

Soluzioni indipendenti di reti GPS
effettuate con vari programmi
scientifici: l'importanza della
divulgazione delle informazioni

Quaderni di Geofisica



91



Quaderni di Geofisica

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

Soluzioni indipendenti di reti GPS effettuate con vari programmi scientifici: l'importanza della divulgazione delle informazioni

Independent solutions from GPS data processing using different standards: the importance of data spreading

Giuseppe Casula¹, Arianna Pesci¹ e Enzo Boschi^{2,3}

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

³Università degli Studi di Bologna (Dipartimento di Fisica, Settore Geofisica)

Soluzioni indipendenti di reti GPS effettuate con vari programmi scientifici: l'importanza della divulgazione delle informazioni

Nel presente lavoro vengono descritte le potenzialità del compensatore GLOBK di proprietà del MIT nella combinazione e stabilizzazione di soluzioni derivanti da differenti standard di analisi dato di varie reti GPS. Le grandi prestazioni garantite da questo metodo di compensazione permettono di ottenere risultati di alta qualità e precisione pur disponendo di una potenza di calcolo limitata, caratteristica dei PC di nuova generazione e medio-basso profilo. Nel lavoro sono descritti i risultati delle compensazioni in termini di campi di velocità globali/regionali e serie temporali. Inoltre tutte le caratteristiche delle soluzioni finali quali: polo di rotazione, definizione dei sistemi di riferimento, ecc sono facilmente ottenibili.

In this paper the efficiency of the GLOBK (MIT property) software for data adjustment and stabilization is described using the GPS network solutions from different standards for data processing. The high performances provided using the GLOBK allow the achievement of several tasks, even if a simple and economic modern PC is used, characterized by medium-level performances. In this work several results are described and compared relative to velocity maps and coordinate time series. Moreover, several products from solutions (like the rotation poles parameters, reference system definition, etc) are simply obtainable.

Premessa

Uno dei punti chiave per il raggiungimento degli obiettivi scientifici negli ambienti di ricerca è la condivisione delle conoscenze e delle esperienze e la divulgazione dei risultati. Per questo, ogni ricercatore (o tecnologo) è tenuto non solo a pubblicare i propri lavori sulle riviste preposte ma anche a mantenere un corretto equilibrio tra la propria crescita professionale ed il contributo di innovazione portato all'Ente nell'ottica di un progressivo miglioramento generale.

Il presente lavoro si rivolge al personale INGV esperto o mediamente esperto nell'analisi dati GPS e che abbia conoscenza e dimestichezza con le strategie di calcolo e di trattamento del dato che vengono abitualmente utilizzate. Sono fornite utili informazioni e conoscenze in merito alle procedure di compensazione dei dati, o meglio delle soluzioni, mediante il software Globk per estendere la competenza specifica a tutti i ricercatori e ottimizzare le risorse dell'INGV, senza rinunciare alla possibilità di ottenere risultati di grande impatto ed interesse scientifico nell'ambito dello studio e del monitoraggio geofisico e geodetico del territorio.

Introduzione

Il GPS (Global Positioning System) è un sistema di posizionamento creato negli anni '80 dal DMA (Defence Mapping Agency) degli Stati Uniti d'America per scopi militari, con la prerogativa di individuare e calcolare con precisione le coordinate degli obiettivi di interesse e con rilevante importanza strategica. Il sistema permette infatti di calcolare le coordinate precise di un oggetto, sia esso fermo o in movimento, mediante il semplice utilizzo di un ricevitore e di una antenna satellitare in grado di ricevere i segnali trasmessi da una costellazione di satelliti in movimento attorno al globo su orbite note. L'analisi del segnale, semplificando al massimo il concetto, permette di calcolare le distanze antenna-satelliti e di operare una sorta di intersezione spaziale.

Nonostante la natura militare del GPS, ad oggi il sistema è estremamente diffuso ed utilizzato sia per i posizionamenti ad alta precisione, generalmente richiesti nell'ambito degli studi scientifici per il monitoraggio geodetico, che per lavori ed usi civili. Un applicazione è, ad esempio, quella del volo strumentale di navi e aeromobili in condizioni di scarsa visibilità.

Nell'ultimo decennio, vi è stato un notevole sviluppo ed incremento di stazioni permanenti di monitoraggio GPS, distribuite in tutto il globo ma in particolar modo nella parte occidentale del nostro continente (Europa) dove la densità di suddette stazioni è più elevata che in altre parti del mondo, eccezion fatta ovviamente per l'America del Nord dove la densità è comparabile o addirittura, in alcuni casi, superiore. Il GPS ha subito notevoli miglioramenti tecnologici quali l'aumento del numero di satelliti ed il perfezionamento dei satelliti stessi con il lancio recente dei satelliti del blocco II-F, dotati di tecnologie spaziali di avanguardia, l'aumento dei canali di ricezione dei ricevitori, il miglioramento delle tecniche di "decriptamento" dei codici incogniti, il calcolo di orbite assolute geocentriche, ecc..

Esistono inoltre diversi centri di analisi del dato GPS, provenienti dalle stazioni appartenenti alle reti globali telemetrate, che utilizzano i tre software scientifici: Gipsy Oasys II (Jet Propulsion Laboratory, National American Spatial Agency), il Bernese 5.0 (Astronomical Institute of the University of Berne), e Gamit/Globk 10.4 (Massachusetts Institute of Technology). Tali centri, oltre a rendere disponibile il dato grezzo (in formato RINEX, Receiver Independent Exchange Format) le informazioni sulla strumentazione utilizzata e la variazione della stessa nel tempo (*metadati*), rendono disponibili anche prodotti di servizio importanti quali: orbite precise, orbite trasmesse e coordinate aggiornate nei sistemi di riferimento globali. Nello specifico, per esempio, si fa riferimento ai sistemi: ITRF (International Terrestrial Reference Frame), IGS (International Gns Service of geodynamics) e anche ETRF (European Terrestrial Reference Frame). Inoltre, fra i prodotti forniti, si hanno le soluzioni a vincoli blandi (*loose-constrain*) del dato GPS in formato di interscambio indipendente dal software (SINEX, Solution Software/technique INdependent EXchange Format).

In questo lavoro si analizzano i risultati ottenuti dalla compensazione e stabilizzazione di soluzioni eterogenee ottenute con i tre predetti standard scientifici da differenti centri di analisi del dato GPS. In particolare: EUREF (European Reference Frame Permanent Network, <http://www.epncb.oma.be>), INGV CNT "gruppo Bernese" (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti, <ftp://gpsgiving.gm.ingv.it>), ASI (Agenzia Spaziale Italiana, <ftp://geodaf.mt.asi.it>), MIT (<ftp://everest.mit.edu>). Benché per la compensazione ed il confronto fra le soluzioni si sia scelto di utilizzare il software Globk 5.19 (Global Kalman Filter) di proprietà del MIT [Herring et al. 2010b], l'enfasi si pone in particolar modo sulle soluzioni (o *quasi-osservazioni*) ottenute con i due standard differenti (Gipsy e Bernese). L'oggetto del contendere, infatti, è proprio il carattere di indipendenza delle soluzioni dal software utilizzato. Inoltre è facile dimostrare, al contrario di quanto si pensi per luogo comune, che le soluzioni messe cortesemente in linea dal gruppo di analisti del CNT di Roma e provenienti dalle ana-

lisi dati Bernese sono meno rumorose di quelle generate mediante il software Gamit 10.4.

Si vuole poi enfatizzare l'importanza della divulgazione, oltre che del dato GPS grezzo e al *metadato*, anche delle soluzioni e di altri prodotti come: coordinate, modellistica dei parametri atmosferici e orbitali, velocità, ecc. Infatti, essendo prodotti ottenuti con notevole impiego di risorse di calcolo e di tempo di lavoro, e alla luce della loro reale flessibilità, andrebbero in ogni caso divulgate.

1. Il Software Globk

Fra i vari software di compensazione disponibili vi è il Globk (GLOBAL Kalman filter) scritto dal Prof. Tomas Herring del Department of Atmospheric Sciences del MIT [Herring et al., 2010]. Il software è estremamente flessibile, potente e, al contrario di quanto la maggior parte dell'utenza media creda, è ben manualizzato. Inoltre, ad un livello elevato di esperienza, quale quello raggiungibile da un analista che abbia seguito almeno un corso *medio-avanzato*) consente l'effettuazione di operazioni di calcolo che difficilmente altri open-source sono in grado di effettuare. È importante sottolineare che nel 2006 l'INGV ha organizzato e sovvenzionato un corso specifico di utilizzo del software Gamit/Globk presso la sede di Grottaminarda (sede distaccata CNT).

Al compendio del predetto software esistono dei programmi interattivi per MATLAB (*tview*, *velview*) [Herring, 2003] in grado di *editare* interattivamente le serie temporali GPS e le relative velocità per stimare in maniera consistente *outlier* ed *offset*. I primi, sono in sostanza dei picchi che deviano dal regolare andamento delle serie temporali; i secondi sono invece generalmente imputabili a cambi di strumentazione e, in taluni casi, a effetti locali di instabilità del monumento su cui viene installata l'antenna geodetica. Queste operazioni premettono di ottenere risultati consistenti con quelli di altri software scientifici largamente diffusi ed utilizzati, come per esempio CATS [Williams, 2008]. Infine il software è dotato di una serie di procedure automatiche scritte in linguaggio procedurale della *Courne Shell* di Unix che utilizzano la libreria grafica GMT (Generic Mapping Tools) [Wessell&Smith, 1998], atte alla visualizzazione del dato ed alla preparazione di grafici.

È importante notare che il Globk è un software sviluppato essenzialmente in linguaggio FORTRAN che utilizza il filtro di Kalman per la combinazione di soluzioni (*quasi-osservazioni*) provenienti da differenti tecniche geodetiche, quali GPS, VLBI (Very Long Baseline Interferometry), ed anche SLR (Satellite Laser Ranging) e altre osservazioni terrestri.

