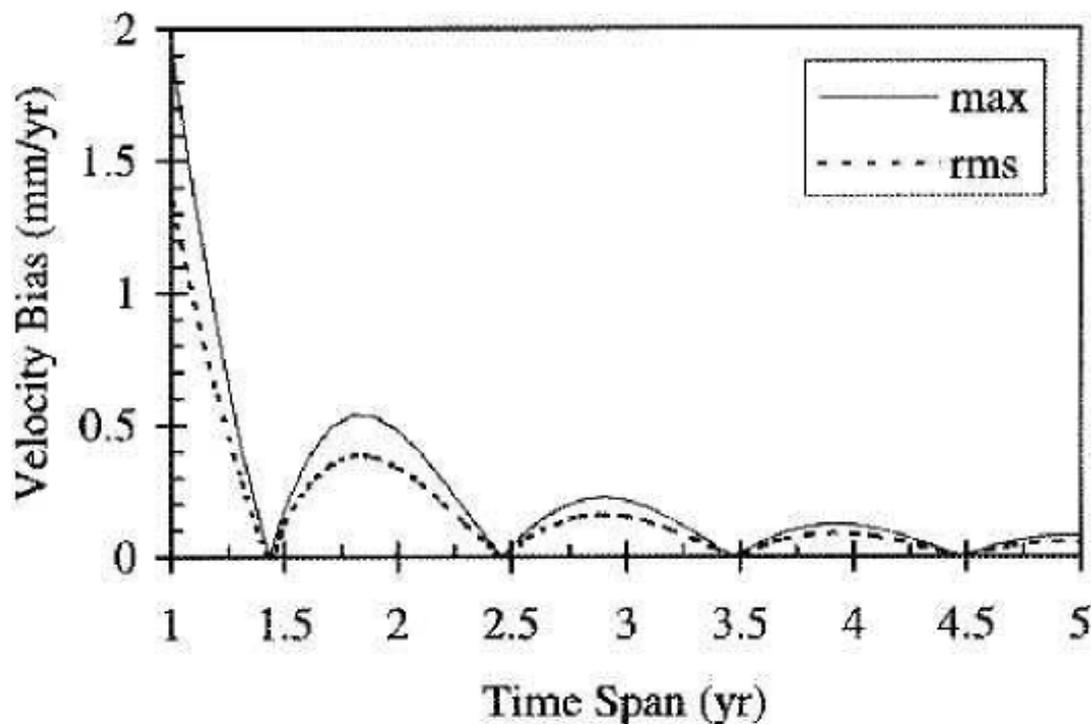


Figura 1: Disturbi sulla determinazione della velocità derivanti da un segnale annuale sinusoidale. È indicato il massimo disturbo possibile (max) e lo scarto quadratico medio del disturbo (rms). Si notano i minimi in corrispondenza degli anni  $N + 0.5$  ed i massimi in corrispondenza degli anni interi (da Blewitt & Lavallée, 2002 [1]).

Si è visto inoltre che, per periodi d'osservazione inferiori a 2.5 anni, tali rumori rendono inaffidabile ogni stima di velocità: in questo caso, nemmeno tenendone conto in fase di elaborazione, introducendo dei modelli di disturbo nel processing, è possibile migliorare le soluzioni.

Per la definizione di modelli di interpretazione tettonica, si raccomanda quindi un termine minimo di 2.5 anni come periodo di acquisizione dei dati (i minimi del disturbo si hanno in corrispondenza dei 2.5 e 3.5 anni). Ogni stima, se effettuata a partire da un set di dati più ridotto, va interpretata con cautela e con un approccio non quantitativo ma solo qualitativo, in quanto le indicazioni da essa fornite potrebbero non corrispondere alla realtà.

Quanto detto e schematizzato nella Tabella 2.

<i>Set di dati (anni)</i>	<i>Stima spostamenti</i>	<i>Stima spostamenti</i>
$N < 25$	Possibile: i risultati vanno comunque interpretati come indicazioni di trend possibili (interpretazione qualitativa).	Non possibile in quanto affetta da eccessivi rumori.
$N < 25$	Possibile: dopo 2.5 anni il sito fornisce stime attendibili.	Possibile: è necessario stimare simultaneamente velocità e segnali di disturbo.
$N < 25$	Possibile.	Possibile senza particolari accorgimenti.

**Tabella 2: tipo di elaborazione possibile in funzione dell'estensione temporale del set di dati di partenza.**

F. Vespe ed altri, analizzando le serie temporali delle stazioni italiane di Cagliari, Medicina, Noto e Matera, hanno focalizzato l'attenzione sugli effetti della lunghezza del periodo di acquisizione sulla componente verticale dello spostamento (Vespe et al., 2002 [9]). I fattori che possono influenzare le quote sono molteplici e comprendono errori di modellizzazione da parte del software, reali movimenti verticali causati da attività umane (subsidenza) e fenomeni geofisici o geologici.

L'obiettivo della ricerca era la definizione del tempo necessario, per un dato sito, ad ottenere delle stime attendibili di velocità verticale. In accordo con quanto affermato da Blewitt (nell'anno 2000), in genere, ma non sempre, la soluzione sembra convergere dopo un periodo di circa 2÷3 anni.

Con lo scopo di fornire una regola generale per effettuare tali valutazioni, è stato quindi introdotto il parametro  $\eta$ , definito nel modo seguente:

$$\eta = \frac{3\sigma_{fit}}{v_h} \quad (2.1)$$

dove  $\sigma_{fit}$  è lo scarto quadratico medio e  $v_h$  rappresenta la velocità stimata. Il parametro  $\eta$  definisce il tempo necessario al segnale per emergere dalla soglia del rumore (pari a 3 volte lo scarto quadratico medio) e può essere utilizzato, confrontandolo con il periodo abbracciato dai dati elaborati, come indice di attendibilità del segnale elaborato in funzione del numero di anni coperto. Se risulta inferiore al periodo considerato nel *processing*, allora i risultati presentati nelle serie temporali si possono considerare attendibili.



## 2. *Strategia di analisi dei dati*

L'analisi di segnali discreti nel tempo è un processo essenziale nell'interpretazione di dati geodetici come quelli ricavati dal GPS.

Applicando un'analisi lineare ai minimi quadrati al sistema, quale quella operata dal software di elaborazione, è possibile raggiungere due scopi:

- individuare i *trend* presenti (spostamenti delle stazioni);
- individuare e rimuovere i fenomeni di disturbo.

Analizzando infine i residuali risultanti dalla regressione lineare, è possibile fornire una misura dell'accuratezza con la quale il modello approssima il set di dati ed individuare e eliminare dal modello i punti erronei.

I dati della rete FReDNet sono stati analizzati con il software GAMIT/GLOBK utilizzando un approccio basato sui seguenti punti:

- Uso delle osservazioni di fase, elaborate alle differenze doppie in un sistema debolmente vincolato, per stimare le coordinate delle stazioni, i ritardi atmosferici ed i parametri orbitali terrestri (EOP).
- Introduzione delle stime debolmente vincolate, ottenute al punto 1, in un filtro di Kalman (GLOBK) per determinare un set consistente di coordinate. In questo passo si combinano le *quasi-observations* dell'analisi regionale con quelle dell'analisi globale dei dati IGS effettuata da SOPAC.

I parametri impostati per regolare acquisizione e trattamento dei dati sono descritti, con riferimento ai rispettivi file di configurazione, nel paragrafo 3. Analizziamo ora come viene strutturata l'elaborazione nei suoi moduli principali.

### **Definizione delle baselines - Sistema debolmente vincolato.**

Un sistema debolmente vincolato viene adottato nella prima parte dell'elaborazione e definisce l'accuratezza interna (*internal accuracy*) della rete. Le stime di accuratezza interna vengono effettuate mediante ripetute elaborazioni di *baseline* (per  $n$  siti ci sono  $n - 1$  *baseline* indipendenti) rispetto ad un punto fisso e sono volte a realizzare la chiusura della rete.

Imporre dei vincoli deboli significa non applicare delle condizioni al contorno stringenti né alle coordinate dei siti, né alle orbite dei satelliti, che rimangono quindi, all'interno della soluzione, in un sistema di riferimento non determinato con precisione. Le coordinate dei siti della rete locale introdotte in questa fase sono dette coordinate *a priori* e sono stimate, in maniera in genere non molto accurata, mediante misure di *pseudorange* appoggiandosi ad un punto di posizione nota.

Le misure di *baseline* sono invece calcolate molto accuratamente e l'intera rete e costellazione GPS può essere ruotata e traslata come un corpo rigido.

Il *processing* standard prevede uno o due passaggi attraverso i moduli che calcolano gli osservabili, individuano eventuali *cycle slip* ed effettuano l'analisi ai minimi quadrati.

Le componenti dei vettori delle *baseline* sono computate all'interno di un *loop*: in questo modo si genera un errore di chiusura sulle tre dimensioni (X, Y e Z) che può essere eliminato applicando il metodo dei minimi quadrati. Il modo in cui l'errore di chiusura viene distribuito tra i punti intermedi è funzione della tecnica di applicazione dei pesi adottata.

Le componenti dei vettori delle *baseline* sono inoltre correlate tra di loro in funzione della geometria satellitare: essendo la geometria del segmento in orbita in continua evoluzione, la ripetizione di misure di *baseline* porta a diverse correlazioni tra le componenti X, Y e Z misurate.

L'entità dell'errore di chiusura dei vettori delle *baseline* GPS, misurata nel punto iniziale, permette la stima dell'accuratezza interna o della consistenza geometrica del rilevamento. Dividendo tale valore per la lunghezza totale delle basi, si può ricavare un fattore di accuratezza relativa.

I residuali sono quindi una misura delle correzioni individuali effettuate su ogni *baseline*.

Si noti che, anche a questo livello, delle misure di *pseudorange*, combinate con una conoscenza ragionevole delle coordinate a priori di stazioni e satelliti, possono essere utilizzate per determinare gli offset dell'orologio del ricevitore con accuratezza di  $1\mu\text{s}$ , tali cioè da garantire errori nel calcolo alle differenze doppie al di sotto del millimetro.

### **Sistema rigidamente vincolato.**

L'analisi dei dati geodetici richiede la connessione tra diverse reti e diversi sistemi di riferimento: il sistema debolmente vincolato, che calcola le coordinate relative ad un punto noto arbitrario, non è in grado di fornire tale servizio. È necessario quindi introdurre un sistema rigidamente vincolato in cui inserire i siti da analizzare.

In effetti, anche le coordinate del punto preso come riferimento nell'applicazione dei vincoli deboli posseggono un certo grado di accuratezza all'interno della rete in cui tale punto è inserito: in questo caso si parla di accuratezza esterna (*external accuracy*). Lo scopo dell'elaborazione dei dati del sistema debolmente vincolato diventa pertanto l'aggiustamento del network locale, effettuato con il metodo dei minimi quadrati, in modo tale da poterlo inserire nel sistema di riferimento esterno.

In base ai risultati ottenuti in quest'operazione si raggiunge infine l'accuratezza assoluta (*absolute accuracy*) del rilievo geofisico.

Nell'effettuare l'aggiustamento di una rete GPS, si generano serie di *loop* relativi alla chiusura di ogni singolo punto. In questo modo si creano condizioni ridondanti differenti che permettono la valutazione di vettori di *baseline* su diversi percorsi. Queste variazioni nell'errore di chiusura, valutato secondo differenti *loop*, possono essere usate come ulteriore parametro per definire la consistenza interna della rete e per individuare eventuali errori nelle singole *baseline*.

La ripetuta osservazione delle *baseline*, valutate in tempi differenti e con diverse configurazioni satellitari, garantisce inoltre una ridondanza aggiuntiva alla rete: la ridondanza richiesta nell'elaborazione è funzione delle finalità del rilevamento.

L'algoritmo ai minimi quadrati fornisce, in uscita, delle statistiche relative alle operazioni di scalatura, traslazione e rotazione: in particolare è possibile ottenere i valori dei residuali per ogni componente osservata (latitudine, longitudine e quota), parametro utile nell'individuazione degli *outlier* (vedi paragrafo 4 **Serie temporali**).



### ***3. Analisi dei dati di FReDNet.***

Passiamo ora alla descrizione del *processing* effettuato sui dati ottenuti dalle stazioni della rete FReDNet. Attraverso la descrizione dei parametri introdotti nei file di *setup* del programma, si illustrerà la strategia adottata nell'analisi.

Una volta convertiti i file RAW, forniti direttamente dai ricevitori, in file RINEX, formato standard di interscambio ed elaborazione dei dati GPS, è possibile iniziare l'elaborazione.

Il primo passo prevede la determinazione di un set di soluzioni debolmente vincolate (*quasi-observations*) e richiede l'utilizzo del modulo software GAMIT. I file delle soluzioni di FReDNet prodotti da GAMIT, contenenti le coordinate dei siti espresse in un sistema di riferimento debolmente vincolato, vengono quindi processati da GLOBK, programma che provvede all'inserimento dei siti in un sistema di riferimento globale.

Prima di iniziare l'elaborazione è necessario stabilire la strategia con cui si vuole procedere: a tal fine vanno aggiornati<sup>3</sup>, studiati e modificati all'occorrenza alcuni file di setup del programma. All'interno di questi file bisogna fornire i valori di tutte le variabili coinvolte nel processo di elaborazione (durata delle sessioni, siti di riferimento, pesi degli errori, ecc.): esse sono generalmente inizializzate dai produttori del software a dei valori di default e vanno conseguentemente adattate alle singole situazioni ed esigenze dall'esperienza dell'utente.

Si descriveranno ora brevemente i diversi file ed i relativi parametri inseriti per l'analisi dei dati di FReDNet.

#### **Setup delle variabili di processo - *process.defaults***

Il file **process.defaults** contiene tutte le informazioni riguardanti l'archiviazione e la gestione dei dati: è possibile quindi impostare la struttura delle directory locali ove immagazzinare i dati di FReDNet e l'elenco di siti ftp da utilizzare per l'accesso remoto a dati di altre reti. In **process.defaults** è inoltre possibile impostare i parametri relativi all'ambiente di lavoro di GAMIT, come la lunghezza degli intervalli ed il numero di epoche.

Per i dati della rete FReDNet si è adottato un intervallo di campionamento di 30 secondi, che porta ad un numero di 2880 osservazioni giornaliere. Quotidianamente si provvede al *download* dei dati dalle stazioni (che vengono raccolti in file da circa 300 MB) e l'avvenuto scaricamento è comunicato via mail all'utente.

---

<sup>3</sup> Le versioni più aggiornate dei file di GAMIT sono scaricabili gratuitamente dall'archivio di SOPAC - Scripps Orbits and Permanent Array Center via http all'indirizzo <http://sopac.ucsd.edu/> o via ftp all'indirizzo <ftp://lox.ucsd.edu/pub/>

### Stazioni esterne incluse nella soluzione - sites.defaults

L'*editing* del file **sites.defaults** permette all'utente di specificare quali stazioni locali e quali stazioni IGS includere nell'elaborazione. Nella gestione dei dati di FReDNet si è scelto di analizzare i dati di tutte le stazioni attive della rete, tenendo ovviamente conto delle rispettive date di installazione. Si noti che tra i siti locali figura anche la stazione UDIN, localizzata a Udine presso la sede del CRS: tale stazione è stata installata con il solo scopo di testare le apparecchiature (il *processing* dei dati da essa ricevuti viene quindi effettuato in quest'ottica).

In **sites.defaults**, è raccolto l'elenco delle stazioni della rete EUREF adottate per migliorare l'*ambiguity resolution* nell'analisi dei dati di FReDNet.

I siti considerati sono:

- BZRG - Bolzano, Italia;
- GRAS - Caussols, Francia;
- GRAZ - Graz, Austria;
- GSR1 - Lubiana, Slovenia;
- HFLK - Innsbruck, Austria;
- MEDI - Medicina (Bo), Italia;
- SBGZ - Salisburgo, Austria;
- VENE - Venezia, Italia;
- ZIMM - Zimmerwald, Svizzera.

Due criteri sono stati seguiti per la scelta delle stazioni utilizzate: come primo criterio è necessario disporre di un sufficiente numero di stazioni per risolvere le ambiguità; non esiste tuttavia una regola precisa che ne definisce numero e localizzazione. In genere e buona norma disporre di un set di siti con una densità tale da permettere un buon funzionamento dell'algoritmo di *ambiguity resolution*. Nel caso di FReDNet sono state inizialmente considerate soltanto tre stazioni (BZRG, GRAZ e VENE), il che ha però portato a errori eccessivi. Si è così deciso di includere nella soluzione tutti i siti dislocati nell'area che circonda il Nord-Est italiano (Figura 2).

Come secondo criterio di scelta delle stazioni, al fine di ottenere una buona combinazione delle soluzioni di FReDNet con quelle di SOPAC, è necessario che un certo numero dei siti considerati si sovrapponga agli *h-files* di SOPAC (nel caso in esame le stazioni: BZRG, GRAS, GRAS, HFLK, MEDI, SBGZ, VENE e ZIMM).



Figura 2: stazioni esterne incluse nelle soluzioni di FReDNet.

### Strumentazione impiegata - station.info

Il file **station.info** raccoglie le informazioni riguardanti le antenne ed i ricevitori installati nelle stazioni regolarmente iscritte a SOPAC<sup>4</sup>. Questo file, la cui versione aggiornata è disponibile in rete, è stato integrato con le caratteristiche della strumentazione e le date di installazione delle stazioni di FReDNet e di altre stazioni europee non comprese nell'elenco originale.

### Analisi e controllo - sestbl. e sittbl.

Questi due file, il cui nome significa rispettivamente: *session table* e *site table*, contengono delle serie di comandi necessari all'impostazione dell'elaborazione con GAMIT.

Il file **sestbl.** raccoglie i comandi di analisi, ovvero i vincoli a priori definiti dall'utente, i parametri terrestri, i parametri atmosferici da utilizzare per modellare il ritardo troposferico, i

<sup>4</sup> Lo Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) è localizzato presso il Cecil H. and Ida M. Green Institute of Geophysics and Planetary Physics (IGPP), Scripps Institution of Oceanography (SIO), University of California, San Diego (UCSD) a La Jolla, in California. Il principale scopo scientifico di SOPAC è la fornitura di supporto per le misure geodetiche e geofisiche ad alta precisione con l'uso del GPS. SOPAC partecipa all'International GPS Service (IGS) con funzione di database globale (Global Data Center) e centro di analisi globale (Global Analysis Center). SOPAC, inoltre, gestisce un archivio in cui sono raccolti i dati di numerose reti geodetiche GPS, tra le quali: SCIGN e UNAVCO.

criteri per la risoluzione delle ambiguità di fase, i parametri orbitali e la pulizia dei file. Nel caso delle elaborazioni dei dati di FReDNet sono state mantenute le impostazioni di default.