Il predetto software accetta come input delle soluzioni *quasi-osservazioni* a vincoli blandi (*loose-constrain*) come stime e matrici di varianza e covarianza di coordinate di sta-

zione, parametri di rotazione terrestre, parametri orbitali, modelli iono-troposferici, ecc..

Globk è stato ingegnerizzato al fine di combinare e compensare non solo le soluzioni *loose-constrain* del Gamit [Herring et al., 2010a], ma anche le *quasi-osservazioni* provenienti da altri standard come Gipsy e Bernese [Dong et al., 1998; Casula et al., 2009; Herring et al., 2010b].

Nella fase iniziale del processing, l'analista ha a disposizione un set di *quasi-osservazioni* provenienti dalle tecniche geodetiche precedentemente elencate o da tecniche terrestri quali misure di angoli, distanze e di dislivelli, ecc.. La procedura operativa consiste nel convertire e combinare le *quasi-osservazioni* ottenute dal proprio specifico processamento del dato, con quelle provenienti da altri centri di analisi per raggiungere i seguenti risultati: calcolo delle serie temporali, stima degli *offset* e *outlier*, definizione del sistema di riferimento, stima della velocità, calcolo del polo di rotazione, ecc..

È possibile, nell'ambito della conversione di formato del dato effettuata mediante l'applicativo *htoglb*, sia convertire le soluzioni in formato SINEX, sia convertire i SINEX ottenuti con altri standard (es: le equazioni normali del Bernese o le soluzioni STACOV di Gipsy) in formato di input di Globk e di uscita di Gamit (*h-files*). Inoltre è possibile svincolare le soluzioni ottenute con altri standard sia per le orbite, sia per i parametri di orientazione terrestre, sia dai vincoli sulle coordinate, ad esempio ridefinendo i vincoli stessi. Infine, si può operare una riconversione in formato SINEX delle soluzioni *h-files*.

Per esempio, il risultato della compensazione e stabilizzazione degli *h-file* ottenuti dai SINEX delle soluzioni Bernese, prodotte dal CNT e da EUREF (in questo caso si parla di soluzioni settimanali), fornisce le informazioni necessarie per una stima corretta della deformazione crostale per lo studio della tettonica (vedi in seguito). Inoltre, in molti casi è possibile verificare (vedi in seguito) che le soluzioni Bernese risultano meno rumorose di quelle ottenute mediante il software Gamit.

Per concludere, come suggerito da Altamimi et al., 2010, ed in generale dagli standard procedurali dell'EUREF [Bruyninx, 2004; Kenyeres, A. and C. Bruyninx, 2004], è consigliabile combinare le soluzioni giornaliere in soluzioni settimanali, al fine di ottenere risultati affetti da minor rumore ad alta frequenza e facilmente gestibili anche con una potenza di calcolo limitata. Le procedure di elaborazione del dato GPS inerenti ai vari centri di calcolo prevedono infatti una continua rielaborazione del dato al fine di tenere le soluzioni aggiornate per le variazioni della modellistica relative a centri di fase delle antenne (PCV), orbite, parametri di orientazione terrestre, effetti di ionosfera e troposfera, effetti mareali e di carico oceanico e variazione dei sistemi di riferimento, come quello recentemente pubblicato [ITRF2008, Altamimi et al., 2011].

2. Breve descrizione dei tre standard di analisi del dato GPS

2.1 Bernese

Il Bernese è un pacchetto software FORTRAN atto all'analisi del dato GPS di reti permanenti, anche di grandi dimensioni, di proprietà dell'AIUB. Il predetto pacchetto rappresenta lo standard di gran lunga più potente e flessibile per l'analisi del dato GPS ed è anche il più utilizzato dalla comunità scientifica geodetica Europea (vedi EUREF). Il Bernese si basa su un approccio tradizionale alle doppie differenze. In particolar modo degna di nota è la recente versione 5.0 del programma [Datch et al., 2007] e la suite procedurale chiamata BPE (Bernese Processing Engine) atta all'automatizzazione del processamento del dato e alla sua distribuzione anche su cluster di CPU. L'analisi si sviluppa a partire dai dati grezzi in formato RINEX di interscambio indipendente dall'hardware per produrre e archiviare soluzioni giornaliere in formato SINEX così come le *equazioni normali* che ne derivano NEQs (Normal EQUations) [Capra et al., 2008; Devoti et al. 2008]. A differenza di quanto effettuato da altri centri di analisi quelli basati sul software Bernese utilizzano preferibilmente le orbite precise IGS ed i medesimi parametri di orientazione terrestre (ERP). Al fine di ottenere il ritardo troposferico zenitale totale, vengono calcolati dei valori a-priori a partire da un modello di atmosfera standard [Berg, 1948] mediante la componente *secca* della *Niell Mapping Function*, [Niell, 1996]; si calcolano poi ad intervalli orari i parametri correttivi troposferici lineari e continui utilizzando anche la parte umida della predetta funzione. La rifrazione ionosferica viene generalmente eliminata mediante operazioni di data processing, in cascata su diverse combinazioni lineari delle fasi L1 ed L2; viene calcolata una correzione preponderante via via raffinata stimando il parametro ionosferico durante il processamento. Per la correzione dei centri di fase delle antenne si utilizzano i valori dei Phase Center Variations (PCV) forniti dall'IGS [Menge et al., 1998] così come valori specifici per i vari satelliti dei differenti blocchi II/IIA, IIR ed infine IIF [Schmid & Rothacher, 2003]. La risoluzione delle ambiguità di tutte le linee di base create con il grado corretto di correlazione, cioè $n-1$ su una rete di n punti, viene effettuata con la strategia Quasi-Iono Free (QIF) [Mervart, 1995] utilizzando come informazioni *a-priori* i modelli Global Ionosphere Models (GIMs) forniti dal Center for Orbit Determination in Europe (CODE).

Il *datum* geodetico viene infine determinato con la condizione NNR (No Network Rotation) attraverso un approccio a minimi vincoli (*loose-constraints*) simile a quello utilizzato dagli analisti Gamit, fissando le stazioni IGS che hanno le migliori coordinate *a-priori* IGS05, in maniera da roto-traslare le soluzioni nel predetto sistema di riferimento. A differenza di quanto viene indicato da alcuni analisti nei seminari interni (<http://intranet.bo.ingv.it/blogs/seminari>) dell'INGV

[Serpelloni et al., 2009], le soluzioni risultanti, convertite in SINEX, sono totalmente compatibili per il *post-processing* con il software Globk 5.19, di cui si è parlato in precedenza.

Infine, bisogna enfatizzare il fatto che il rumore delle risultanti serie temporali e la continuità del campo di velocità sono indicatori della bontà di codeste soluzioni.

2.2 Gipsy

Il software Gipsy Gipsy/Oasis II (versione 5.0) è un pacchetto software non *open-source* implementato JPL della NASA basato sulla strategia di analisi detta Precise Point Positioning (PPP) [Zumberge et al., 1997]. Esso consente il processamento di osservabili GPS come codici e fasi indifferenziati acquisiti anche da un singolo ricevitore. Il Gipsy può essere eseguito in ambiente Unix Linux RedHat utilizzando orbite precise e *clock* degli orologi dei satelliti forniti dal JPL o dall'IGS. La strategia PPP ha il vantaggio dell'utilizzabilità di un solo ricevitore come *stand-alone*, infatti la differenziazione degli osservabili GPS viene effettuata dagli altri standard (Gamit, Bernese) al fine di eliminare le correzioni degli orologi e delle ambiguità, mentre nell'approccio PPP ambiguità e *clock bias* vengono considerati come incognite e vengono stimati con appropriati modelli statistici basati su filtri sequenziali come lo Square Root Information Filter (SRIF) [Blewitt, 1993]. Tale filtro non è altro se non un filtro di Kalman modificato sviluppato al JPL da Gerald Bierman. Il predetto filtro tiene conto anche degli effetti dovuti al rumore di random walk non correttamente modellato. Ad esempio, un modello di rumore tipo *random walk* viene utilizzato per la stima della parte umida della correzione troposferica [Zumberge et al., 1998; Kouba, 2000]. Premesso che in letteratura appare pienamente dimostrato che il processamento del dato GPS con la strategia PPP raggiunge una precisione pari o superiore alle altre strategie di analisi, basate sulla differenziazione delle fasi [Davidson et al., 1985; Beutler et al., 1986; Gouldman et al., 1986; Parrot et al., 1986], in genere la soluzione giornaliera di rete viene prodotta mediante orbite JPL *non fiduciali* salvo poi ottenere la stabilizzazione della soluzione nel sistema di riferimento ITRF2005 utilizzando trasformazioni di similarità tramite parametri forniti dal JPL insieme alle orbite [Capra et al., 2008].

Infine, tutte le soluzioni giornaliere vengono combinate usando ad esempio l'applicativo STAMRG del Gipsy che utilizza le serie temporali delle stazioni con la matrice di varianza e covarianza completa. I risultati vengono infine raffinati utilizzando una strategia di *data snooping* con una tolleranza di 3- σ . Il software è in grado di inserire le correzioni per le variazioni di fase delle antenne PCV indicate dall'IGS.

Un esempio qualitativamente accettabile di soluzioni ottenute con il software Gipsy Oasis II (versione 5.0) sono i file SINEX giornalieri scaricabili dal sito dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) e relativi al processamento di routine che l'ASI effettua per conto di EUREF della propria rete permanente

GPS (<ftp://geodaf.mt.asi.it>).

È possibile quindi, con l'ausilio di Globk, sia stabilizzare e processare il dato SINEX giornaliero di ASI sia utilizzare i SINEX settimanali di EUREF ottenuti dalla combinazione robusta di tutti i cluster calcolati dai vari centri consorziati nella rete EUREF. Infine, un'opzione dell'applicativo HTOGLB di Globk 5.19 consente di generare file SINEX a partire dalle soluzioni STACOV di Gipsy.

2.3 Gamit

Il Gamit (acronimo di Gps At MIT) è un software FORTAN di proprietà del MIT [Herring et al., 2010a] basato sui minimi quadrati e sulla strategia a *sessioni distribuite* che consente il processamento di reti GPS di grandi dimensioni a partire dalla combinazione di soluzioni di sottoreti in cui le predette reti possono venire suddivise, purché ciascuna sottorete contenga almeno 2-3 (o più) stazioni fiduciali in comune e purché si utilizzino orbite post calcolate compatibili (è consigliabile utilizzare le orbite IGS) [Dong et al., 1998; Williams et al., 2004; Casula et al., 2009]. Come Globk, il software Gamit risulta automatizzato in tutte le sue parti ed operazioni poiché sono stati creati dagli autori degli script della Cshell dello Unix in grado di automatizzare sia le operazioni di processing sia le operazioni di aggiornamento: sia dei metadati, sia dei parametri di orientazione terrestre che dei dati RINEX.

Data la flessibilità di questo standard e in seguito alla combinazione delle soluzioni con frequenza settimanale non è necessario l'utilizzo di cluster di CPU assai dispendiosi dal punto di vista economico, è anzi sufficiente un operatore mediamente esperto e dotato di un PC di ultima generazione per effettuare il processamento di reti di grandi dimensioni, contenenti svariate centinaia di stazioni. Ad esempio, un PC con CPU Intel I5-760 dotato di un Tera Byte di spazio disco (HD Sata64) e con 4Gb di RAM PC1600, se correttamente configurato, è in grado di processare una sessione giornaliera di una sottorete di 35 stazioni GPS permanenti in poco più di 10 minuti. Inoltre l'architettura del predetto processore è tale per cui nello stesso tempo in cui si processa un cluster di 35 stazioni è possibile processarne in parallelo quattro. Infatti, se si fa riferimento alle soluzioni degli autori, si nota che circa 190 stazioni permanenti con frequenza di acquisizione di 30 sec. vengono archiviate, processate e compensate in una mattina di lavoro. Gli unici accorgimenti necessari sono di porre attenzione alla modellistica dei vari *bias* che è in continua evoluzione.

3. Strutture di calcolo e alternative

Si premette che numerosi centri di calcolo internazionalmente noti come SOPAC, MIT, JPL [Mechling et al., 2005], realizzati per l'analisi di reti di grandi dimensioni, sono strutturati come sistemi computer-cluster. SOPAC/CSRC, per

esempio, lavora con 24 processori Intel e AMD. La caratteristica più rilevante, nel contesto dell'ottimizzazione delle risorse, risiede nella capacità dei predetti centri di elaborazione di rendere disponibili alla comunità scientifica mondiale tutti i frutti ed i risultati che da tale analisi derivano. Nei casi elencati, infatti, la politica dell'analisi dati è concepita come lavoro di una unica grande unità centrale di processing.

Una struttura alternativa per il calcolo di reti di grandi dimensioni consiste nella suddivisione di una rete di grandi dimensioni in sottoreti di dimensioni di alcune decine di stazioni permanenti. Queste sottoreti vengono gestite da diversi centri di calcolo che adottano le stesse procedure e che forniscono obbligatoriamente e in tempi stabiliti ad un organismo centrale le soluzioni in formato di interscambio indipendente dal software (SINEX). Il Centro di analisi e di disseminazione dati e prodotti GPS della rete Europea EUREF è un esempio di efficienza e abilità di disseminazione di tutte quelle informazioni utili all'utente che vanno, per tutte le circa 260 stazioni della rete, dal dato e *metadato* grezzo in formato RINEX, fino alle coordinate nei sistemi di riferimento ITRF, IGS e ETRF [Figurski et al., 2009]. Per questo motivo, si ritiene interessante riproporne qui, brevemente, la descrizione essendo degno di nota nell'ambito del "progetto" rete EUREF la capacità di ottenere e di disseminare prodotti finali come quelli sopra esposti con il minimo sforzo per i centri di calcolo che vi sono consorziati. In particolare: il sistema di riferimento ETRS (European Terrestrial Reference System) viene mantenuto grazie alla creazione di una rete Europea di stazioni permanenti GPS, nota come: Euref Permanent Network (EPN) [Bruyninx, 2004; Kenyeres, A. and C. Bruyninx, 2004; Figurski et al., 2009].

La rete EPN è parte integrante della rete globale dell'IGS (International Global navigation satellite system Service for geodynamics) ed è costituita da stazioni GPS distribuite in tutto il continente europeo, la struttura di codesto organigramma appare così costituita:

Siti Stazioni GPS Stazioni permanenti GNSS con relativi ricevitori e monumenti geodetici.

Centri Operativi Questi centri effettuano la validazione del dato GPS, la conversione in formato RINEX, la compressione, e l'invio tramite la rete internet ad un centro dati; in alcuni casi i centri operativi coincidono con i siti delle stazioni GPS.

Centri Dati Locali Questi centri ricevono il dato di tutte le stazioni della rete locale e li ridistribuiscono agli utenti locali e della EPN.

Local Analysis Centres (LAC) Questi centri provvedono a processare i dati delle sottoreti (cluster) di stazioni GPS in cui la rete EPN viene suddivisa e inviare le soluzioni settimanali ai Centri preposti alla Combinazione; il processing viene effettuato seguendo scrupolosamente delle linee guida comuni. Per evitare errori le sottoreti vengono disegnate in maniera tale che ciascuna stazione venga

analizzata da almeno 3 centri di analisi locale. Le soluzioni dei Centri di Analisi Locale vengono rese disponibili alla comunità scientifica in formato SINEX.

Centri di Combinazione Questi centri sono incaricati di combinare le soluzioni individuali delle sottoreti in una soluzione ufficiale della rete EPN che includa tutte le stazioni permanenti GNSS. Queste soluzioni combinate vengono inviate all'IGS dove vengono integrate con quelle della rete GNSS globale. Una volta all'anno una soluzione EUREF pluriennale viene inviata allo IERS (International Earth Rotation Service) con il risultato che le stazioni EUREF divengono le stazioni ITRS primarie.

Ufficio Centrale Questo ufficio coordina le attività della rete delle stazioni permanenti, dei centri dati locali e dei centri di analisi del dato. Inoltre, distribuisce le varie linee guida e gli standard da seguire, si occupa della creazione dei *log file* delle stazioni e segnala alla comunità scientifica dell'EUREF eventuali anomalie di funzionamento delle stazioni indicando quando queste falliscono oppure si verifica un comportamento irregolare nella variazione temporale delle coordinate di stazione.

La struttura organizzativa della rete EUREF è schematizzata in Figura 1.

Il portale web dell'EUREF è raggiungibile all'indirizzo (<http://www.epncb.oma.be>) dove si possono reperire, oltre a tutte le informazioni sulla strumentazione utilizzata dalle stazioni della rete EPN, anche i dati RINEX compressi e una serie di prodotti come le coordinate compensate nei sistemi di riferimento ITRF2005 e 2008, IGS ed ETRF2000. È possibile inoltre scaricare tutte le soluzioni settimanali combinate per un riutilizzo con altri software di compensazione, inoltre vengono fornite le velocità delle stazioni stesse.

Applicare tale strategia organizzativa presso l'INGV, suddividendo il processing della rete RING (e delle reti in convenzione) tra le varie sezioni con l'obbligo di adottare gli stessi parametri di analisi e di mettere in linea le soluzioni SINEX, potrebbe essere un'ipotesi da tenere in considerazione nell'ottica di ottimizzare le risorse.

L'attuale mancanza di una regolamentazione sulla politica di diffusione interna ed esterna dei dati e dei prodotti derivanti, oltre a frenare gli avanzamenti della ricerca (e di conseguenza lo sviluppo dell'Ente) tende ad incentivare la nascita di importanti (e costosi) [Serpelloni et al., 2009] sistemi di analisi dati a computer-cluster nelle diverse sedi di lavoro dislocate sul territorio, in contrasto con il progetto della rete RING, a carattere sostanzialmente centralizzato.

4. Procedura di Compensazione e Stabilizzazione delle soluzioni SINEX

Si premette che a seguito dei diversi test effettuati con il software Globk 5.19 si è deciso di adottare i file di comandi del

Globk e del Global Origin (Glogr) già in utilizzo da parte degli autori per la compensazione e la stabilizzazione delle soluzioni effettuate dagli scriventi con il software Gamit 10.40.

Infatti, contrariamente a quanto si potesse pensare e a quanto indicato da altri autori in alcuni lavori scientifici [Serpelloni et al., 2009], il livello di rumore bianco e colorato delle soluzioni *h-files* ottenute dai SINEX del CNT risulta del tutto comparabile o in alcuni casi addirittura inferiore a quello caratteristico delle soluzioni proprietarie dello standard Gamit. Quindi, seguendo la classica procedura a *step* successivi indicata per esteso ad esempio in [Casula et al., 2009], con la differenza di effettuare *a-priori* una conversione di formato SINEX in formato *h-files* mediante il software HTOGLB del pacchetto Globk seguendo le specifiche *standard* della manualistica ma anche quelle indicate dal Dott. Robert King nel corso organizzato dall'INGV a Grottaminarda nel 2006.