Il file **sittbl**. è una tabella di controllo in cui sono elencati i parametri relativi ad una serie di stazioni (sia stazioni utilizzate nell'esperimento sia stazioni non usate). Anche in questo caso è stato mantenuto il file con le impostazioni di default.

### **Scelta del sistema di riferimento – stab sites**

Uno degli aspetti più delicati dell'analisi è la scelta delle stazioni remote di riferimento. La decisione di quali siti esterni alla rete prendere come riferimento stabile non è univoca: l'introduzione in questo campo di stazioni non attendibili potrebbe portare ad un sensibile degrado dei risultati.

I tre file **stab\_sites** utilizzati nell'elaborazione dei dati di FReDNet vengono usati per la definizione del riferimento su tre diverse scale:

- **stabsites.global** - comprendente una serie di stazioni stabili dislocate su tutto il pianeta;
- **stabsites.eurasia** - comprendente una serie di stazioni stabili europee;
- **stabsites.serf** - comprendente una serie di stazioni stabili europee scelte in base allo Stable European Reference Frame (SERF), come illustrato da Nocquet et al., 2001 [7].
- 

Conviene ora spendere qualche parola a commento delle scelte effettuate nella gestione del file **stabsites.serf**.

Negli studi di deformazione continentale e regionale, le velocità vengono solitamente mappate in relazione ad una placca, o blocco, localizzata nelle vicinanze dell'area di interesse e supposta stabile (Nocquet et al., 2001 [7]).

Basandosi sulla teoria della tettonica a placche si assume un comportamento rigido all'interno delle placche e si confinano le deformazioni lungo i loro margini. La situazione europea, nel cui contesto la rete FReDNet è collocata, presenta un'elevata concentrazione di stati deformativi nelle zone alpina, appenninica e pirenaica, ovverosia lungo le tre catene montuose facenti parte dei confini della Placca Euroafricana (Philip, 1987).

Come affermato in precedenza, nell'elaborazione dei dati il primo passo consiste nella stima delle coordinate delle stazioni in un sistema di riferimento debolmente vincolato. Non vengono quindi imposti vincoli rigidi né alle coordinate dei siti, né alle orbite dei satelliti GPS, che non rimangono di conseguenza definite in un sistema di riferimento ben determinato. Grazie a questo fatto, è possibile effettuare una rotazione in longitudine dell'intera costellazione GPS e delle coordinate delle stazioni, senza indurre alcun degrado nelle soluzioni del modello.

Considerando l'intera rete e costellazione GPS come un corpo rigido, esiste una serie di parametri, ad esso relativi, indipendenti dal riferimento. Nella soluzione debolmente vincolata tali quantità (le distanze relative tra i siti) vengono sempre determinate in modo molto accurato: esse sono però soggette ad un certo grado di incertezza di scala.

Per poter utilizzare le coordinate derivate da tali soluzioni è necessario introdurre un sistema di riferimento consistente tale da permettere la determinazione degli spostamenti dei siti monitorati e, di conseguenza, delle deformazioni cui l'area in esame è soggetta. L'introduzione di un sistema di riferimento prevede la definizione dei seguenti parametri:

- scala;
- origine;
- orientamento delle coordinate geodetiche.

Esso è specificato per mezzo di informazioni *a priori* riguardanti le coordinate e/o le velocità dei siti: essendo le placche terrestri in movimento, si dovrà definire un sistema di riferimento cinematico (Larson et al., 1997 [5]).

Nella definizione di un sistema di riferimento stabile in cui inquadrare la rete FReDNet è stato utilizzato lo *Stable Europe Reference Frame (SERF)*. Come illustrato da Nocquet et al. (2001 [7]), tale sistema di riferimento si basa su otto siti, localizzati nell'Europa centrale, caratterizzati da una rotazione rigida inferiore a 0.4 mm/anno e, nella maggior parte, distanti da zone tettonicamente attive.

I risultati ottenuti nello studio del SERF indicano che l'Europa centrale si muove come un blocco rigido e, fattore fondamentale per l'analisi dell'area friulana, che la deformazione attiva nelle Alpi orientali e nei Carpazi occidentali risulta inferiore al livello di consistenza interna del SERF (1 mm/anno).

### **Coordinate iniziali - lfile.**

L'**lfile** raccoglie le coordinate iniziali delle stazioni da utilizzare nell'analisi. Per ottenere dei risultati accurati è necessario assicurarsi che questo file sia aggiornato e, se così non fosse, scaricare via Internet (dall'archivio di SOPAC) la versione *update*. Al file scaricato sono stati aggiunti i dati delle stazioni di FReDNet.

Tali dati sono stati ottenuti con il calcolo di una soluzione preliminare che ha permesso di migliorare la qualità delle coordinate immesse inizialmente (coordinate *a priori*).

### **Coordinate debolmente vincolate di siti esterni - h-file**

Per assicurare la consistenza delle soluzioni, agli h-file prodotti da GAMIT, contenenti le soluzioni di FReDNet in un sistema debolmente vincolato (denominati *fred*), vengono combinati dei file analoghi, relativi a siti esterni.

Nell'analisi dei dati di FReDNet si è deciso di utilizzare gli h-file della rete IGS, denominati *igs1*, *igs2* e *igs3*, comprendenti siti disseminati sull'intero pianeta e quelli denominati *aura*, relativi a siti europei.

## 4. Risultati

Sono qui raccolti i processi di elaborazione dei dati di FReDNet (relativi al periodo compreso tra Giugno 2002 e Febbraio 2003) ed i risultati ottenuti.

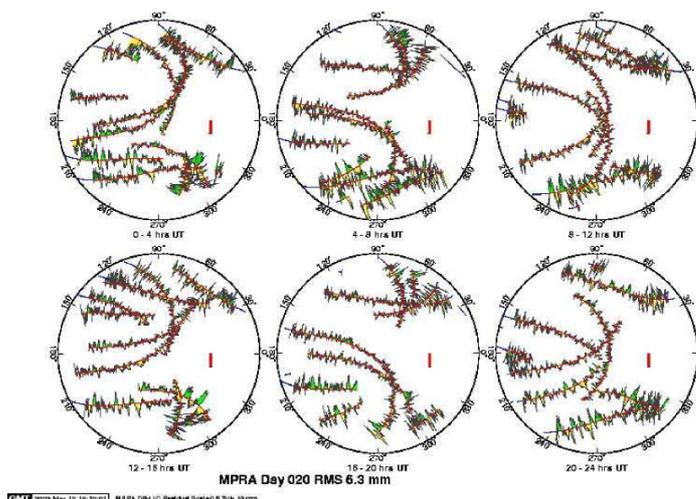
### Diagrammi di visibilità (sky plot)

I diagrammi di visibilità (*sky plot*) sono diagrammi polari rappresentanti, sul piano, una proiezione della sfera celeste che sovrasta l'antenna: essi sono utilizzati per descrivere il numero e le traiettorie dei satelliti visibili dalla stazione nell'arco della giornata.

L'orizzonte è rappresentato dal cerchio più esterno, mentre lo Zenit si trova in corrispondenza del centro. Gli angoli di elevazione sono riportati linearmente, a partire dallo Zenit ( $90^\circ$ ) verso l'orizzonte ( $0^\circ$ ). In genere, non viene considerata la zona con elevazione inferiore a  $15^\circ$  (Nikon-Trimble [6] pp. 43-46).

Gli *sky plot*, forniti come *output* giornaliero da GAMIT (se in esso la relativa opzione è attivata), sono un utile strumento per effettuare una ricognizione delle eventuali ostruzioni poste nelle vicinanze dell'antenna e per la valutazione di come queste, nell'arco della giornata, influenzino la ricezione del segnale. Un esempio di diagramma di visibilità è riportato in Figura 3.

Ovviamente, per la pianificazione dei tempi di acquisizione nelle campagne di rilevamento, l'analisi dei diagrammi di visibilità è fondamentale. Essa assume minore importanza nel caso di reti GPS statiche: può comunque essere utilizzata per monitorare la ricezione che, nel tempo, è suscettibile di variazioni a causa di modifiche della vegetazione, della configurazione satellitare o di edificazioni.



**Figura 3: Diagrammi di visibilità del sito MPRA relativo al doy 020 del 2003 (20 Gennaio 2003). Il grafico è diviso in 6 quadranti, ognuno dei quali abbraccia un periodo di 4 ore. Si noti come i valori dei residuali, quantificati dai disturbi presenti sull'orbita tracciata dei satelliti, aumentino verso i bordi del diagramma (basso angolo di elevazione). È inoltre riconoscibile un'inferiore capacità di acquisizione in direzione Est, fatto probabilmente dovuto alla vegetazione presente nelle vicinanze del sito.**

### Serie temporali

Per serie temporali (*time series*) s'intendono dei grafici che illustrano l'evoluzione della posizione del ricevitore GPS nel tempo. Ogni grafico include una valutazione degli errori da cui ogni stima è affetta e la retta che approssima meglio i dati (*best fit line*). Sono indicate anche le velocità calcolate ITRF00, le rispettive incertezze  $1\sigma$  lo scarto quadratico medio normalizzato (nmrs) e pesato (wrms).