In particolare, sono stati effettuati diversi test utilizzando il software di compensazione Globk 5.19, parte integrante del pacchetto di analisi Gamit 10.4, di cui si è parlato in precedenza. E a partire dalle soluzioni in formato SINEX è stata implementata una procedura automatica atta a fornire in tempo reale (alcuni minuti) soluzioni in formato *h-file* di input del programma Globk. Ciò è stato fatto inserendo dei *flag* per pesare (dal punto di vista statistico) le soluzioni in base al loro grado di rumorosità, e lavorando sui parametri di "riscaldamento" dei termini diagonali della matrice di varianza e covarianza. È opportuno mettere in evidenza che sia le soluzioni settimanali dell'EUREF sia i SINEX giornalieri forniti dal CNT di Roma e contenenti tutte le stazioni delle reti RING [Devoti et al., 2008, Avallone et al., 2010], ASI, EUREF, ASSOGEO, ecc., costituiscono soluzioni auto consistenti qualitativamente equivalenti o anche migliori dei global *h-file* forniti dal SOPAC (<ftp://garner.ucsd.edu>) o dal MIT (<ftp://everest.mit.edu>). All'interno di tali soluzioni, infatti, vengono inserite molte stazioni fiduciali appartenenti all'IGS Core, cioè a quel set di stazioni globali atte alla stabilizzazione delle soluzioni all'interno del sistema di riferimento IGS05.

Sono state inoltre calcolate le serie temporali di tutte le stazioni GPS utilizzate nel sistema IGS05 al fine di valutare il tasso di rumore correlato e non [Casula et al., 2009] che affligge le soluzioni stesse. Il risultato è incoraggiante e viene mostrato a seguire.

Di notevole interesse è la modalità di creazione di soluzioni settimanali atte sia a ridurre il rumore delle soluzioni stesse, sia a ridurre il tempo macchina necessario per la compensa-

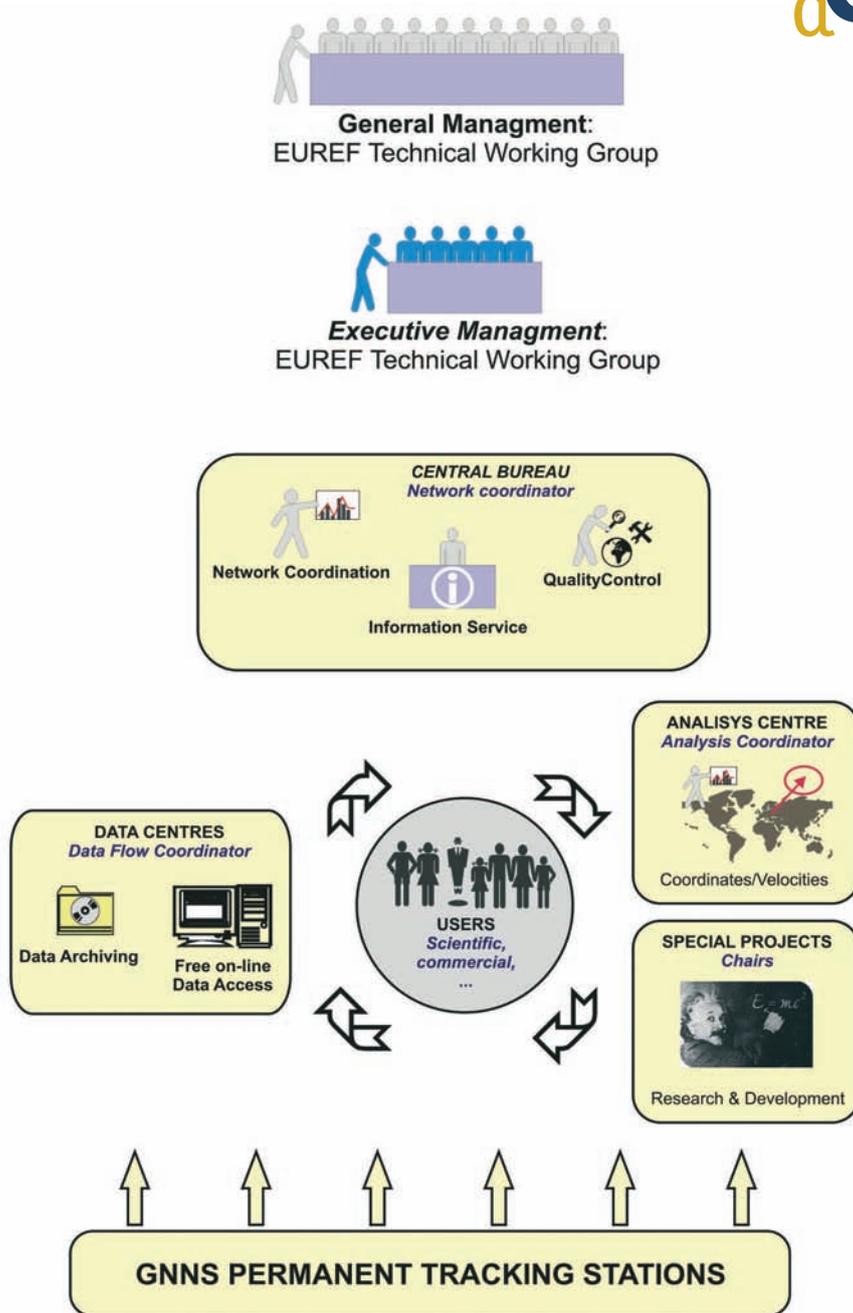


Figura 1 Struttura organizzativa della rete EUREF.
Figure 1 EUREF network and data analysis centres organization.

zione delle soluzioni: per compensare 5 anni di dati della rete EUREF con un personal computer di medio-bassa potenza sono necessari circa 10 minuti.

5. Soluzioni EPN settimanali

Una piccola riflessione sulla struttura dell'EUREF ci porta a considerazioni critiche, previa una premessa:

- (i) Sia il portale, sia l'organizzazione di EUREF sono degni di nota poiché come già espresso in precedenza vi è un

grande impegno di mezzi finalizzati alla diffusione ed alla disseminazione di tutte quelle informazioni necessarie all'utenza quali: i dati grezzi RINEX e *metadati*, i *log file* delle stazioni, le linee guida per il processing e la compensazione di reti, i SINEX delle soluzioni di tutti i centri che contribuiscono alla struttura utile per l'analisi del dato.

- (ii) A fronte di regole maggiormente restrittive per gli analisti coinvolti, dettate attraverso documenti, gruppi di lavoro, ma anche convegni e seminari (es. EUREF2009, Firenze), si ha un minimo impegno sia economico, che di

tempo macchina ed impiego di personale, poiché ciascun centro provvede ad effettuare soluzioni giornaliere di un cluster di circa 50 stazioni permanenti. Tale obiettivo è raggiungibile in pochi minuti di lavoro anche utilizzando potenze di calcolo che al giorno d'oggi si acquisiscono con poche centinaia di euro; la qualità della soluzione è molto elevata grazie alla validazione ed alla combinazione delle soluzioni dei vari centri di analisi, mentre a fronte delle poche risorse impiegate sono disponibili con il minimo sforzo soluzioni della rete che annoverano oltre 260 stazioni permanenti GPS.

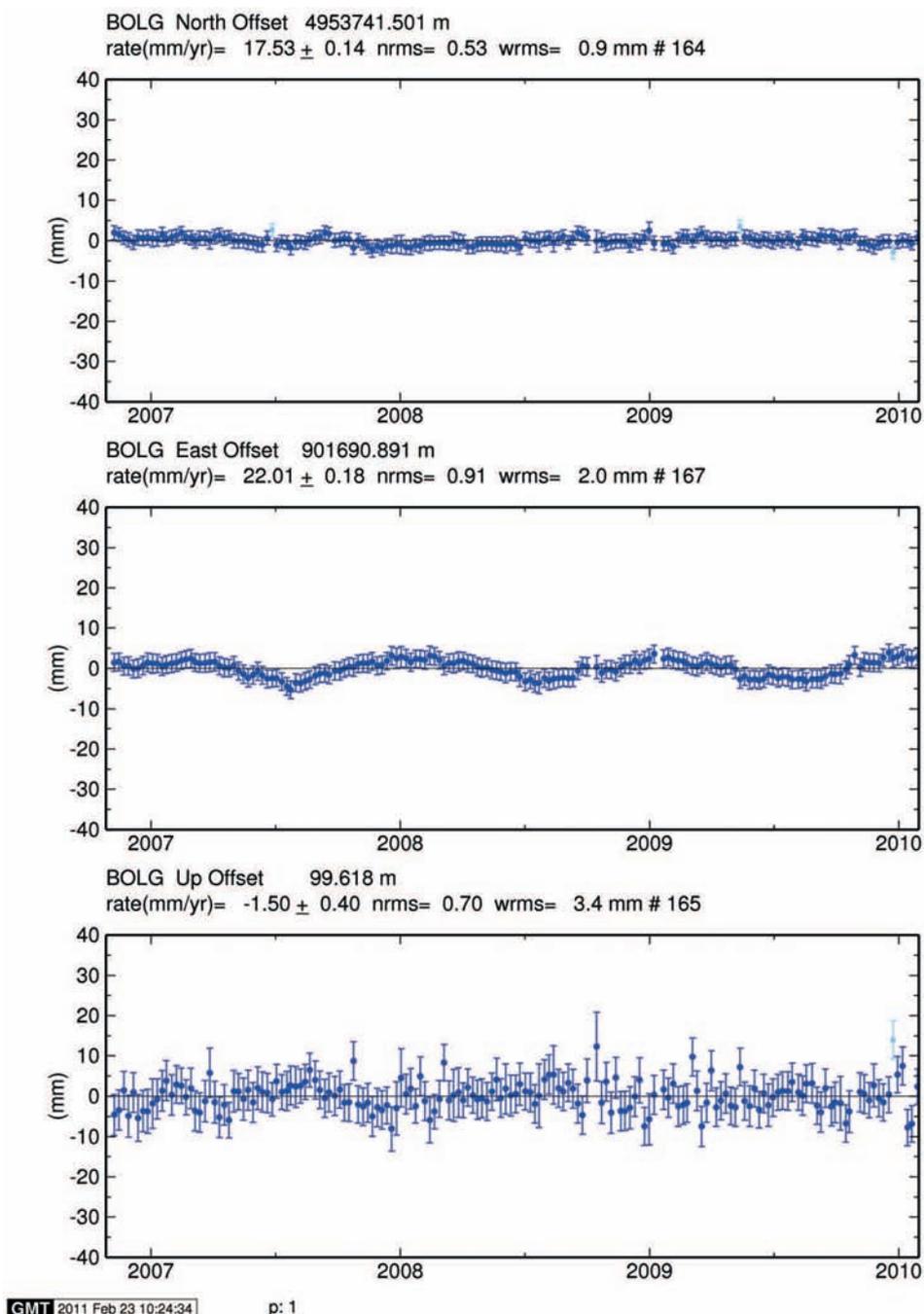


Figura 2 Serie Temporale della stazione GPS EUREF BOLG calcolata dalla compensazione delle soluzioni EPN SINEX settimanali.

Figure 2 BOLG (EUREF) GPS permanent station time series computed from the adjustment of the EPN combined weekly SINEX files.

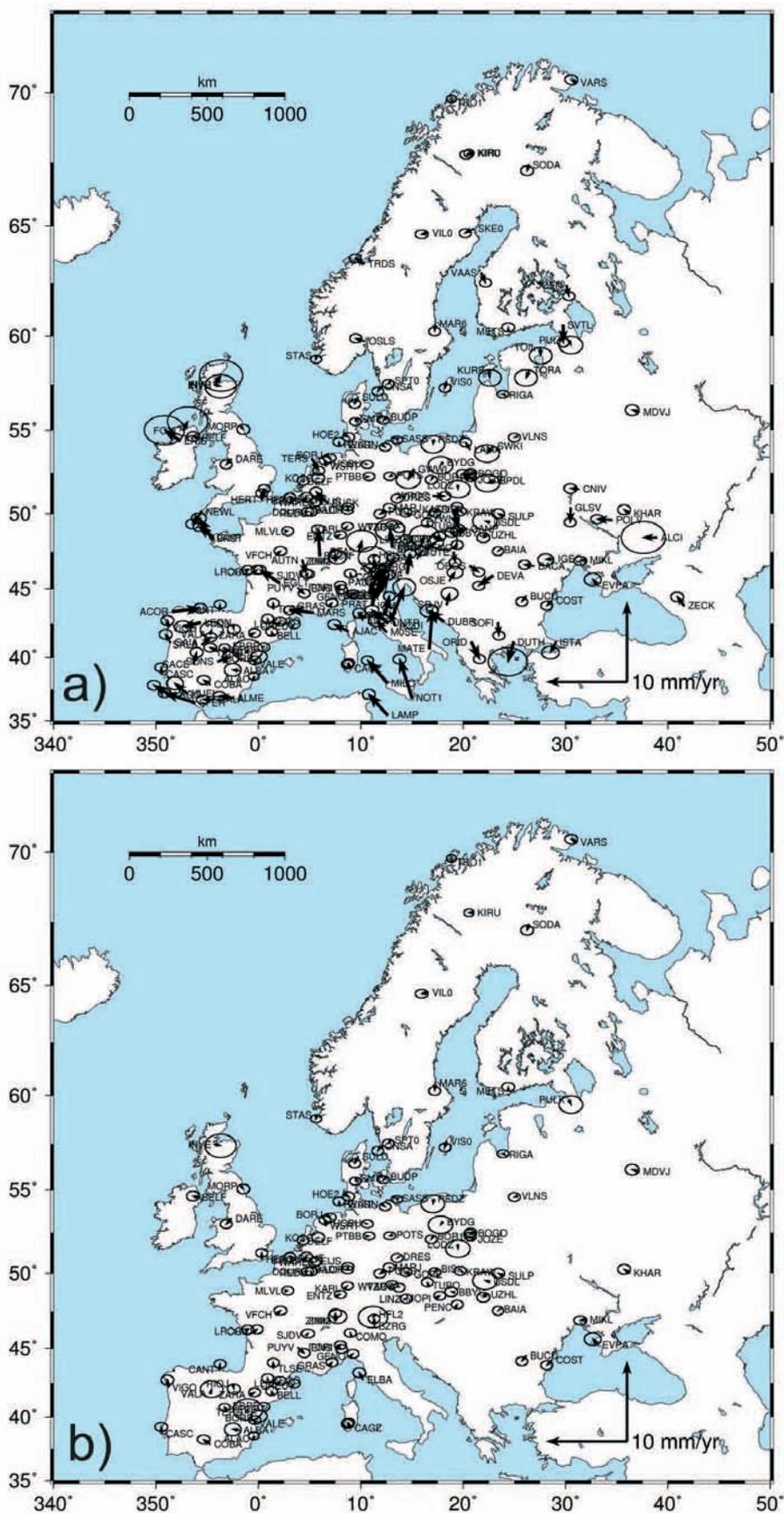


Figura 3 a) Le velocità residue intra-placca ottenute dalla stabilizzazione con il software Globk 5.19 delle soluzioni SINEX settimanali della rete EPN; b) le stazioni con velocità residue inferiori al mm/y.

Figure 3 a) Residual intra-plate velocities obtained by the stabilization of SINEX weekly EPN combined solutions, by means of Globk 5.19; b) velocities lower than 1 mm/y.

- (iii) Vengono forniti prodotti finali alla comunità scientifica internazionale e contributi alle rete globale IGS.
- (iv) La gestione strumentale della rete, infine, deriva dal consorzio di tutti quegli istituti scientifici, come ad esempio l'ASI e l'Università di Padova, che si fanno carico di mantenere e gestire una o più stazioni permanenti secondo gli standard della rete EUREF e quindi anche in questo caso si ottiene il massimo risultato con il minimo esborso di risorse.

A seguito di queste brevi considerazioni, analizziamo la qualità delle soluzioni SINEX EUREF. A tal fine, a seguito dello scarico delle soluzioni stesse dal portale, è stata effettuata la compensazione delle predette soluzioni relative all'intervallo di tempo compreso fra l'Ottobre 2006 e il Gennaio 2011 utilizzando la procedura descritta in precedenza e secondo lo schema fornito dall'EUREF per l'inquadramento nei sistemi di riferimento IREF2005 [Altamimi et al., 2007] o IGS05. Pertanto sono stati utilizzati dei vincoli minimi sulle coordinate e velocità delle stazioni permanenti: BOR1, BRUS, CAGL, GLSV, GRAS, HOFN, JOZE, MATE, METS, NICO, NOT1, NYA1, NYAL, ONSA, POLV, POTS, RABT, RAMO, REYK, SFER, TRAB, TRO1, VILL, WSRT, WTZR, ZIMM (<http://www.epncb.oma.be>).

Dalle conseguenti soluzioni giornaliere sono state calcolate le serie temporali per 255 delle 262 stazioni permanenti dell'EUREF, essendo sette di queste ancora troppo giovani per fornire dei risultati accettabili. Le predette serie temporali sono state utilizzate per definire una statistica che rappresentasse correttamente il *data scattering* e l'errore sul dato di velocità. A tal proposito sono stati utilizzati la teoria di Mao [Mao et al., 1999; Casula et al., 2009] ed il software per l'analisi delle serie temporali create and Analyze Time Series (CATS) di Williams [Williams, 2008] atto anche alla stima degli *offset* delle serie stesse, oltre che il software *tsview* di Tom Herring [Herring, 2003]. A questo proposito bisogna mettere in evidenza che gli *offset* delle stazioni permanenti dell'EUREF sono scaricabili in formato SINEX o ASCII direttamente dal portale dell'EUREF e che un corretto utilizzo delle istruzioni *eqs* del Globk, come indicato nei corsi, consente l'utilizzo dei predetti file appositamente formattati in fase di compensazione con il filtro di Kalman in modalità *sequential adjustment*.

In Figura 2 è mostrato un esempio di serie temporale ottenuto dalle soluzioni settimanali EUREF: in particolare l'andamento della stazione EUREF BOLG installata presso il Dipartimento di Fisica (Settore Geofisica) dell'Università di Bologna e la cui quota è affetta da un segnale di subsidenza, problema comune alla maggior parte delle stazioni permanenti GPS installate in pianura Padana [Baldi et al., 2009].

In Figura 3 viene rappresentato il (a) campo di velocità *intra-placca* (con relativa ellisse di errore) ottenuto utilizzando, in prima approssimazione, il polo Euleriano di rotazione relativo alla definizione dell'ITRF2005 di Altamimi

[Altamimi et al., 2007]. Inoltre sono state isolate (b) le velocità residue inferiori a 1 mm/y, caratteristiche di ben 120 stazioni permanenti su 255 a verifica della bontà della definizione del sistema di riferimento Eurasiatico e della scarsa rumorosità della soluzione.

6. Soluzioni INGV CNT-Bernese Roma

Il Centro Nazionale Terremoti dell'INGV di Roma, in particolare l'Unità Funzionale Geodesia e Reti (responsabile Dott. Devoti), si occupa fattivamente dell'analisi del dato GPS della rete dell'INGV Rete Integrata Nazionale GPS (RING) [Avallone et al. 2010] (<ftp://ring.gm.ingv.it>) oltre che di altre reti GPS gestite da diversi ENTI e strutture come: INGV, ASI, Leica Geosystems S.P.A. Italpos, ASSOGEO, ecc. [Avallone et al., 2010, Devoti et al., 2008]. Le soluzioni, ottenute mediante il software Bernese distribuendo il calcolo su diverse stazioni di lavoro presenti in LAN (Local Area Network) presso il CNT Roma, vengono convertite in SINEX e rese disponibili ai ricercatori dell'Ente sul sito web (<ftp://gpsgiving.gm.ingv.it>). Benché esistano altri centri di analisi che effettuerebbero le soluzioni della rete RING e delle varie reti in convenzione con l'INGV, il solo CNT "gruppo Bernese" fornisce delle soluzioni qualitativamente equivalenti a quelle dell'EUREF o di altri centri di analisi globali.