Le stazioni di FReDNet di cui si presentano i risultati sono quelle di Zouf Plan (ZOUF) e Mont di Prat (MPRA) (per completezza si includeranno anche le serie temporali di UDIN, essendo tale stazione attiva da Giugno 2002 e potendo quindi fungere da termine di confronto).

### Serie temporali giornaliere

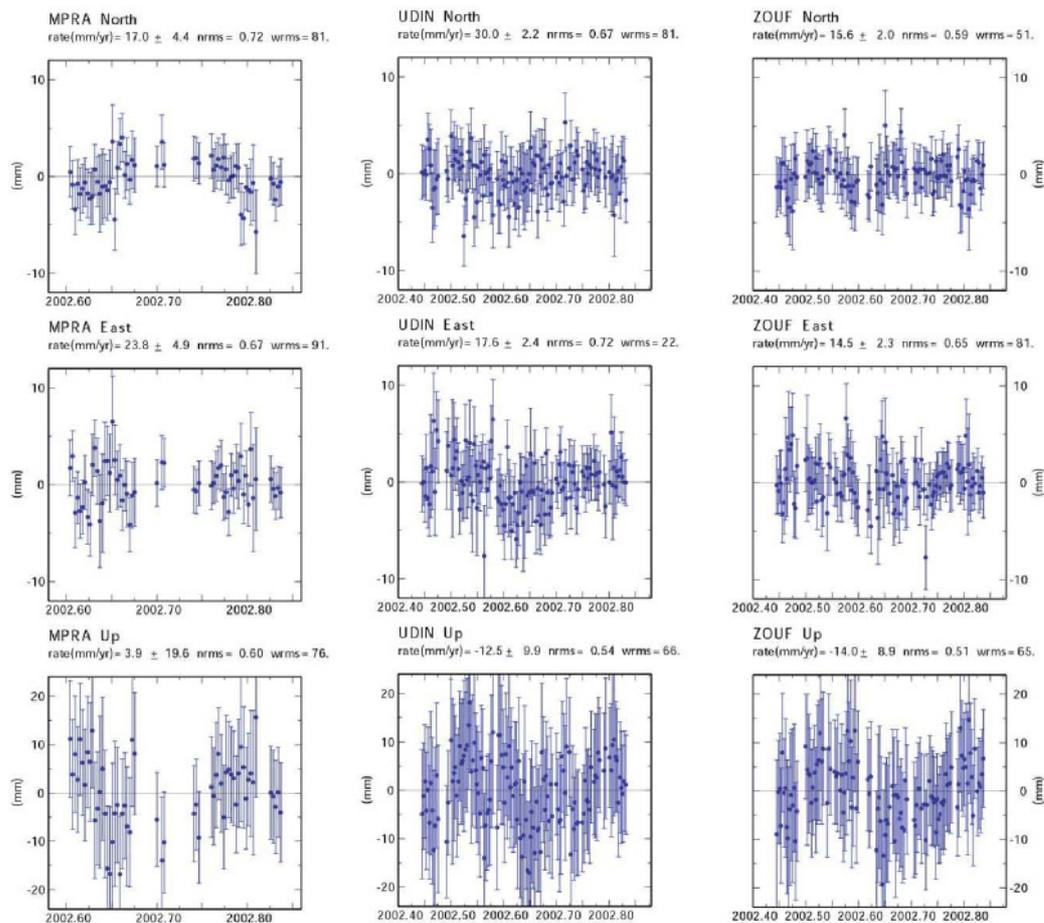
Negli studi geofisici il *download* giornaliero rappresenta la modalità standard di acquisizione di dati GPS da stazioni permanenti. La rete FReDNet, fatta eccezione per il sito ZOUF che acquisisce anche dati orari, segue questa regola.

Il set di dati a disposizione si presenta dunque diviso in le RINEX giornalieri, all'interno di ciascuno dei quali sono presenti le osservazioni della giornata (l'intervallo di campionamento è di 30 secondi, equivalente a 2880 misure al giorno). I dati delle stazioni esterne alla rete FReDNet inserite nell'elaborazione si presentano nello stesso formato.

Nel corso del *processing*, per ogni giornata di elaborazione, viene definito un valore rappresentativo delle coordinate di ogni sito. In questo modo, combinando mesi di dati ed illustrando l'andamento nel tempo di ognuna delle tre coordinate, vengono costruite le serie temporali giornaliere.

Soprattutto per quanto concerne l'analisi degli spostamenti di siti appartenenti a reti giovani, come FReDNet, la visualizzazione delle serie temporali giornaliere (vedi Figura 4), può risultare un utile strumento per individuare i trend in atto.

Come si vedrà in seguito, in genere l'operazione di tracciamento delle serie temporali non è immediata: essa richiede invece una serie di iterazioni del procedimento volte ad eliminare via gli errori e a definire quindi un set di dati realistico e significativo.



**Figura 4: Serie temporali dei siti di FRdNet: MPRA, UDIN e ZOUF relative al periodo Giugno - Novembre 2002 (da Zuliani, Battaglia et al., 2002).**

### Rimozione degli outlier

Per *outlier* si intendono quei dati che presentano valori visibilmente affetti da errore (residuali eccessivamente elevati). Questi, visualizzabili nelle serie temporali, possono essere ricondotti ad origini diverse: manutenzione della strumentazione, *multipath* occasionale, parametri satellitari imprecisi, ecc.. La presenza di simili dati nelle soluzioni potrebbe compromettere notevolmente la qualità dei risultati: si provvede quindi ad una rimozione dall'elaborazione delle giornate da essi interessate.

Su consistenti set di dati quali quelli utilizzati nelle analisi di deformazione crostale, la rimozione degli *outlier*, ovverosia l'eliminazione di alcune giornate dall'elaborazione, non comporta alcun degrado delle soluzioni (ovviamente ciò vale qualora il numero dei giorni da eliminare sia basso rispetto a quello dei giorni coinvolti nel *processing*). Al contrario, il mantenimento di dati caratterizzati da residuali troppo elevati, può avere l'effetto di falsare la posizione della retta interpolante e portare quindi a conclusioni errate.

Il criterio adottato per l'individuazione di dati erronei non è univoco: in genere essi sono visibili direttamente dai grafici delle serie temporali e non richiedono, nella pratica comune, operazioni computazionali.

I primi risultati dell'elaborazione dei mesi di Novembre e Dicembre 2002 sono riportati in Figura 5.

Proprio dall'analisi di Figura 5, da un punto di vista puramente qualitativo (a questo livello dell'elaborazione non ha ancora senso cercare di interpretare quantitativamente i risultati), e possibile fare alcune considerazioni:

- È immediatamente riconoscibile un certo numero di *outlier*, punti caratterizzati da incertezze e residuali eccessivamente grandi. Si può verificare che gli *outlier*, nelle serie temporali delle due stazioni, cadono all'interno degli stessi giorni: il che indica come essi non siano dovuti a problemi dei singoli ricevitori, ma siano più probabilmente imputabili a cause esterne (disturbi atmosferici, errori nelle orbite satellitari, problemi legati al software di elaborazione, ecc.). Si noti inoltre che anche nelle serie temporali della stazione UDIN e delle stazioni esterne incluse nella soluzione (grafici qui non riportati, per non appesantire eccessivamente la trattazione) sono risultati presenti outlier in corrispondenza dei medesimi giorni.

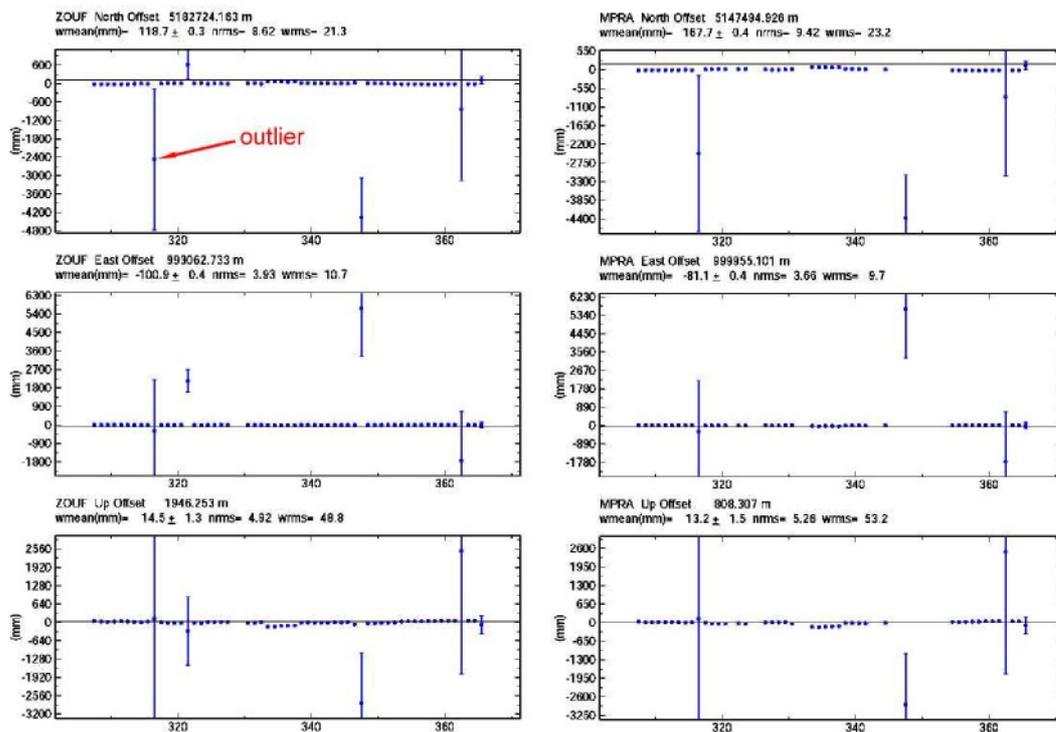


Figura 5: Risultati della prima elaborazione dei mesi di Novembre e Dicembre 2002 per le stazioni ZOUF e MPRA. Sono presenti vari *outlier*, individuabili chiaramente dal grafico, caratterizzati da una distanza eccessiva dalla linea di interpolazione (cioè residuali troppo elevati) e da un'accuratezza molto bassa (le ali indicano l'incertezza  $1\sigma$ ).

- Nelle serie temporali (ed in particolare in quelle riferite alla stazione MPRA) sono presenti numerosi buchi, giorni per i quali non sono state valutate le coordinate. La ragione va ricercata nel fatto che, essendo la rete FReDNet ancora in fase di messa a punto, essa è spesso soggetta a problemi legati alla configurazione dei ricevitori o alla

trasmissione via modem dal ricevitore alla sede del CRS<sup>5</sup>. Può quindi capitare che, in alcuni periodi, il sopraggiungere di problemi tecnici impedisca l'acquisizione e, conseguentemente, l'elaborazione dei dati.

Considerando che il rapporto tra numero di dati presenti e numero di dati errati (*outlier*) è di circa 12:1 (5 *outlier* su un periodo di 2 mesi di dati), non si è ritenuto utile tentare di correggere i dati affetti da errore, che sono stati invece eliminati dalla soluzione, senza per questo comprometterne la validità.

### Rielaborazione dei dati

Dopo aver eliminato dall'elaborazione gli *outlier*, individuati dai grafici di Figura 5, e dopo aver lanciato nuovamente il programma, si sono ottenute delle nuove serie temporali. Come si può vedere dalla Figura 6, relativa al sito ZOUF (le altre stazioni hanno manifestato un comportamento analogo), le osservazioni sono caratterizzate da una dispersione eccessiva.

Si applichino ora le seguenti condizioni matematiche per l'individuazione degli *outlier* (Fernandes e Ambrosius, 2001 [2]):

$$\text{tolleranza } N = \begin{cases} 2rms(\partial N) & \text{se } 2rms(\partial N) < 9mm \\ 9 & \text{se } 2rms(\partial N) \geq 9mm \end{cases} \quad (5.1)$$

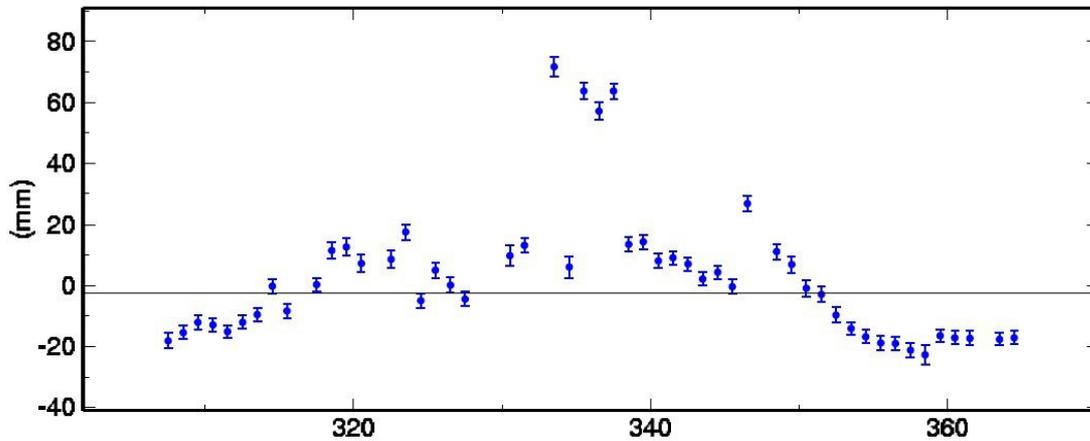
$$\text{tolleranza } E = \begin{cases} 2rms(\partial E) & \text{se } 2rms(\partial E) < 14mm \\ 14 & \text{se } 2rms(\partial E) \geq 14mm \end{cases} \quad (5.2)$$

$$\text{tolleranza } U = \begin{cases} 2rms(\partial U) & \text{se } 2rms(\partial U) < 24mm \\ 24 & \text{se } 2rms(\partial U) \geq 24mm \end{cases} \quad (5.3)$$

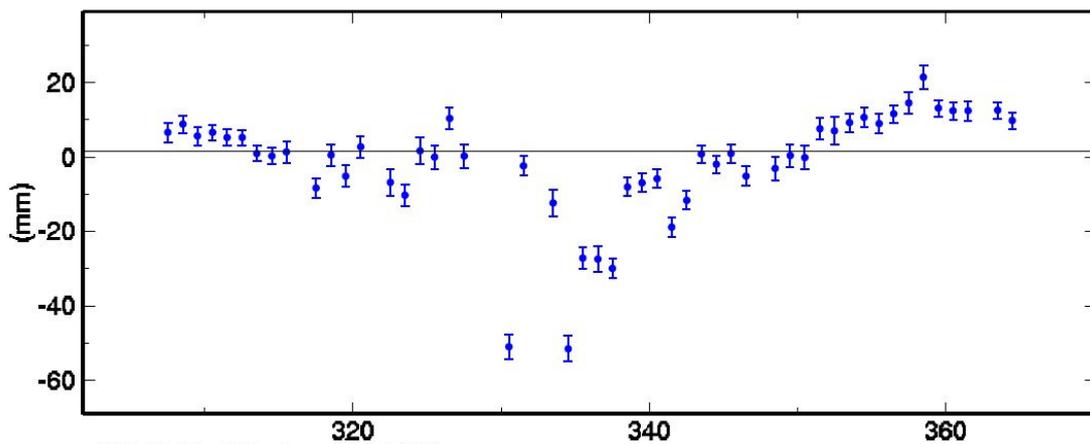
---

<sup>5</sup> Le memorie sulle quali vengono registrati i dati, presenti nei ricevitori di FReDNet, hanno una capacità di 32 MByte: esse possono pertanto immagazzinare circa 60 file RAW giornalieri (aventi dimensioni di circa 550 KByte l'uno). È necessario quindi provvedere alla cancellazione periodica del contenuto della memoria per permettere l'immagazzinamento di nuove informazioni. A tale proposito è possibile impostare due diverse modalità di registrazione: la prima prevede, una volta raggiunto il limite di capacità della memoria, la sovrascrittura dei nuovi su quelli presenti (perdita dei file più vecchi), la seconda, al contrario, blocca la registrazione fino a che i dati già presenti nella memoria non siano stati inviati (portando quindi alla mancata registrazione dei file più recenti). I ricevitori di FReDNet sono impostati sulla prima opzione, di conseguenza, qualora si verificassero problemi di trasmissione tra una stazione GPS e la sede del CRS, il sistema potrebbe continuare ad immagazzinare dati per circa 10 settimane, prima di dover ricorrere alla sovrascrittura dei dati registrati più vecchi.

ZOUF North Offset 5182726.057 m  
wmean(mm)=  $-2.5 \pm 0.3$  nrms= 8.41 wrms= 20.1



ZOUF East Offset 993060.734 m  
wmean(mm)=  $1.7 \pm 0.4$  nrms= 4.98 wrms= 13.0



ZOUF Up Offset 1946.382 m  
wmean(mm)=  $3.1 \pm 1.4$  nrms= 4.72 wrms= 45.3

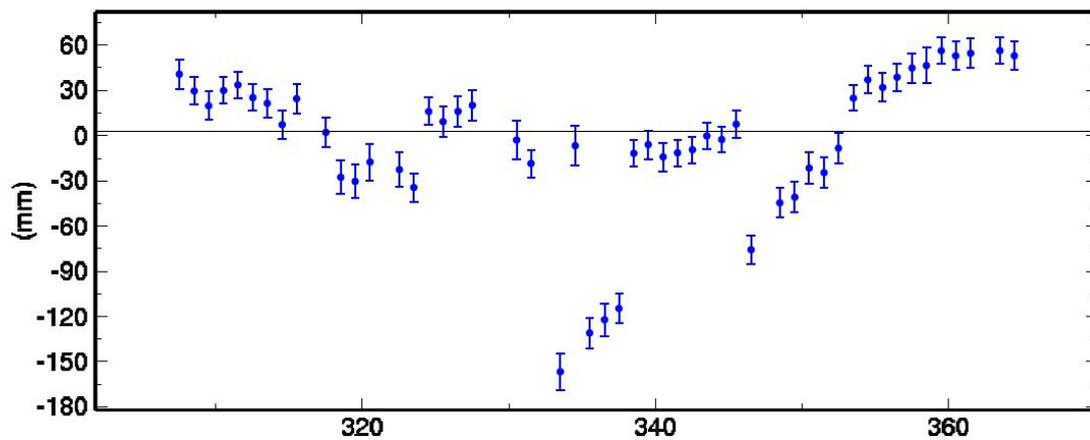


Figura 6: Risultati della seconda elaborazione (dopo la rimozione degli *outlier* più evidenti) dei mesi di Novembre e Dicembre 2002 per la stazione ZOUF. Si nota una dispersione eccessiva delle osservazioni che indica problemi nelle impostazioni dell'algorithm utilizzato da GLOBK.

si nota che praticamente tutti i punti, indicati nella serie temporale, sono caratterizzati da uno scarto quadratico medio superiore al limite di tolleranza.

Inoltre, a differenza di quanto si era verificato dopo la prima elaborazione (Figura 5), nonostante la dispersione (indicante residuali troppo alti), l'accuratezza dei punti (rappresentata dall'incertezza  $1\sigma$ ) sembra essere corretta. Questo conduce alla conclusione che, con ogni probabilità, i difetti riscontrati debbano essere imputati a problemi di stabilizzazione nell'elaborazione, piuttosto che a dati di partenza non sufficientemente buoni.

Rielaborando successivamente le soluzioni ottenute, si è potuto verificare che, soprattutto per il mese di Novembre, la bassa qualità dei risultati era dovuta a problemi di pesatura degli h-file di FReDNet, IGS ed EURA<sup>6</sup>.

### **Pesatura degli h-file**

La procedura utilizzata per generare le serie temporali prevede la combinazione, giorno per giorno, dei dati della rete locale FReDNet con quelli dei network IGS ed EURA: si crea a tal fine una *input file list*, cioè un file in cui si elencano e si associano l'uno all'altro gli h-file *fred*, *igs1*, *igs2*, *igs3* (riferiti alle tre reti globali) ed *eur* (riferito alla rete europea).

Nella prima elaborazione il peso associato a ciascun file è lo stesso, pari ad 1; qualora però si incontrassero problemi, analoghi a quelli illustrati in Figura 6, sarebbe necessario provvedere all'applicazione di pesi diversi.

Per ricavare i pesi corretti da applicare alle varie soluzioni si procede nel seguente modo (M. Murray & M. Battaglia, 2002):

- Si combinano tra di loro, separatamente, gli h-file di FReDNet, IGS ed EURA e si elaborano separatamente.
- Per ognuna delle tre combinazioni ottenute, si valuta il parametro  $\chi^2$ , fornito come output di GLOBK. Questo dà un'indicazione del *misfit* dei dati rispetto alle relative incertezze: scalando gli h-file, in modo tale che  $\chi^2 \sim 1$ , le incertezze  $1\sigma$  risultanti saranno pari alla dispersione (*scatter*) media dei residuali dei dati nel modello. Assunto uno spettro di rumore bianco ed un set di dati campionati, nello spazio e nel tempo, in maniera omogenea, lo scatter dei dati fornisce delle indicazioni non disturbate sulle incertezze presenti. In particolare, in funzione del valore assunto da  $\chi^2$ , per ognuna delle varie combinazioni, si adotta il seguente modo di procedere:

$$\chi^2 \begin{cases} \ll 1 & \Rightarrow \text{non occorre modificare i pesi associati agli h-file;} \\ \gg 1 & \Rightarrow \text{moltiplicare per } \chi^2 \text{ il peso dei relativi h-file.} \end{cases} \quad (5.4)$$

---

<sup>6</sup> Cfr: **Coordinate debolmente vincolate di siti esterni - h-file**

- Si combinano assieme, giorno per giorno e con i nuovi pesi, gli h-file di FReDNet, IGS ed EURA.
- Si ripete l'elaborazione (con GLOBK), si verifica il valore di  $\chi^2$  della combinazione e, se necessario si itera il procedimento no a che  $\chi^2 \sim 1$ .

### Risultati finali

L'elaborazione dei dati di Gennaio e Febbraio 2003 non ha presentato particolari problemi: a tal fine sono stati aggiornati, scaricandone dall'archivio di SOPAC le versioni relative all'anno corrente, i seguenti file:

- **soltab.** (*Solar Table*), tabella contenente le effemeridi solari che descrivono la posizione della Terra rispetto al Sole;
- **luntab.** (*Lunar Table*), tabella contenente le effemeridi lunari che descrivono la posizione della Luna rispetto alla Terra;
- **ut1.** (*Universal Time 1 Table*), tabella contenente le scale temporali TAI-UT1;
- **pole.** (*Pole Table*), tabella contenente le posizioni dei poli in funzione del tempo;
- **nutabl.** (*Nutation Table*), tabella contenente i parametri di nutazione terrestre.

Per questi due mesi non è stato necessario provvedere a particolari operazioni di pesatura o alla rimozione di osservazioni affette da errori.

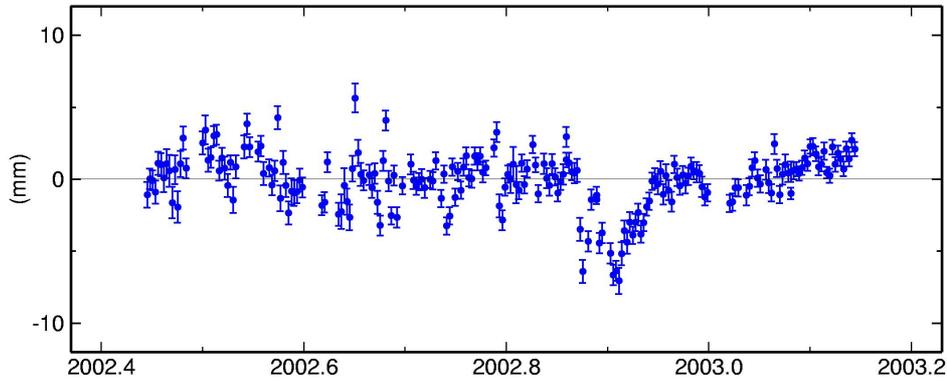
I risultati finali, comprendenti le serie temporali dei siti ZOUF, MPRA e UDIN, relative all'intero periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003 (pubblicati in: D. ZULIANI, M. BATTAGLIA, D. PASCUTTI, M. MURRAY, R. BURGMANN, A. MICHELINI, I. MARSON, FReDNet: a continuous GPS geodetic network monitoring crustal deformation in NE Italy, EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Nice, France, poster presentation, Aprile 2003), sono qui presentati (Figura 7, Figura 8, Figura 9).

Si nota un andamento molto più stabile delle osservazioni nel tempo: le incertezze  $1\sigma$  (rappresentate dalle ali dei punti indicati sul grafico) sono generalmente dell'ordine di pochi millimetri, per le componenti N ed S, e leggermente superiori per le quote.

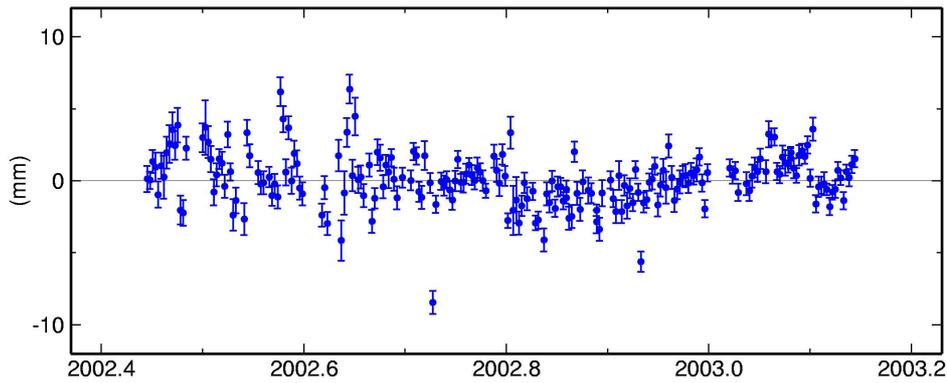
Come più volte ricordato, non è possibile ricavare informazioni quantitativamente utili da un set di dati ristretto a soli 9 mesi, i risultati qui raggiunti vanno quindi considerati come punto di partenza nell'analisi delle deformazioni in atto in Friuli. Essi, integrati con i risultati delle elaborazioni future (relative ad almeno gli anni 2003 e 2004), potranno fornire utili indicazioni sulle zone a maggior carattere deformativo della regione.

Possiamo comunque, sulla base di quanto finora raggiunto, fare alcune considerazioni sulla qualità del servizio che FReDNet si appresta a fornire. Le stazioni finora installate sembrano fornire dati di buona qualità, il che indica la correttezza delle operazioni di scelta dei siti e d'installazione delle antenne. Appare inoltre adeguata la scelta delle stazioni esterne introdotte nell'elaborazione dei dati di FReDNet.

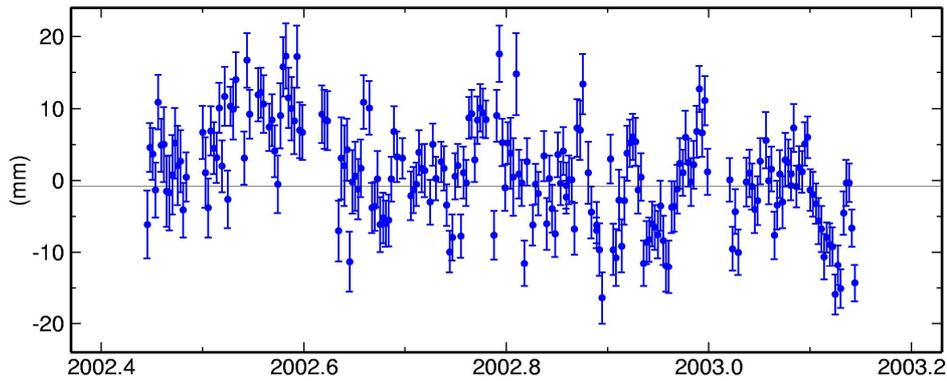
ZOUF North Offset 5182725.930 m  
rate(mm/yr)=  $1.9 \pm 0.2$  nrms= 2.81 wrms= 1.8



ZOUF East Offset 993060.634 m  
rate(mm/yr)=  $-1.1 \pm 0.2$  nrms= 2.39 wrms= 1.7



ZOUF Up Offset 1946.488 m  
wmean(mm)=  $-0.8 \pm 0.2$  nrms= 2.02 wrms= 6.8

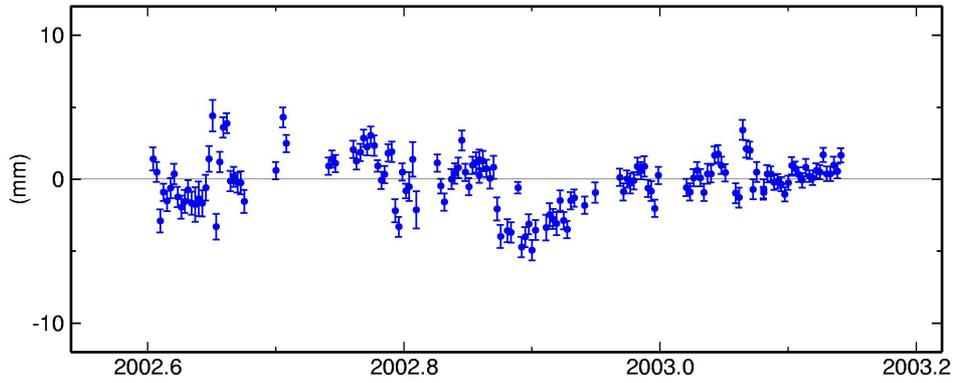


GMT 2003 Mar 16 17:04:17

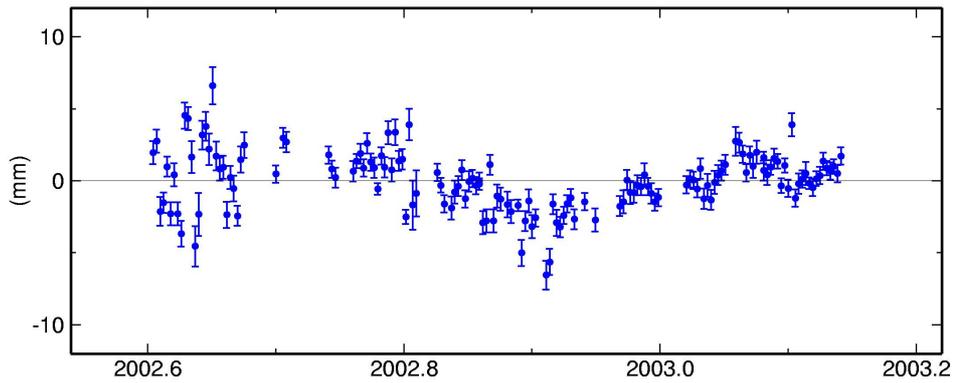
p: 14

**Figura 7: Risultati finali dell'elaborazione dei dati del sito ZOUF relativi al periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003.**

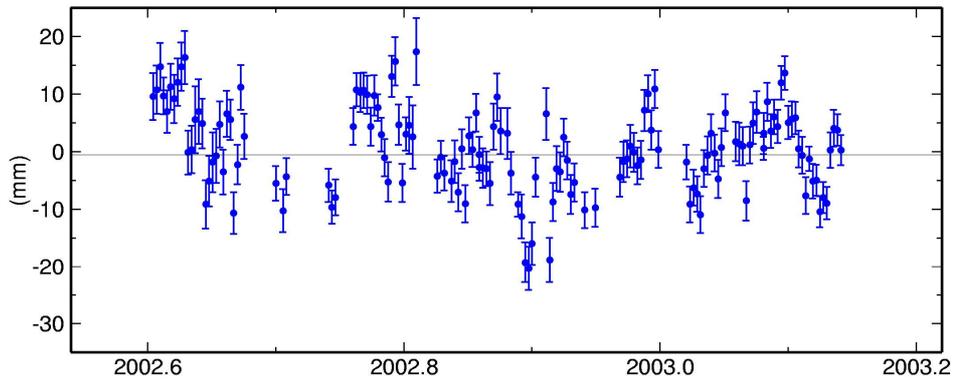
MPRA North Offset 5147496.955 m  
rate(mm/yr)=  $2.1 \pm 0.3$  nrms= 2.59 wrms= 1.6



MPRA East Offset 999953.025 m  
rate(mm/yr)=  $-3.3 \pm 0.4$  nrms= 2.55 wrms= 1.7



MPRA Up Offset 808.555 m  
wmean(mm)=  $-0.5 \pm 0.3$  nrms= 2.15 wrms= 7.1

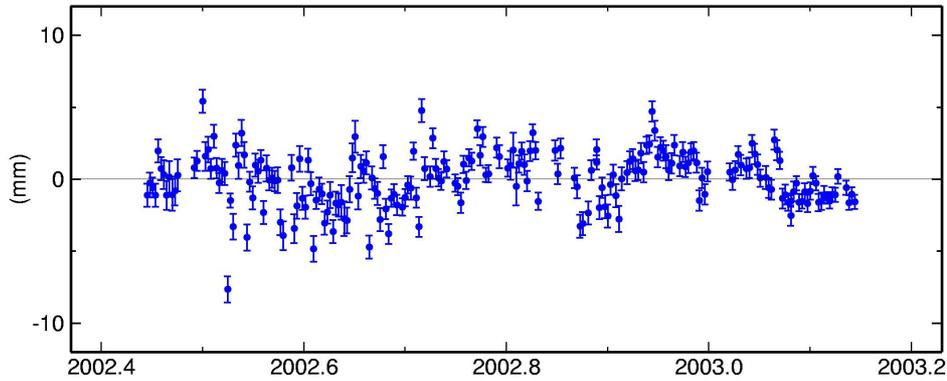


GMT 2003 Mar 16 17:03:26

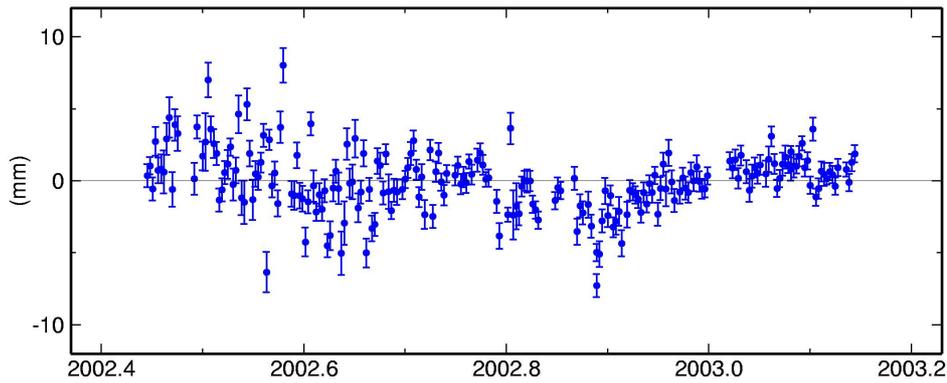
p: 8

**Figura 8: Risultati finali dell'elaborazione dei dati del sito MPRA relativi al periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003.**

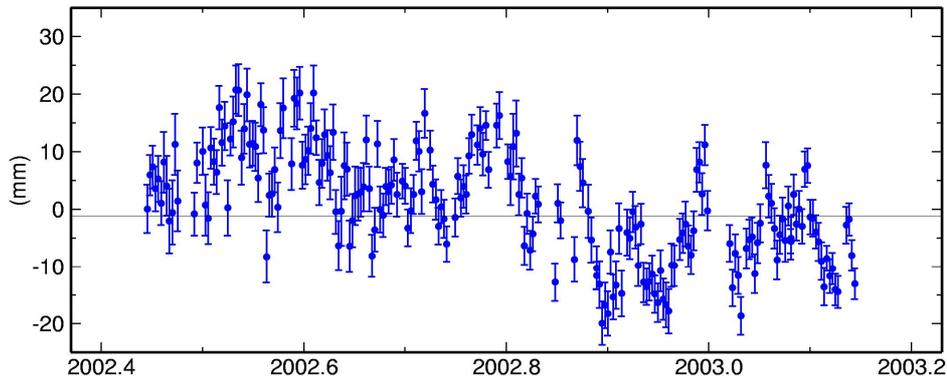
UDIN North Offset 5124833.064 m  
rate(mm/yr)=  $10.4 \pm 0.2$  nrms= 2.49 wrms= 1.7



UDIN East Offset 1024158.174 m  
rate(mm/yr)=  $2.6 \pm 0.3$  nrms= 2.48 wrms= 1.8



UDIN Up Offset 146.038 m  
wmean(mm)=  $-1.1 \pm 0.2$  nrms= 2.53 wrms= 9.1



GMT 2003 Mar 16 17:03:49

p: 11

**Figura 9: Risultati finali dell'elaborazione dei dati del sito UDIN relativi al periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003.**



## ***5. Sviluppi futuri del data processing***

Saranno ora descritti i futuri sviluppi dell'elaborazione dei dati di FReDNet. Si tratta essenzialmente di effettuare analisi su differenti scale temporali, passando dall'elaborazione di dati orari all'interno delle singole giornate, al processing di dati su medie mensili. Come anticipato nel paragrafo 1, si provvederà inoltre, quando le stazioni avranno acquisito informazioni per un sufficiente lasso di tempo, alla determinazione delle velocità di spostamento dei siti.

### **Serie temporali orarie**

Come previsto dall'accordo con EUREF, FReDNet provvederà a fornire, relativamente al sito localizzato a Zouf Plan (ZOUF), set di dati RAW e RINEX orari.

Questo tipo di approccio risulta utile per il monitoraggio di eventi rilevabili in brevi archi di tempo. Se infatti il dato orario fornisce informazione assolutamente ridondanti nell'analisi di processi caratterizzati da basse velocità di propagazione (ad esempio l'accumulo di deformazione intersismica), esso può divenire fondamentale nello studio di movimenti più rapidi. S'intuisce quindi come l'utilità delle serie temporali orarie sia strettamente correlata con il verificarsi di eventi sismici.

Un'altra importante funzione del dato orario consiste nel fatto che questo può fornire utili indicazioni su eventuali variazioni cicliche della posizione dell'antenna durante la giornata. Le fluttuazioni di temperatura ed insolazione, deformando nell'arco del giorno l'asta metallica che regge l'antenna, potrebbero causare oscillazioni visibili nelle serie temporali. Inoltre, combinando il monitoraggio orario con gli *Sky Plot* (grafici in cui è indicato numero e posizione dei satelliti orbitanti sulla stazione nel tempo), è possibile individuare eventuali problemi derivanti da ostruzioni o *multipath* e valutare quindi la qualità dei dati ricevuti in funzione del momento della giornata.

A tale proposito si citano i risultati ottenuti dal Landesbetrieb Landesvermessung und Geo-Basisinformation Niedersachsen (LGN), derivanti dall'analisi di quattordici giorni di soluzioni orarie. L'elaborazione dei dati, relativi a basi di circa 50 km di lunghezza, ha evidenziato l'esistenza di periodi diurni (Schwieger, 2001 [8]).

### **Serie temporali mensili**

Le serie temporali mensili vengono comunemente adottate qualora si intenda esaminare il comportamento deformativo di una regione in un consistente lasso di tempo (anni). Su simili scale temporali, una rappresentazione della variazione giornaliera della posizione dei siti interessati fornirebbe informazioni ridondanti dal punto di vista dello studio dei fenomeni. Essa renderebbe inoltre poco leggibili le rappresentazioni grafiche, in cui la densità dei punti visualizzati sarebbe tale da non permetterne la chiara distinzione.

## Velocità

Nell'analisi dei dati effettuata non sono state calcolate le velocità dei siti di FReDNet. La motivazione risiede nel fatto che, allo stato attuale dell'elaborazione, essendo il set di dati a disposizione ancora troppo limitato nel tempo, i valori che si sarebbero potuti ottenere non avrebbero avuto alcun significato, in quanto affetti da incertezze troppo elevate. Come descritto nel paragrafo 1, prima di poter ricavare dei valori attendibili per le velocità di spostamento dei vari siti, sarà necessario attendere almeno 2.5 anni dalla data di installazione: questo è il tempo utile affinché le stazioni si stabilizzino e forniscano dati la cui elaborazione possa garantire risultati attendibili.

I primi risultati si avranno dunque a partire dall'anno 2005.

## ***Bibliografia***

- [1] G. BLEWITT, D. LAVALLÉE, *Effect of annual signals on geodetic velocity*, Journal of Geophysical Research, vol. 107, n. B7, Legion 25, 2002.
- [2] R. FERNANDES, B. AMBROSIUS, *Analysis by DEOS of the SW part of the EUREF network*, Reports on Geodesy n. 3(58), 2001, pp. 35-42.
- [3] R. W. KING, Y. BOCK, *Documentation for the GAMIT GPS Analysis Software*, Release 10.0, Dicembre 2000.
- [4] R. W. KING, Y. BOCK, *GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*, Version 10.0.
- [5] K. M. LARSON, J. T. FREYMUELLER, S. PHILIPSEN, *Global plate velocities from the Global Positioning System*, Journal of Geophysical Research, vol. 102, n. B5, Maggio 10, 1997, pp. 9961-9981.
- [6] NIKON INSTRUMENTS S.P.A., TRIMBLE, *Guida all'uso del GPS per il rilevamento del territorio*, Maggioli Editore 1999.
- [7] J. M. NOCQUET, E. CALAIS, Z. ALTAMIMI, P. SILLARD, C. BOUCHER *Intraplate deformation in western Europe deduced from an analysis of the International Reference Frame 1997 (ITRF97) velocity field*, Journal of Geophysical Research, vol. 106, n. B6, Giugno 10, 2001, pp. 11239-11257.
- [8] V.SCHWIEGER, *Time-dependent Correlations Using the GPS - A Contribution to Determine the Uncertainty of GPS-Measurement*, New Technology for a New Century Technical Conference during the FIG Working Week, 8-10 Maggio 2001, Seoul, Korea.
- [9] F. VESPE, P.RUTIGLIANO, C.FERRARO, A.NARDI, *Quality Assessment and Signal Detection from GPS Time Series*.



## ***Elenco delle tabelle***

Tabella 1: siti inseriti nell'elaborazione .....	3
Tabella 2: tipo di elaborazione possibile in funzione dell'estensione temporale del set di dati di partenza.....	6



## *Elenco delle figure*

- Figura 1: Disturbi sulla determinazione della velocità derivanti da un segnale annuale sinusoidale. È indicato il massimo disturbo possibile (max) e lo scarto quadratico medio del disturbo (rms). Si notano i minimi in corrispondenza degli anni  $N + 0.5$  ed i massimi in corrispondenza degli anni interi (da Blewitt & Lavallée, 2002 [1])..... 5
- Figura 2: stazioni esterne incluse nelle soluzioni di FReDNet..... 13
- Figura 3: Diagrammi di visibilità del sito MPRA relativo al doy 020 del 2003 (20 Gennaio 2003). Il grafico è diviso in 6 quadranti, ognuno dei quali abbraccia un periodo di 4 ore. Si noti come i valori dei residuali, quantificati dai disturbi presenti sull'orbita tracciata dei satelliti, aumentino verso i bordi del diagramma (basso angolo di elevazione). È inoltre riconoscibile un'inferiore capacità di acquisizione in direzione Est, fatto probabilmente dovuto alla vegetazione presente nelle vicinanze del sito. .... 17
- Figura 4: Serie temporali dei siti di FReDNet: MPRA, UDIN e ZOUF relative al periodo Giugno - Novembre 2002 (da Zuliani, Battaglia et al., 2002)..... 19
- Figura 5: Risultati della prima elaborazione dei mesi di Novembre e Dicembre 2002 per le stazioni ZOUF e MPRA. Sono presenti vari *outlier*, individuabili chiaramente dal grafico, caratterizzati da una distanza eccessiva dalla linea di interpolazione (cioè residuali troppo elevati) e da un'accuratezza molto bassa (le ali indicano l'incertezza  $1\sigma$ ).  
..... 20
- Figura 6: Risultati della seconda elaborazione (dopo la rimozione degli *outlier* più evidenti) dei mesi di Novembre e Dicembre 2002 per la stazione ZOUF. Si nota una dispersione eccessiva delle osservazioni che indica problemi nelle impostazioni dell'algoritmo utilizzato da GLOBK..... 22
- Figura 7: Risultati finali dell'elaborazione dei dati del sito ZOUF relativi al periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003..... 25
- Figura 8: Risultati finali dell'elaborazione dei dati del sito MPRA relativi al periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003..... 26
- Figura 9: Risultati finali dell'elaborazione dei dati del sito UDIN relativi al periodo Giugno 2002 - Febbraio 2003..... 27



## **Sommario**

0.	<i>Introduzione.</i>	1
1.	<i>Dati disponibili.</i>	3
2.	<i>Definizione di un set di dati significativo.</i>	5
3.	<i>Strategia di analisi dei dati</i>	8
4.	<i>Analisi dei dati di FReDNet.</i>	11
5.	<i>Risultati.</i>	17
6.	<i>Sviluppi futuri del data processing</i>	29