Tali soluzioni, che vengono definite erroneamente da alcuni ricercatori dell'Ente (<http://intranet.bo.ingv.it/blogs/seminari>) come "non utilizzabili con altri standard di calcolo", in realtà sono perfettamente compatibili e, come andremo a dimostrare, meno rumorose di quelle ottenute con il Gispv 5.0 e con il Gamit 10.4 stesso.

Anche per queste soluzioni è stata effettuata la stabilizzazione con il software Globk 5.19, utilizzando la stessa definizione dell'ITRF2005-IGS05 indicata da EUREF sul portale sopra citato. Il risultato viene mostrato nelle seguenti. In Figura 4 è mostrato il campo di velocità della maggior parte delle oltre 450 stazioni presenti nei SINEX del centro di analisi CNT Bernese nel sistema ITRF (a) ed il campo di velocità intraplacca (b) ottenuto a seguito della eliminazione della rotazione rigida della placca Eurasiatica rispetto a quella Nord Americana utilizzando il polo di rotazione indicato da Altamimi nella determinazione dell'ITRF2005 [Altamimi et al., 2007]. In Figura 5, sono mostrati i vettori di velocità inferiori a 1 mm/y (a) e le velocità verticali.

Mentre le figure 2 e 3 sono state ottenute con script automatici della shell facenti parte del pacchetto Globk 5.19 e in ambiente Linux OpenSUSE 11.3 x86_64, queste ultime (figure 4 e 5) sono state realizzate con l'ausilio del software GMT [Wessel&Smith, 1998] in ambiente Microsoft Windows 7 Pro a 64 bit.

7. Soluzioni Gipsy Oasis II

Benché, come risulta dalle relazioni di attività, esista un gruppo di analisti esperti di Gipsy Oasis II anche al CNT di Roma e Grottaminarda, non è stato possibile ottenere solu-

zioni SINEX provenienti da questo standard se non scaricando dal sito dell'ASI le soluzioni giornaliere del corrispondente Centro Locale di Analisi dell'EUREF a cura del *team* coordinato dalla Dott.ssa Rosa Pacione e dal Dott. Giuseppe Bianco. Anche in questo caso si è effettuata la stabilizzazione

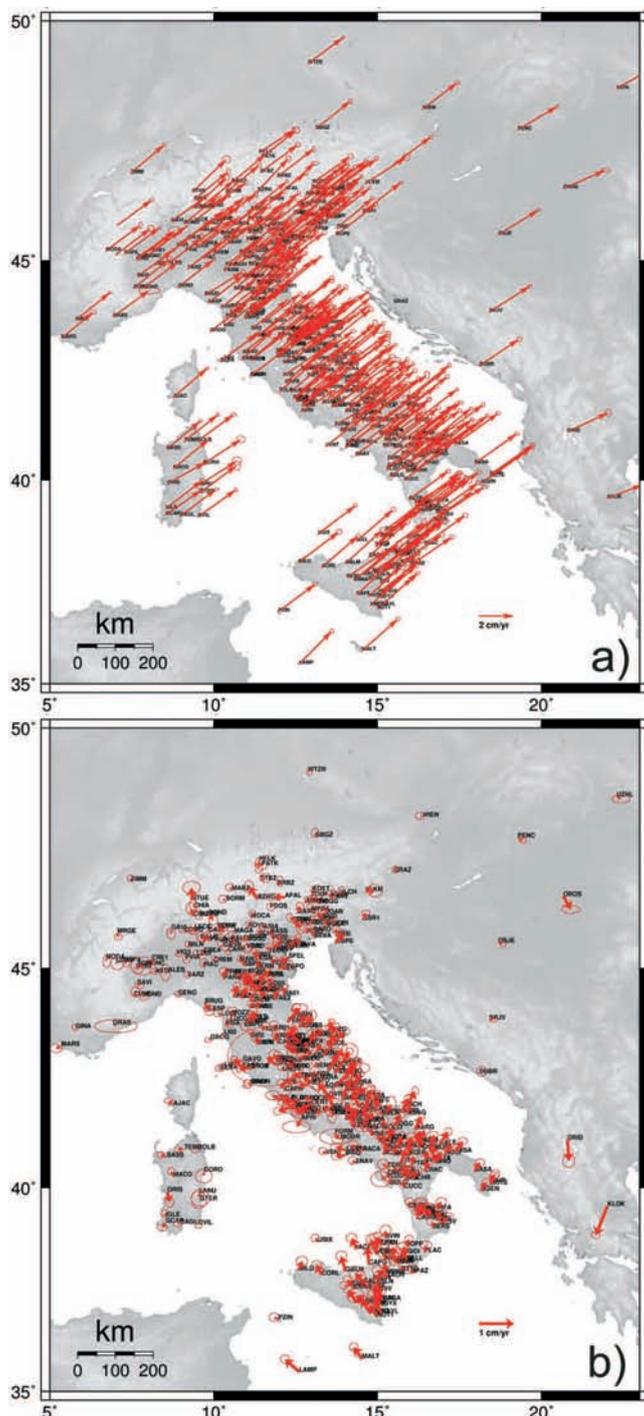


Figura 4 a) Velocità ITRF2005 delle oltre 400 stazioni inserite nelle soluzioni SINEX del gruppo Bernese CNT; b) le velocità residue intra-placca ottenute utilizzando il polo Eurasiatico di Altamimi.

Figure 4 a) ITRF2005 velocities from the analysis of about 400 GPS permanent stations (SINEX files) provided by the CNT (Bernese team); b) intra-plate residual velocity obtained using the Altamimi Euler pole (ITRF2005).

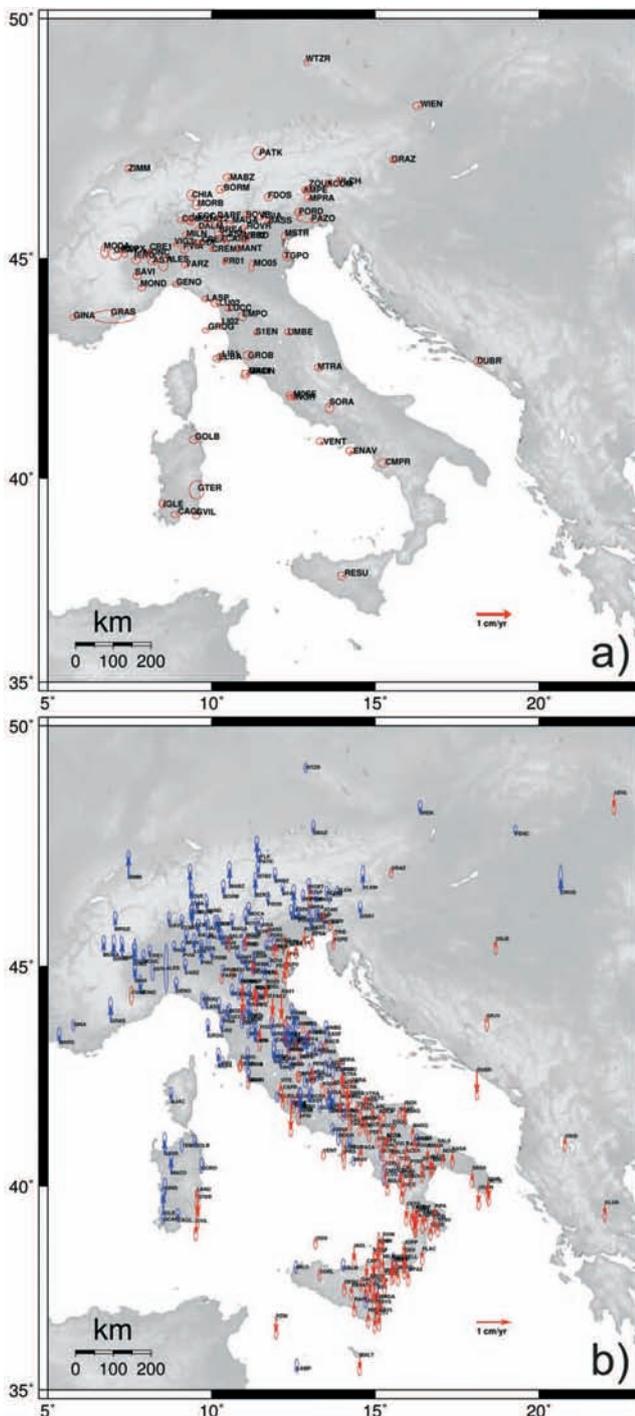


Figura 5 a) Le stazioni delle soluzioni CNT Bernese con velocità residue inferiori al mm/y; b) le velocità verticali delle stazioni permanenti presenti nelle predette soluzioni. Tale soluzione sarà uno dei punti di partenza per l'analisi del fenomeno di subsidenza che interessa la regione Emilia Romagna.

Figure 5 a) CNT (Bernese) velocity solutions lower than 1 mm/y; b) vertical velocities of the GPS stations in figure 4. This preliminary result is currently used to investigate the subsidence phenomena in Emilia Romagna region.

mediante il software Globk 5.19 e nelle modalità descritte in precedenza. Il risultato per i SINEX ottenuti dal processamento del dato con Gipsy, sebbene perfettamente compatibile con l'input del programma Globk, sembra leggermente più rumoroso (vedi i valori del WRMS del fit lineare pesato in figura 6 ed in figura 7), in pratica sembra che, al contrario di quanto espresso sulla tecnica PPP in letteratura, le soluzioni corrispondenti siano affette da un tasso di rumore quasi doppio rispetto a quelle ottenute con gli altri due standard. Tuttavia, per una valutazione più attenta ci si riserva di analizzare le soluzioni dei gruppi di esperti dell'INGV se

saranno rese disponibili.

Come esempio di compensazione si fornisce la serie temporale della stazione BOLG (vedi figura 6).

8. Soluzioni Gamit

Le soluzioni SINEX prodotte per il cluster Ring Free (<ftp://gpsfree.gm.ingv.it>) dal gruppo di analisi Gamit del CNT di Roma-Bologna non sono state in alcun modo reperibili, nonostante la richiesta diretta (in analogia a quanto

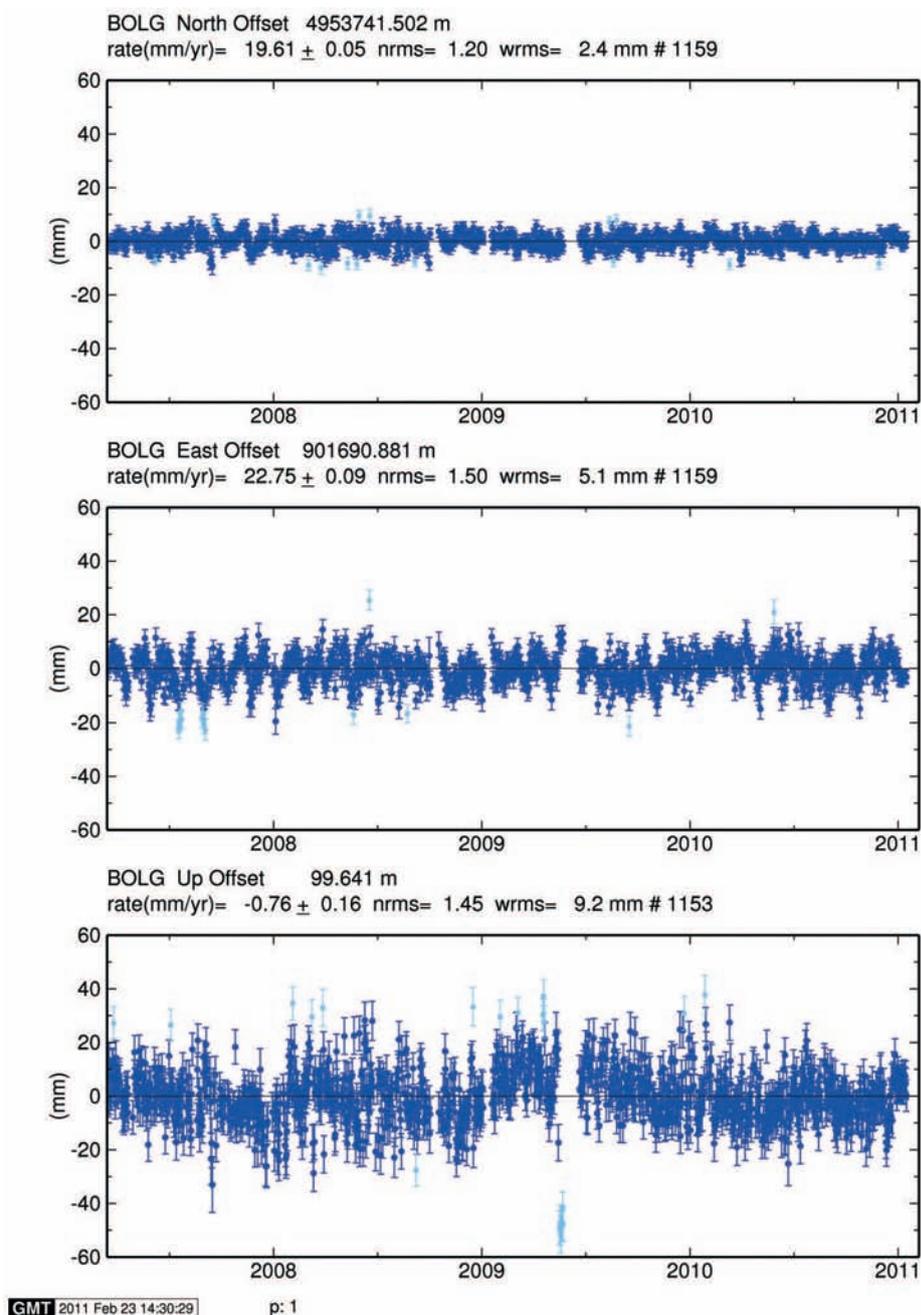


Figura 6 Serie Temporale della stazione GPS permanente EUREF BOLG ottenuta dalla compensazione di soluzioni giornaliere SINEX dell'ASI effettuate con Gipsy Oasis II.

Figure 6 BOLG permanent station time series from EUREF solutions from the adjustment of daily SINEX provided by ASI and processed by means of Gipsy Oasis II.

successo nel caso Gipsy). Per questo motivo sono state utilizzate le soluzioni effettuate dagli autori di questo rapporto.

Si precisa che per il processamento, la combinazione e la compensazione di una settimana di dati di un centinaio di stazioni permanenti GPS in area Europea con il software Gamit/Globk 10.4 è stato sufficiente un PC di media potenza utilizzato per circa 12 ore alla settimana.

Anche in questo caso ci limitiamo a mostrare la serie temporale della stazione BOLG EUREF compensata con il Globk 5.19 secondo le specifiche dell'EUREF (vedi figura 7). Il tasso di rumore è comparabile o leggermente superiore a quello

delle soluzioni CNT Bernese di Roma: questo potrebbe, in effetti, spiegare la reticenza per cui le soluzioni SINEX Gamit del CNT di Roma non vengono facilmente rese disponibili.

Conclusioni

Lo standard software Globk per la compensazione di reti GPS di grandi dimensioni nella *release* 5.19, ingegnerizzata all'interno del pacchetto Gamit/Globk 10.4 rilasciato recentemente dal MIT, consente l'utilizzo di SINEX prove-

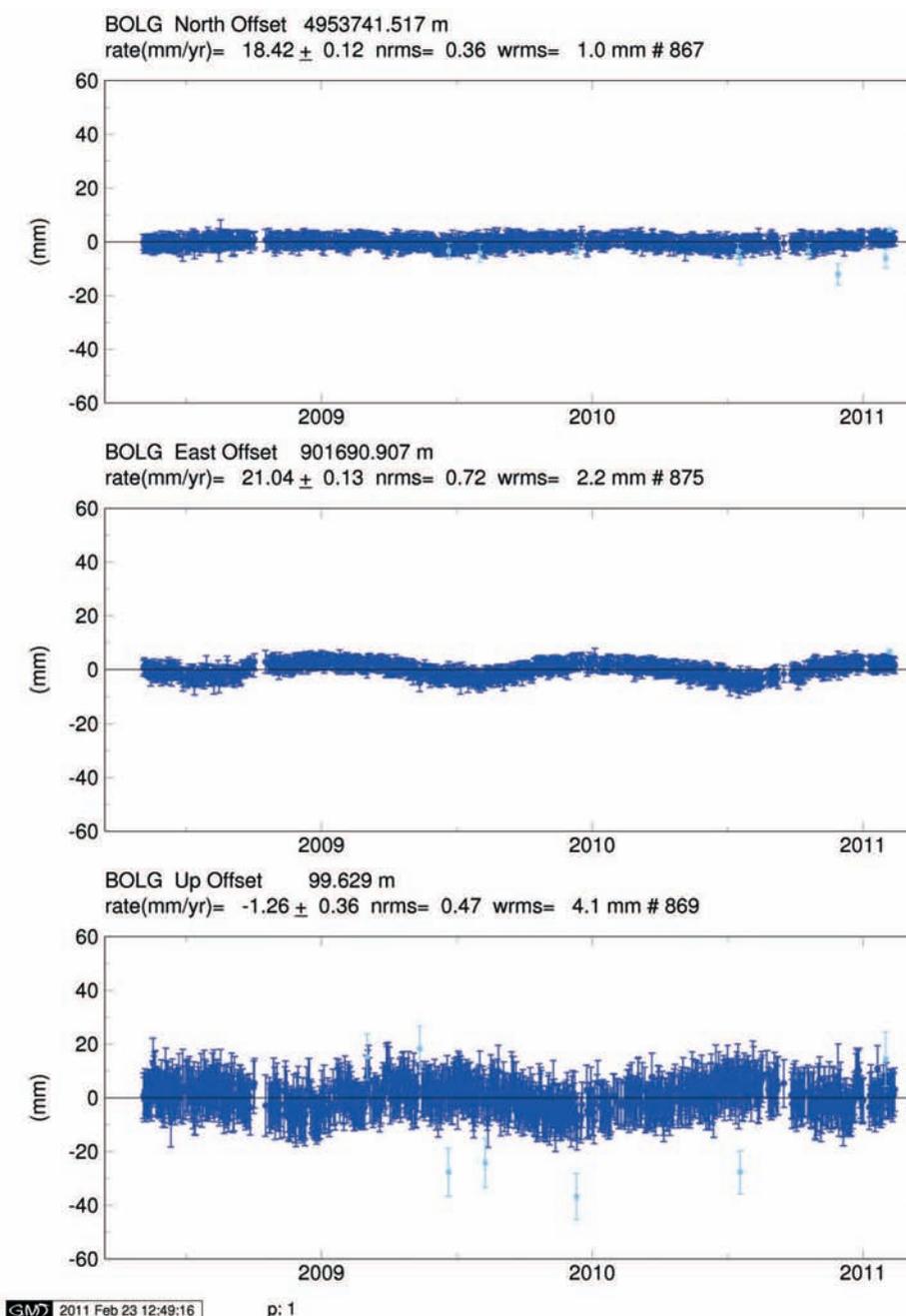


Figura 7 Serie Temporale della stazione permanente GPS EUREF BOLG ottenuta dalla stabilizzazione delle soluzioni giornaliere effettuate dagli scriventi con il software Gamit 10.4.

Figure 7 BOLG permanent station time series from Gamit 10.4 solutions (provided by the authors) from the adjustment of daily data.

nienti dall'analisi del dato GPS effettuato con altri standard (Bernese, Gipsy).

È stato quindi possibile ottenere e mostrare diversi risultati relativi alle varie operazioni di conversione di formato, stabilizzazione, stima di serie temporali, velocità e quant'altro presso l'INGV di Bologna, nel gruppo coordinato dagli autori.

Alla luce dei risultati ottenuti si evidenzia che, fatta eccezione per il processamento di dati ad altissima frequenza (1 epoca/s o meno) e nel caso si decida di adottare una struttura efficiente come quella relativa al portale e gruppo di analisi della rete EUREF (vedi capitolo 3), non è necessario l'esborso di grandi cifre per l'elaborazione di reti di grandi dimensioni (diverse centinaia, finanche migliaia di stazioni GPS). Sarebbe auspicabile implementare strutture atte alla disseminazione delle informazioni e dei confronti dei risultati ottenuti, come ad esempio viene effettuato giornalmente da tutti i centri di calcolo sparsi per il globo come: SOPAC, JPL, MIT, EUREF, ASI, IGS, ecc. ma non ancora da tutti i centri di calcolo dell'INGV, ad eccezione del gruppo CNT Bernese (RUF Devoti). Operazioni che sarebbero senza dubbio di grande ausilio per la comunità scientifica nazionale e internazionale.

Si vuole enfatizzare l'importanza della divulgazione delle soluzioni SINEX di reti di grandi dimensioni la cui gestione e processing vengono finanziate con lo stanziamento di ingenti risorse in termini di denaro pubblico. Come segnalato nelle dovute sedi, infatti, un centro di analisi dati GPS è definibile tale quando rende disponibili internamente e a terzi (abilitati) i dati strumentali ma anche (e soprattutto) le soluzioni in un formato di interscambio che sia indipendente dal software utilizzato.

Come evidenziato nell'esempio descritto nel capitolo 3, se si esclude l'editing di dati ad altissima frequenza, l'alternativa ad una struttura a *computer-cluster* è una struttura che distribuisca il calcolo su risorse di differenti centri con l'obbligo di adottare la stessa parametrizzazione e di condividere le soluzioni SINEX in tempi e modi stabiliti in appositi gruppi di lavoro.

Inoltre, nell'ottica di ottimizzare l'utilizzo delle risorse tecniche, economiche ed umane dell'Ente, è fondamentale focalizzare l'attenzione sul fatto che in presenza di un'infrastruttura come quella descritta in precedenza sia sufficiente un operatore mediamente esperto dotato di un PC di media potenza e di ultima generazione per il processamento di grandi numeri di stazioni permanenti, soprattutto se l'organizzazione che lo circonda ha un carattere consorziale.

L'ultima nota per sottolineare che quanto riportato in questo lavoro è il frutto delle conoscenze acquisite nell'ambito del corso avanzato di Globk, tenutosi nel 2006 presso la sede INGV di Grottaminarda e dell'esperienza maturata nell'applicazione a casi reali di queste tecniche di compensazione.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare caldamente tutti i componenti del gruppo di analisti del CNT Bernese a Roma coordinati dal Dott. Roberto Devoti per il rilascio delle soluzioni SINEX CNT Bernese, in linea sul sito (<ftp://gpsgiving.gm.ingv.it>) e per le preziose indicazioni suggerite, con riferimento particolare al Dott. Marco Anzidei. Nella speranza che una tale tendenza divenga una regola presso il nostro Ente.

Bibliografia

- Altamimi Z., Collilieux X., Legrand J., Garayt B., Boucher C. (2007). *ITRF2005: a new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters*. Journal of Geophysical Research, 112, B09401. doi:10.1029/2007JB004949.
- Altamimi Z., Collilieux X., Métivier L. (2011). *ITRF2008: an improved solution of the International terrestrial reference frame*. Journal of Geodesy, in press. doi: 10.1007/s00190-011-0444-4.
- Avallone A., Selvaggi G., D'anastasio E., D'agostino N., Pietrantonio G., Riguzzi F., Serpelloni E., Anzidei M., Casula G., Cecere G., D'ambrosio C., De Martino P., Devoti R., Falco L., Mattia M., Rossi M., Obrizzo F., Tammaro U., Zarrilli L. (2010). *The RING network: improvements to a GPS velocity field in the central Mediterranean*. Annals of Geophysics, 53 (2). doi: 10.4401/ag-4549.
- Baldi P., Casula G., Cenni N., Loddo F., Pesci A. (2009). *GPS-based monitoring of land subsidence in the Po Plain (Northern Italy)*. Earth and Planetary Science Letters, 288 (1-2), 204-212.
- Berg H. (1948). *Allgemeine Meteorologie*. Dümmler Verlag, Bonn, Germany.
- Beutler G., Brockmann E., Gurtner W., Hugentobler U., Mervart L., Rothacher M. (1994). *Extended orbit modeling techniques at the CODE Processing Center of the International GPS Service for Geodynamics (IGS): theory and initial results*. Manuscripta Geodetica, 19, 367-386.
- Beutler G., Gurtner W., Rothacher M., Schildknecht T., Bauersima I. (1986). *Evaluation of the March 1985: HPBL test: Fiducial point concept versus free network solutions*. Presented at: AGU Fall Meeting, San Francisco, CA, 13.
- Blewitt J. (1993). *Advances in global positioning system technology for geodynamics investigations: 1978-1992*. AGU Crustal Dynamics Monogr. Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Technol., 25, 195-213.
- Bruyninx C. (2004). *The EUREF Permanent Network: a multidi-*

- disciplinary network serving surveyors as well as scientists. *GeoInformatics*, 7, 32-35.
- Casula G., Pesci A., Bianchi M.G., Ponzoni G. Loddo F. (2009). *La stazione GPS BLGN per il monitoraggio della subsidenza*. Rapporti Tecnici INGV, 100, 5-17.
- Devoti R., Riguzzi F., Cuffaro M., Doglioni C. (2008). *New GPS constraints on the kinematics of the Apennines subduction*. *Earth Planetary Science Letter*, 273 (1-2), 163-174.
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M. (2007). *Bernese GPS Software Version 5.0*. Astronomical Institute of University of Berne, pp. 640.
- Dong D., Herring T.A., King R.W. (1998). *Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data*. *Journal of Geodesy*, 72 (4), 200-214.
- Figurski M., Kamin'ski P., Kenyeres A. (2009). *Preliminary results of the complete EPN reprocessing computed by the MUT EPN local analysis centre*. Anno LXVIII – Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, 2.
- Kenyeres A., Bruyninx C. (2004). *Monitoring of the EPN Coordinate Time Series for Improved Reference Frame Maintenance*. *GPS Solutions*, 8, 4, 200-209.
- Kouba J, Heroux P. (2000). *GPS Precise point positioning using IGS orbit products*. *GPS Solutions*, 5, 2, 12-28.
- Herring T.A. (2003). *MATLAB Tools for viewing GPS velocities and time series*. *GPS Solutions*, 7, 3, 194-199.
- Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. (2010a). *GPS Analysis at MIT, GAMIT Reference Manual, Release 10.4*. (Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA, USA). Accesso: 26/10/2010.
- Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. (2010b). *Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, GLOBK Reference Manual, Release 10.4*. Accesso: 26/10/2010.
- Maechling P., Gupta V., Gupta N., Field E.H., Okaya D., Jordan T.H. (2005). *Seismic Hazard Analysis Using Distributed Computing*. In: *The SCEC Community Modeling Environment*. *Seismological Research Letters*, 76 (2), 177-181. doi:10.1785/gssrl.76.2.177.
- Mervart L. (1995). *Ambiguity resolution techniques in geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System*. *Geod. Geophys. Arb. Schweiz*, 53, pp. 15.
- Mao A., Christopher G., Harrison A., Dixon T. H. (1999). *Noise in GPS coordinate time series*. *Journal of Geophysical Research*, 104, B4, 2797-2816.
- Niell A.E. (1996). *Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths*. *Journal of Geophysical Research*, 101(B2), 3227-3246.
- Schmid R., Rothacher M. (2003). *Estimation of elevation-dependent satellite antenna phase center variations of GPS satellites*. *Journal of Geodesy*, 77. doi:10.1007/s00190-003-0339-0.
- Serpelloni E., Perfetti P., Cavaliere A. (2009). *Progettazione e realizzazione di un computer-cluster per l'analisi di dati GPS con i software Gamit e Qoca*. Rapporti Tecnici INGV, 93, pp. 17.
- Wessel P., Smith W.H.F. (1998). *Free software helps maps and display data*. *EOS*, 79 579.
- Williams S. D. P., Bock Y., Fang P., Jamason P., Nikolaidis R.M., Prawirodirdjo L., Miller M., Johnson D.J. (2004). *Error Analysis of continuous GPS position time series*. *Journal of Geophysical Research*, 109, B03412. doi:10.1029/2003JB002471.
- Williams S. D. P. (2008). *CATS: GPS coordinates time series analysis software*. *GPS Solutions*, 12, 147-153.
- Zumberge J.F., Helfin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H. (1997). *Precise point positioning for efficient and robust analysis of GPS data from large networks*. *Journal of Geophysical Research*, 102, 5005-5017.
- Zumberge J.F., Watkins M.M., Webb F.H. (1998). *Characteristics and applications of precise GPS clock solutions every 30 seconds*. JPL Technical Reports.

Indice

Premessa	4
Introduzione	4
1. Il Software Globk	5
2. Breve descrizione dei tre standard di analisi del dato GPS	6
2.1 Bernese	6
2.2 Gipsy	7
2.3 Gamit	7
3. Strutture di calcolo e alternative	7
4. Procedura di Compensazione e Stabilizzazione delle soluzioni SINEX	8
5. Soluzioni EPN settimanali	9
6. Soluzioni INGV CNT-Bernese Roma	12
7. Soluzioni Gipsy Oasis II	13
8. Soluzioni Gamit	14
Conclusioni	15
Ringraziamenti	16
Bibliografia	16

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2011 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia