
Il nuovo sistema di riferimento geodetico nazionale: stato attuale e prospettive future

Renzo MASEROLI

The new national geodetic reference system: present situation and prospects for the future

Istituto Geografico Militare

Servizio Geodetico

Via di Novoli, 93 - 50127 Firenze

t 055 2732442

e maseroli@tin.it

Parole Chiave > RDN, ETRF2000, ETRF89, DCPM 10 novembre 2011, monitoraggio del sistema di riferimento, ITRF2008, IGS08, settimana GPS 1632.

Key Words > RDN, ETRF2000, ETRF89, DCPM November 10, 2011, Monitoring of geodetic reference system, ITRF2008, GPS week 1632

Riassunto > L'utilizzo contemporaneo di più sistemi geodetici di riferimento rende difficoltoso lo scambio delle informazioni geografiche fra i tanti soggetti che in una nazione si occupano della gestione del territorio. In Italia sono storicamente in uso tre sistemi locali: Bessel su Genova, ROMA40 ed ED50, ai quali si è aggiunto, nel 1996, il sistema globale ETRS89 nella realizzazione ETRF89, adottato al fine di consentire anche nel nostro Paese lo sfruttamento dei vantaggi offerti dal GPS. La materializzazione dell'ETRF89 fu ottenuta con l'istituzione della rete IGM95: un moderno network costituito all'impianto da oltre 1200 punti, caratterizzati da incertezze nella posizione tridimensionale dell'ordine dei 5 cm. A pochi anni di distanza tale precisione non risultava più adeguata alle esigenze di alcune moderne metodologie di rilievo GPS. Si è reso quindi necessario adottare una realizzazione caratterizzata da migliori precisioni, ottenute utilizzando come materializzazione un network di sole stazioni permanenti GPS che sono andate a costituire la Rete Dinamica Nazionale (RDN). Il nuovo network è stato inquadrato nella realizzazione ETRF2000 del datum europeo ETRS89, ed ha raggiunto precisioni migliori di 1 cm in planimetria e 1.5 cm in quota; tali quantità hanno consentito di ottenere, da parte dell'EUREF, l'inserimento ufficiale della RDN nel raffittimento europeo con la categoria "B". L'ETRF2000 è stato ufficializzato come riferimento nazionale con Decreto 10/11/2011, che lo ha reso obbligatorio per tutta la Pubblica Amministrazione. La fase attualmente in corso è quella del monitoraggio del sistema, che avviene essenzialmente attraverso ricalcoli periodici della RDN. Sussistono varie problematiche fra le quali assumono particolare importanza quelle relative al cambio di frame da IGS05 a IGS08, effettuato dall'IGS nella settimana GPS 1632, in corrispondenza del quale

Articolo ricevuto in redazione nel mese di Novembre 2012 e accettato dopo revisione nel mese di Febbraio 2013.

è stato anche aggiornato a IGS08.atx il file di calibrazione delle antenne. Dopo un'accurata analisi è stata messa a punto una strategia di monitoraggio che si ritiene efficace e che dovrebbe andare a regime entro fine anno.

Abstract > The simultaneous use of several geodetic reference systems makes difficult the exchange of geographic information among the entities that deal with national land management. Historically in Italy three local systems were in use: Bessel oriented in Genova, ROMA40 and ED50, and the the global system ETRS89 (frame ETRF89) adopted in 1996 in order to allow the use of GPS technology in our country. The ETRF89 frame's materialization was achieved by the establishment of the IGM95 network, a modern network consisting in 1200 points, with positions at the 5 cm precision.

A few years later such precision became inadequate with respect to the modern GPS survey methods. It was therefore necessary to update the realization of the reference system's adopting the ETRF2000 frame which is characterized by better accuracy and materialized by a network of GPS permanent stations known as Dynamic National Network (RDN). The horizontal accuracy of the new network is approximately 1 cm and the vertical accuracy is approximately 1.5 cm; these characteristics are sufficient to validate the RDN as an European densification network of class "B". The ETRF2000 has been officially adopted as national reference system through the Ministerial Decree in 11/10/2011, becoming mandatory for all public administrations. Currently the system is monitored through periodic recalculations of the RDN. Several problems were faced including the change of frames from IGS05 to IGS08 performed by IGS during the GPS week number 1632. During this change IGS released a new version of the antenna calibration file, called IGS08.atx. Downstream to a deep analysis an efficient monitoring strategy has been set up and should be effective starting from the end of this year.

1. Introduzione

L'adozione di un nuovo sistema di riferimento geodetico da parte di una nazione, è comunque causa di una serie di problematiche non indifferenti. Di colpo, infatti, tutta la cartografia e gli altri prodotti georeferenziati nel sistema precedentemente in uso "scadono", e prima che il nuovo riferimento si affermi realmente è necessario che sia recepito in una parte consistente della documentazione ufficiale (cartografia, dati geodetici, database territoriali), il che, per forza di cose, non può avvenire in tempi brevi. Si instaura quindi un periodo, spesso di lunga durata, nel quale i riferimenti vecchio e nuovo devono convivere, e nasce pertanto l'inderogabile esigenza di trasformare le georeferenziazioni fra i due sistemi. La decisione di introdurre ufficialmente un nuovo sistema a livello nazionale va quindi valutata attentamente e attuata solo se sussistono, se non altro, le due seguenti circostanze: che il nuovo sistema offra vantaggi significativi rispetto al precedente e che abbia, almeno in previsione, una durata temporale significativa.

In Italia sono storicamente in uso tre sistemi locali di riferimento: Bessel su Genova, ROMA40 ed ED50, introdotti uno di seguito all'altro, a partire dalla fine dell'800, senza che avvenisse mai la completa sostituzione del precedente. Ancora oggi, infatti, l'esistenza di importanti documenti ufficiali espressi in ciascuno dei tre, ne impedisce di fatto il totale abbandono. La situazione si è ulteriormente complicata nel 1996, quando, in seguito all'affermarsi delle metodologie di rilievo GPS, l'IGM ha adottato, per la prima volta in Italia, un sistema globale che è andato ad aggiungersi a quelli locali già citati. Tale innovazione risultava d'altra parte indispensabile per consentire anche in Italia l'utilizzo delle tecniche di rilievo satellitari che in quegli anni si andavano diffondendo.

2. La rete IGM95 ed il primo sistema globale

Proprio al fine di consentire ai tecnici italiani un efficace sfruttamento dei notevoli vantaggi offerti dal GPS, l'IGM realizzò, negli anni fra il 1992 ed il 1996, la nuova rete geodetica IGM95 (fig. 1), interamente determinata con tecniche satellitari e costituita, all'impianto, da circa 1200 punti omogeneamente distribuiti sul territorio nazio-

nale con un'interdistanza di circa 20 km. La rete IGM95 ha costituito in effetti la prima materializzazione del sistema globale sul territorio nazionale e ne ha permesso l'utilizzo, consentendo posizionamenti satellitari di precisione per mezzo della traslocazione a breve distanza.

Per l'inquadramento dell'IGM95 fu scelto di allinearsi al sistema convenzionale che l'EUREF¹ aveva definito per l'Europa pochi anni prima (nel 1989), e che era già in uso in buona parte dei paesi europei. Si tratta del sistema ETRS89², del quale fu adottata la realizzazione ETRF89³, l'unica disponibile in quel momento.

Tale scelta derivò dalla considerazione delle esigenze dell'utenza che realizza cartografia o gestisce, nelle varie forme, dati georeferenziati, per la quale è opportuno l'utilizzo di un frame che, oltre ad essere affidabile e sufficientemente preciso, risulti anche stabile nel tempo, preferibile ad un sistema che per mantenere un'elevata accuratezza, deve rimanere agganciato alla realtà fisica in continua evoluzione, e necessita quindi di frequenti aggiornamenti. Il sistema che in Europa assolve a tale esigenza è appunto l'ETRS89, solidale per definizione alla parte stabile della placca euroasiatica, al contrario dell'ITRS⁴, che con i suoi frequenti ricalcoli (realizzazioni ITRF) segue il moto delle placche tettoniche, e consente perciò di ottenere, almeno in linea di principio, precisioni maggiori nel calcolo delle posizioni, ma è soggetto a variazioni nelle coordinate, dell'ordine di alcuni centimetri all'anno, che possono creare difficoltà nell'utilizzo delle reti a fini tecnici.

Figura 1 - Rete IGM95 all'impianto (1996).



1 L'EUREF (EUropean REference Frame) è una sottocommissione dell'IAG (International Association of Geodesy), che si occupa della definizione dei riferimenti geodetici a livello europeo; ad essa aderiscono tutte le National Cartographic Agencies dei Paesi europei oltre ad alcune Università ed Enti di Ricerca.

2 L'ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) è un riferimento convenzionale definito dall'EUREF per il continente europeo al fine di eliminare, o almeno ridurre, le problematiche derivanti dal moto della placca tettonica.

3 L'ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame 1989) è una concreta realizzazione (la prima) del sistema ETRS89, e come tale è costituita da una un elenco di coordinate che fissano la posizione dei punti che costituiscono la rete di stazioni permanenti (EPN) gestita dall'EUREF.

4 L'ITRS (International Terrestrial Reference System) è un riferimento definito dall'IERS (International Earth Rotation and Reference System Service) per tutta la Terra, aggiornato periodicamente con frequenti ricalcoli che istituiscono nuove realizzazioni (ITRFxx), in modo da mantenersi allineato ai movimenti delle placche tettoniche.

Il sistema ETRS89 deriva comunque dall'ITRS, con il quale coincide all'epoca 1989.0; le realizzazioni dei due sistemi, ovvero i relativi frame ETRF e ITRF, si separano invece di quantità crescenti nel tempo. Le differenze sono tuttavia modellizzabili con parametri di rotazione e traslazione di entità corrispondenti alla velocità angolare dell'Eurasia. Le velocità normali alla crosta terrestre (Up) sono invece comparabili nei due frame, poiché in buona parte indipendenti dai movimenti della placca.

Anche se si è scelto di adottare un sistema convenzionale, come l'ETRS89, la procedura che garantisce di ottenere i risultati migliori, è quella che prevede il calcolo delle posizioni in ITRS e poi le trasforma nel riferimento convenzionale ETRS89. Le posizioni espresse in ITRS possono infatti essere facilmente convertite in ETRS89 per mezzo di 7 parametri di rotazione, traslazione e scala, variabili nel tempo e strettamente correlati al movimento crostale della placca euroasiatica, ottenibili dal confronto fra le varie realizzazioni ITRF che si sono succedute. L'aggiornamento continuo dei parametri di trasformazione, e delle loro velocità di variazione, è pubblicato nel memo (Altamimi et al., 2011a).

Per la rete IGM95 è stata seguita una procedura di calcolo più semplice, in linea con la precisione della rete e con le tecniche d'allora; il calcolo è stato effettuato direttamente in coordinate ETRF89 in appoggio ai 9 punti EPN (EUREF Permanent Network) presenti allora in Italia, e precisamente: Monte Generoso, Mondovì, Monte Grappa, Medicina, Firenze (IROE), Roma (M. Mario), Matera, Noto e Cagliari. La precisione della rete è risultata decisamente buona: gli errori quadratici medi delle coordinate forniti dal calcolo di compensazione, espressi a livello di confidenza del 95%, sono pari a 2,5 cm per la planimetria e 4 cm per la quota. La rete IGM95 ha rappresentato una svolta che ha consentito all'Italia di passare dai sistemi ottocenteschi alla moderna geodesia; da oltre 15 anni materializza il sistema globale su tutto territorio nazionale, consentendo ai tecnici italiani il pieno sfruttamento delle potenzialità del sistema GPS, ed ha ancora un ruolo importante nella georeferenziazione delle informazioni.

L'Italia è entrata così nel terzo millennio con un sistema di riferimento perfettamente in linea con il resto d'Europa e ben materializzato su tutto il territorio con una precisione, equivalente a quella dei punti della rete IGM95, valutabile tridimensionalmente in circa 5 cm. Perché allora a distanza di un solo decennio, ed avendo ben presenti i problemi che derivano dall'adozione di un nuovo sistema, l'IGM ha sentito la necessità di farlo? Questa legittima domanda merita una risposta esaustiva.

3. L'evoluzione delle metodologie di rilievo satellitare

Per comprendere esattamente le ragioni che hanno portato alla sostituzione del sistema ETRF89 è necessario considerare la continua evoluzione che ha interessato, a partire dalla metà dagli anni '90, le metodologie di sfruttamento del GPS, rendendole sempre più semplici e veloci. Dopo i metodi *statico* e *cinematico*, è andata sempre più affermandosi, già dalla fine degli anni '90, la tecnica RTK (Real Time Kinematic), che permetteva di ottenere posizioni assolute con tempi di stazionamento molto brevi e precisioni comunque sufficienti alla gran parte delle applicazioni. La possibilità di ottenere una posizione assoluta di precisione praticamente in tempo reale, offriva inoltre i notevoli vantaggi derivanti dall'aver la certezza del risultato già in fase di misura, e apriva anche al settore del tracciamento l'impiego del GPS.

Qualche anno dopo la metodologia RTK è divenuta ancora più conveniente, a seguito dell'istituzione di network di stazioni permanenti GPS gestiti da un unico centro di calcolo che, ricevendo le osservazioni di tutte le stazioni di un dato territorio, elabora istantaneamente le correzioni differenziali valide per quel territorio e le rende disponibili su web. Queste infrastrutture consentono al tecnico di operare in campagna con un solo ricevitore che, attraverso una connessione internet mobile, riceve le correzioni differenziali con le quali, per mezzo del software residente nello strumento, riesce a calcolare immediatamente la posizione assoluta, con tempi di stazionamento brevissimi e precisioni comunque buone: sub-decimetrie in planimetria, leggermente peggiori in quota.

Il metodo ora descritto risulta di gran lunga il più produttivo ed economico, ed è perciò utilizzato da tutta l'utenza tecnica ogni volta che ciò è possibile: cioè quando l'infrastruttura, costituita dalle stazioni permanenti GPS, è

Esistono invece infrastrutture, già funzionanti da alcuni anni, che offrono localmente ottime prestazioni, realizzate nella maggior parte dei casi dalle Regioni, ciascuna per il proprio territorio, oltre ad alcuni network nazionali privati. Sulla base di queste esperienze, ed in considerazione delle recenti evoluzioni tecnologiche, è possibile oggi pensare in termini concreti ad un servizio di posizionamento in tempo reale che fornisca prestazioni certificate a livello nazionale, e l'IGM ne sta valutando la realizzabilità.

4. Il nuovo riferimento ETRF2000 e la Rete Dinamica Nazionale (RDN)

I servizi di posizionamento in tempo reale consentono effettivamente uno sfruttamento molto efficace del GPS, ma richiedono di conoscere la posizione delle stazioni permanenti, su cui basano, con precisione molto elevata: non inferiore a 2÷3 cm. Le prime esperienze di tali infrastrutture, nate come già detto a livello regionale nei primi anni 2000, si trovarono ad operare nel riferimento globale che l'Italia aveva da poco adottato (ETRF89), il quale, condizionato dalle caratteristiche della rete IGM95 che ne costituiva la materializzazione, non riusciva a garantire la precisione suddetta. Tale deficienza stava generando una situazione caotica, nella quale ciascun gestore del servizio di posizionamento era di fatto autorizzato all'impiego di sistemi più performanti (come un ITRF o un IGS⁵), che risultavano non ufficializzati e comunque disomogenei a livello nazionale. In tale situazione l'IGM, consapevole dell'importanza di dotare la Nazione di un riferimento geodetico in linea con i tempi ed adeguato alle moderne tecnologie, ha approntato nel 2006 il progetto per la definizione di un nuovo sistema i cui lavori hanno avuto inizio nella primavera del 2007. È stato scelto ancora il sistema ETRS89 nella realizzazione più recente: l'ETRF2000. Per ottenere le alte precisioni volute, il nuovo riferimento doveva essere materializzato solo da stazioni permanenti GPS: ne sono state scelte 100, poi divenute 99, che sono andate a costituire la Rete Dinamica Nazionale (RDN - fig. 2). In quel momento erano presenti in Italia oltre 400 stazioni permanenti GPS, istituite da vari enti, molti dei quali pubblici, con svariate finalità; si è quindi ritenuto opportuno di non procedere ad ulteriori installazioni, operazione che avrebbe costituito uno spreco di risorse; sono stati invece stipulati accordi con gli enti pubblici proprietari delle stazioni esistenti per ricevere via web le osservazioni a 30 secondi in formato RINEX. Nella scelta delle stazioni si è cercato di ottenere una distribuzione uniforme, con particolare riguardo alle zone marginali del territorio, evitando nel contempo i siti sospetti di sensibili movimenti locali, in particolare di subsidenza. L'interdistanza fra le stazioni è risultata fra i 100 e i 150 km. Sono state incluse nel network 13 stazioni EUREF, indispensabili per l'allineamento all'ETRF2000; fra queste è presente la stazione di Firenze dell'IGM ufficialmente riconosciuta dall'EUREF dal marzo 2007

⁵ IGS è l'acronimo di International GNSS Service, una federazione volontaria oltre 200 agenzie in tutto il mondo che hanno come finalità il calcolo e la divulgazione di dati necessari allo sfruttamento di precisione dei sistemi di posizionamento GNSS.

ed inclusa nell'EPN. Sono state incluse inoltre le stazioni dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana), una parte di quelle dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), oltre ad alcune stazioni per ciascuna Regione, in modo da poter trasferire più facilmente a tali Enti, gestori del posizionamento in tempo reale, il riferimento nazionale.

L'analisi dei dati dell'RDN è stata effettuata presso il centro di calcolo del Servizio Geodetico dell'IGM, appositamente allestito, utilizzando un software fra i più quotati a livello internazionale: il Bernese versione 5.0. Il calcolo delle posizioni dei vertici della rete è stato eseguito, secondo le procedure più rigorose, elaborando in modalità differenziale i dati raccolti dalle 99 stazioni permanenti nelle 4 settimane intorno all'epoca 2008.0 (settimana GPS 1460) e inquadrando la soluzione nella più recente versione, allora disponibile, del sistema internazionale: l'ITRF05, trasportato temporalmente al 1 gennaio 2008 per mezzo delle velocità. L'allineamento al datum è stato ottenuto mediante la minimum constraints condition (MCC) sulle seguenti 13 stazioni fiduciali incluse nel frame ITRF2005: CAGL, GENO, GRAS, GRAZ, IENG, LAMP, MATE, MEDI, NOT1, PADO, SOFI, WTZR, ZIMM.

A compensazione avvenuta le coordinate ITRF05 sono state trasformate in ETRF2000 utilizzando i parametri ufficiali dell'EUREF e mantenendo invariato il riferimento temporale: 2008.0. La precisione raggiunta nella definizione della posizione delle stazioni, migliore di 1 cm in planimetria e 1.5 cm in quota, ha consentito di chiedere all'EUREF l'approvazione ufficiale del network. Durante il Simposio EUREF di Firenze, conclusosi il 30 maggio 2009, il TWG (Technical Working Group) ha proposto ed ottenuto dall'Assemblea Generale l'integrazione della RDN nel raffittimento ufficiale europeo con la categoria "B".

L'intera procedura di calcolo è stata ripetuta, come previsto dalle procedure dell'EUREF, anche da altri 3 centri di analisi che, in modo indipendente, hanno trattato le stesse misure, giungendo a risultati praticamente identici, e quindi avvalorando la correttezza dell'intero procedimento. In particolare il calcolo è stato eseguito dall'Università di Padova (Prof. Caporali), dal Gruppo G3 (Prof. Sansò) e dall'Università di Bologna (Prof. Barbarella), che hanno operato su finanziamento del CISIS, anch'esso interessato all'adozione di riferimento di precisione in Italia (Biagi et al. 2009a). Il gruppo di Bologna ha inoltre trattato i dati anche con software diversi dal Bernese (Gamt e Gipsy), ottenendo anche in questo caso risultati sostanzialmente equivalenti (Barbarella et al. 2010).





Fig. 3 – Collegamenti fra i punti dell'IGM95 e le stazioni dell'RDN

5. Conseguenze dell'adozione del nuovo riferimento

L'adozione del nuovo riferimento ha generato, come previsto, una serie di problematiche, attenuate in questo caso dal fatto che non si tratta di un vero cambio di sistema ma solo di una differente realizzazione nell'ambito dello stesso sistema: da ETRF89 a ETRF2000, che comporta comunque, anche se di piccola entità, variazioni nelle coordinate dei punti. Per quanto riguarda il settore geodetico l'IGM si era organizzato per presentarsi il 1° gennaio 2009, momento dell'ufficializzazione dell'ETRF2000, con tutti i dati aggiornati. La rete IGM95, nella sua versione d'impianto, è stata allineata alla nuova realizzazione per mezzo di un robusto collegamento di alcuni suoi punti con

le stazioni dell'RDN. Sono state collegate alla rete statica 45 stazioni permanenti RDN (fig. 3), selezionate in modo da ottenere una omogenea distribuzione sul territorio, con particolare riguardo alle zone marginali al fine di contenere la propagazione degli errori. Ciascun collegamento è stato realizzato misurando 3 o 4 baseline GPS (solo in rari casi 2 baseline) che hanno legato le stazioni permanenti ad altrettanti punti IGM95 "originali", punti cioè che risalgono all'impianto della rete statica e che quindi hanno partecipato al calcolo di compensazione fondamentale. La stabilità dei punti IGM95 utilizzati per il riattacco è stata verificata chiudendo i poligoni costituiti dalle basi misurate in aggiunta a quelle d'impianto; tale controllo ha consentito di verificare anche l'entità della perdita di precisione dovuta all'utilizzo congiunto di basi misurate in tempi notevolmente diversi, che è risultata di entità tollerabile.

Chiaramente questa operazione ha reso la rete statica omogenea all'RDN senza migliorarne la qualità: l'IGM95 mantiene le imprecisioni che la caratterizzano, in genere non superiori, come già detto, a 5 cm, quantità per altro sufficiente alla gran parte delle applicazioni. In caduta sono stati poi ricalcolati tutti i successivi raffittimenti, fino a comprendere la totalità degli oltre 4500 punti che costituivano nel 2008 la rete statica nazionale. Disponendo così di una maglia di punti "doppi" densa e diffusa su tutto il territorio, è stato possibile eseguire un dettagliato confronto tridimensionale fra i due riferimenti: ETRF89 ed ETRF2000, che ha consentito la stima di precise griglie di conversione (griglie "GKx"), con le quali sono state aggiornate le procedure per il passaggio fra sistemi. Anche il software VERTO è stato aggiornato in VERTOK, e tratta ora 4 riferimenti: ROMA40, ED50, ETRF89 e ETRF2000.

Le differenze fra i due riferimenti risultano comunque molto modeste: i valori massimi non superano i 13 cm in planimetria e i 22 cm in quota, in entrambi i casi con valori medi di circa 5 cm (vedi tab. 1). Tali quantità assumono importanza solo nel settore geodetico e non in quello cartografico (oggi GIS), le cui georeferenziazioni risultano insensibili a variazioni dell'entità suddetta, anche per le scale tipiche della carta tecnica, e tanto più per le scale di competenza dell'IGM, cioè quelle topografiche e corografiche. Nella classificazione della cartografia è infatti lecito, ed opportuno, non dichiarare la realizzazione utilizzata, che può variare nel tempo senza conseguenze apprezzabili, limitandosi ad indicare il sistema di riferimento, come ad esempio l'ETRS89. Applicando questo principio, l'IGM, nella recente trasformazione delle griglie per il passaggio fra i sistemi geodetici nel formato NTv2⁶, ha volutamente ignorato le differenze fra ETRF89 e ETRF2000, considerandoli unitamente sotto l'acronimo ETRS89.

6 L'NTv2 (National Transformation Version 2) è un diffuso standard per i modelli a maglia regolare utilizzati per il passaggio fra sistemi geodetici; vedi "Nota tecnica" sul sito dell'IGM (www.igmi.org - Servizio Geodetico - Avvisi precedenti).

Tabella 1 – Differenze fra le Realizzazioni ETRF2000 ed ETRF89

ETRF2000-ETRF89	Latitudine		Longitudine		h Ellissoidica
Differ. media (val. ass.)	0.0016"	4.9 cm	0.0011"	2.6 cm	5.4 cm
Differenza massima	0.0038"	11.4 cm	0.0056"	12.8 cm	22.0 cm

Nel passaggio all'ETRF2000, quindi, le strategie adottate per le reti geodetiche, unitamente alla piccola entità delle differenze in gioco, hanno consentito all'IGM di procedere celermente, e senza particolari problemi, alla trasformazione di tutti i propri dati. Inoltre, le nuove release del software VERTO (VERTOK) e delle griglie (*.GK1 e *.GK2), entrambi disponibili già al momento dell'ufficializzazione dell'ETRF2000, hanno messo a disposizione di tutta l'utenza un efficace strumento per consentire l'aggiornamento immediato di qualunque dato georeferenziato. Chi ha acquistato punti IGM95 in data precedente al 1° gennaio 2009, quindi con le coordinate in ETRF89, può trasformarli gratuitamente in ETRF2000, collegandosi al sito IGM: www.igmi.org – Servizio Geodetico – Aggiornamento delle coordinate dei punti IGM95 (fig. 4).

Figura 4 – Procedura per l'aggiornamento gratuito dei punti IGM95 sul sito IGM

Aggiornamento delle coordinate della Rete IGM95 al frame ETRF2000

Per aggiornare le coordinate dei punti IGM95 dalla realizzazione ETRF89 alla nuova realizzazione ETRF2000, è sufficiente inserire il codice del punto nella maschera sottostante e premere il pulsante "Invio". Verranno restituite 5 quantità ($\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ e Δh ; ΔN e ΔE) da sommare algebricamente ai valori di latitudine, longitudine, quota ellissoidica e coordinate plane UTM (Nord ed Est) della scheda monografica del punto in ETRF89. I valori forniti per il punto principale (CT-GPS) sono validi anche per gli eventuali punti associati.

Il codice inserito non è esistente

Codice Punto:

$\Delta\varphi$	$\Delta\lambda$	Δh	ΔN	ΔE
sec	sec	m	m	m
0.0032	-0.0018	-0.130	0.098	-0.045

6. Il DPCM del 10 novembre 2011

Dopo un lungo iter burocratico, il 10 novembre 2011, il Presidente del Consiglio dei Ministri ha finalmente emanato i 4 decreti⁷ sulle "regole per l'informazione geografica", approntati in seno al "Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle Pubblica Amministrazione" come sintesi di un intenso lavoro, che ha coinvolto i rappresentanti di tutti gli enti interessati ai dati territoriali. L'obiettivo del Comitato era quello di giungere ad un'efficace armonizzazione delle tante esigenze della pubblica amministrazione in materia d'informazione geografica, che si concretizzassero nella stesura di regole atte a favore le sinergie di acquisizione e lo scambio dei dati fra tutti i soggetti interessati.

Fra i 4 decreti assume particolare importanza quello che tratta del riferi-

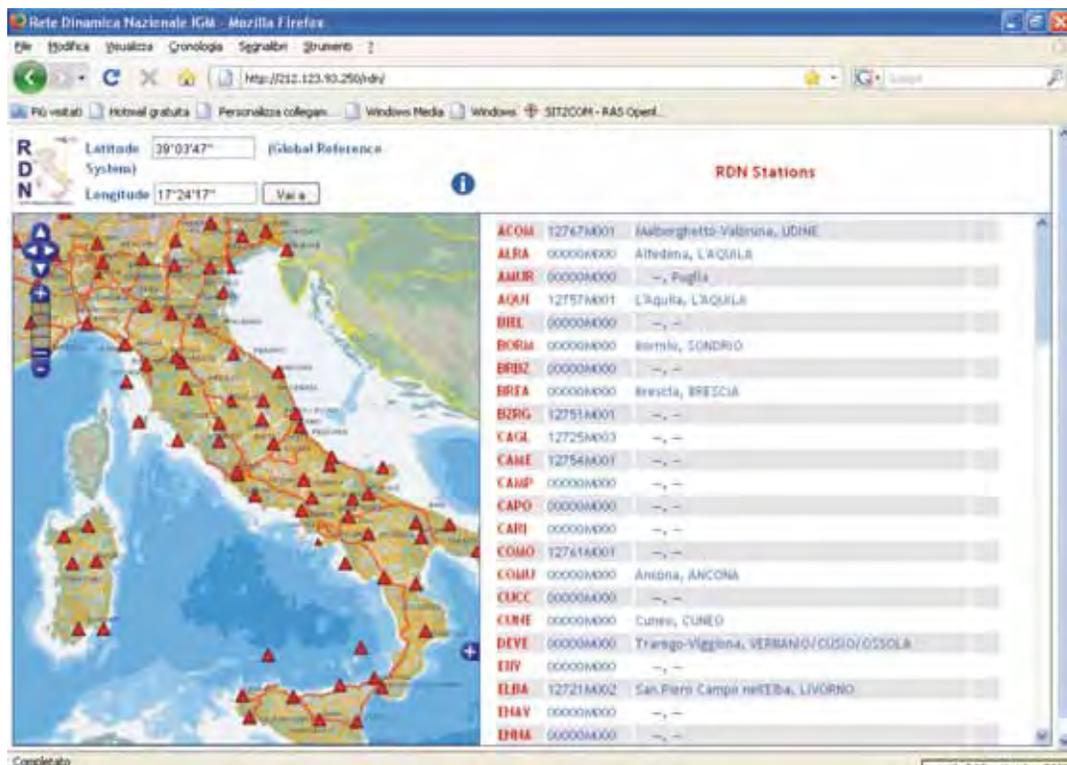
⁷ Pubblicati in Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27/02/2012 - Supplemento ordinario n. 37.

mento geodetico, poiché, per la prima volta in Italia, ufficializza un sistema nazionale e ne indica esattamente la realizzazione: l'art. 2 recita infatti testualmente «... *il Sistema di riferimento geodetico nazionale adottato dalle amministrazioni italiane e' costituito dalla realizzazione ETRF2000 - all'epoca 2008.0 - del Sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89, ottenuto nell'anno 2009 dall'Istituto Geografico Militare, mediante l'individuazione delle stazioni permanenti, l'acquisizione dei dati ed il calcolo della Rete Dinamica Nazionale.*»; l'art. 3 obbliga le pubbliche amministrazioni ad utilizzare il Sistema di riferimento geodetico nazionale sopra definito: «... *le amministrazioni utilizzano il Sistema di riferimento geodetico nazionale per georeferenziare le proprie stazioni permanenti, nonché per i risultati di nuovi rilievi, le nuove realizzazioni cartografiche, i nuovi prodotti derivati da immagini fotografiche aeree e satellitari, le banche dati geografiche e per qualsiasi nuovo documento o dato da georeferenziare.*». L'attenzione rivolta al sistema di riferimento è senz'altro giustificata, poiché la sua unitarietà costituisce la premessa indispensabile per giungere all'omogeneità delle informazioni, e quindi alla reale interscambiabilità dei dati, argomento che costituisce il tema dominante ed il fine ultimo di tutta l'attività del Comitato che ha portato all'emanazione delle quattro norme.

L'art. 4 si preoccupa opportunamente di uniformare, per quanto possibile, anche i dati pregressi, ed indica come metodologia da adottare per le conversioni le procedure dell'IGM, che devono essere messe gratuitamente a disposizione delle amministrazioni: «*Le amministrazioni rendono disponibili ..., mediante procedimento di conversione, i dati pregressi espressi secondo regole afferenti ad altri Sistemi di riferimento, La conversione dei dati territoriali, precedentemente prodotti, ed espressi nei Sistemi di riferimento geodetico ROMA40, ED50 e ETRF89 e' effettuata utilizzando i dati e le procedure messi gratuitamente a disposizione delle amministrazioni dall'Istituto Geografico Militare.*»

L'art. 5 ribadisce l'importanza della Rete Dinamica Nazionale, designandola come materializzazione del Sistema nazionale, e ne affida la gestione all'IGM, sotto la supervisione del Comitato: «*La Rete dinamica nazionale (RDN), costituita dalle stazioni permanenti di cui all'allegato 1 materializza il nuovo Sistema di riferimento geodetico nazionale. ...L'Istituto Geografico Militare cura, anche attraverso accordi con le Regioni e gli enti gestori o proprietari delle stazioni, il monitoraggio e l'efficienza della Rete dinamica nazionale. L'elenco delle stazioni permanenti della Rete dinamica nazionale e' aggiornato periodicamente con decisione del Comitato su proposta dell'Istituto Geografico Militare, e' approvato con decreto del Ministro delegato*»

Nella restante parte il decreto tratta di questioni tecniche, come l'elenco delle stazioni permanenti che costituiscono l'RDN (allegato 1 del decreto) e le loro caratteristiche tecniche (allegato 2), dettagli che in certi casi appaiono eccessivi per un decreto ministeriale, in considerazione della rapida evoluzione a cui tali elementi tecnici sono soggetti, contrapposta alla lentezza dei tempi burocratici necessari per l'approvazione di una norma, di uguale rango, che ne sancisca le modifiche.



Le attività che il decreto affida all'IGM, e che venivano in realtà già svolte compatibilmente agli altri compiti istituzionali, avranno ora una maggiore priorità. Già da tempo è stato attivato un sito⁸ dedicato all'RDN, nel quale sono disponibili le monografie e le caratteristiche tecniche di tutte le stazioni (fig. 5). Questo servizio è stato recentemente completato con l'attivazione della funzione che consente lo scarico dei dati RINEX a 30" di tutte le stazioni, precedentemente ceduti solo su richiesta. I periodici ricalcoli della rete, che consentono il monitoraggio del riferimento, verranno intensificati, secondo strategie, meglio discusse nel seguente paragrafo, che consentiranno di giungere ad una attendibile stima delle velocità delle stazioni. Per quanto riguarda il passaggio fra sistemi, l'IGM è pronto ad offrire il suo ausilio a tutte le pubbliche amministrazioni che ne faranno richiesta.

8 www.igmi.org – Servizio Geodetico – Nuovo sito RDN

7. Prospettive del sistema di riferimento

7.1 Considerazioni generali

Le problematiche relative ad un moderno sistema di riferimento non terminano con la sua istituzione: le precisioni raggiunte e la dinamicità della realtà fisica obbligano ad un continuo monitoraggio, reso possibile dalle caratteristiche della materializzazione del sistema, composta esclusivamente da stazioni permanenti GPS. E' infatti indispensabile controllare continuamente che la geometria dell'intero network, assunta come riferimento convenzionale, non si modifichi troppo a seguito dei continui movimenti della crosta terrestre. Il monitoraggio può essere efficacemente ottenuto proprio attraverso il controllo della stabilità delle coordinate, procedendo all'aggiornamento delle posizioni delle stazioni, o all'esclusione della rete, di quelle che presentano movimenti giudicati eccessivamente anomali.

Per quanto riguarda l'Europa il sistema ETRS89 assolve egregiamente alla funzione di riferimento convenzionale: le variazioni planimetriche risultano dell'ordine del millimetro all'anno, e quindi trascurabili anche nell'arco di ampi periodi. Esistono però alcune regioni periferiche, come la Fennoscandia, la Grecia ed anche l'Italia, dove sono state misurate velocità orizzontali che in qualche caso raggiungono l'ordine del centimetro all'anno (Altamimi, 2012; Caporali et al., 2011). Per quanto riguarda l'Italia la situazione geologica giustifica tali anomalie: le zone meridionali ed orientali adriatiche risultano infatti ai margini della placca tettonica Euroasiatica, se non addirittura, almeno in parte, su altre placche. In tale situazione è evidente che la gestione della RDN necessita di un attento e continuo controllo, volto a verificarne la stabilità, la coerenza e conseguentemente le prestazioni.

L'IGM aveva iniziato l'attività di monitoraggio immediatamente dopo l'istituzione della RDN (2008.0), organizzandola inizialmente su calcoli semestrali. Già nei primi mesi del 2010, la disponibilità di 5 calcoli aveva consentito di dare l'avvio ad un'analisi dei risultati, presentata nel convegno EUREF dello stesso anno, che aveva portato ad una prima stima delle velocità (Farolfi, 2010), di entità ancora incerta a causa del limitato arco temporale disponibile. Il monitoraggio, sospeso nel biennio 2010-2011, è stato ripreso nella primavera del 2012, anche a seguito degli incarichi affidati all'Istituto dal DPCM 10 novembre 2011, incarichi che hanno elevato l'importanza assegnata a questa attività all'interno dell'Ente. La ripresa delle attività è avvenuta in un contesto sostanzialmente mutato: l'IERS aveva aggiornato a ITRF2008 la realizzazione ITRF2005, e l'IGS aveva abbandonato il frame IGS05 e forniva ora i suoi prodotti (orbite dei satelliti e moto del polo), indispensabili per l'esecuzione dei calcoli, nel nuovo frame IGS08. Il cambio di frame era in realtà avvenuto in corrispondenza della settimana 1632 (aprile del 2011), epoca nella quale era stato aggiornato a IGS08.atx anche il file di calibrazione delle antenne.

Alcune prove hanno evidenziato una serie di problematiche nella comparazione di calcoli eseguiti nelle due finestre temporali, dalla settimana 1460 (epoca 2008.0) alla 1632 e dalla settimana 1632 ad oggi. E' apparso quindi evidente che un monitoraggio di lungo periodo della RDN, dal momento dell'istituzione (settimana 1460) ad oggi (settimana 1670), dovesse gestire gli effetti derivanti dal cambio di frame effettuato dall'IGS in corrispondenza della settimana 1632.

Come evidenziato da Altamimi (Altamimi et al., 2011b; IGSMail-6354) infatti, la variazione di scala introdotta dal frame ITRF2008, rispetto alla realizzazione ITRF2005, determina un decremento medio dell'altezza delle stazioni di circa 6 mm, più accentuato nell'emisfero Sud. Inoltre la traslazione dell'asse Z produce a basse latitudini uno shift positivo delle coordinate nella direzione Nord. Calcoli effettuati all'IGM su network di stazioni permanenti estesi a livello nazionale (NetGeo e ItalPos), hanno confermato questo effetto di traslazione delle stazioni lungo la direzione Nord, con uno shift dell'ordine dei 5 mm. Anche l'introduzione del nuovo file di calibrazione delle antenne determina differenze tutt'altro che trascurabili sulle coordinate, con shift in Up che arrivano, in qualche caso, a superare addirittura il centimetro (Baire et al., 2012; Habrich et al., 2011; Kenyeres, 2012). Una problematica particolare è emersa inoltre sulle stazioni

che montano l'antenna LEIAT504 con radome SCIT, per la quale non si dispone di una specifica calibrazione né relativa né assoluta. Il problema riguarda una parte cospicua delle stazioni RDN (oltre il 10%), concentrate purtroppo nelle zone meridionali, dove l'esistenza di deformazioni locali è maggiormente probabile. Nella prima fase di calcolo il problema era stato superato seguendo le direttive EUREF, che consigliano, in questi casi, l'utilizzo della calibrazione senza radome. Attualmente è stata presa in considerazione la calibrazione con radome SCIS, una struttura più piccola ma che presenta la stessa geometria. Da prove effettuate è risultato che l'utilizzo di quest'ultima modifica i risultati in Up di quantità dell'ordine del cm e, in qualche caso, anche superiore. In seguito ad un'approfondita analisi della questione si è deciso di utilizzare la calibrazione con radome SCIS, che modificherà delle stesse quantità l'altezza delle stazioni interessate. Quanto suddetto conferma che la settimana 1632 si caratterizza come un elemento di forte discontinuità che rende di fatto non confrontabili i dati elaborati prima di tale limite con quelli successivi. D'altra parte l'utilizzo separato delle due serie non permette di disporre di un arco temporale sufficientemente lungo, tale da consentire di stabilire con sufficiente attendibilità la presenza di eventuali zone di deformazione e quantificarne l'entità.

7.2 Le nuove realizzazioni ITRF2008 e IGS08

Il 31 maggio 2010 IERS ha pubblicato il frame ITRF2008, ultima realizzazione dell'ITRS, basata, come le precedenti, su 4 tecniche geodetiche: VLBI, SLR, GPS e DORIS che hanno collezionato osservazioni rispettivamente per 29, 26, 12.5 e 16 anni (Altamimi et al., 2011b). L'origine dell'ITRF2008 è stata definita in modo da rendere nulle le traslazioni e le relative velocità rispetto al centro di massa medio terrestre, risultante dall'analisi delle serie temporali SLR. La scala dell'ITRF2008 è stata definita in modo tale da annullare il fattore di scala e la sua velocità rispetto alla media delle soluzioni a lungo termine delle tecniche VLBI e SLR. L'orientamento dell'ITRF2008 è stato definito in modo tale da annullare all'epoca 2005.0 i parametri di rotazione e le rispettive velocità tra ITRF2008 e ITRF2005. Questa condizione di allineamento è stata applicata mediante l'uso di 179 stazioni geodetiche di elevata qualità (su un totale di 934 stazioni ITRS): 107 GPS, 27 VLBI, 15 SLR e 12 DORIS. L'ITRF2008 è caratterizzato da prestazioni più elevate rispetto alle soluzioni precedenti, compresa l'ITRF2005, non solo in termini di precisione della posizione e velocità delle stazioni ma anche per il miglioramento nella definizione dei parametri, in particolare dell'origine e della scala.

Il 17 aprile 2011 (settimana GPS 1632) l'IGS ha adottato, come sistema di riferimento per i suoi prodotti, l'IGS08, basato sulla soluzione ITRF2008 (Rebischung et al. 2011). Nella stessa data IGS ha anche aggiornato i valori delle calibrazioni delle antenne satellitari e delle antenne dei ricevitori terrestri, pubblicati nel file IGS08.atx (Schmid, 2011; IGSMail-6354). Le motivazioni che hanno condotto IGS ad attuare questo aggiornamento sono molteplici, si accenna nel seguito ad alcune delle principali.

- Sussiste una differenza di scala tra ITRF2005 e ITRF2008, rispettivamente alla base di IGS05 e IGS08, di circa -0.94 ppb. La scala del frame terrestre è strettamente correlata con la determinazione della componente radiale (z) dell'offset del centro di fase (Phase Center Offset - PCO) dell'antenne satellitare. Conseguentemente all'adozione di IGS08 è stato quindi necessario stimare nuovamente la componente z del PCO dei satelliti GPS e GLONASS per renderla pienamente consistente con il nuovo frame.
- Il file IGS05.atx contiene parametri di calibrazione non specifici ma medi relativi a blocchi di satelliti, per tutti quelli lanciati dopo il 2006. Questa caratteristica è cruciale per la costellazione GLONASS che ha subito un cambiamento radicale dall'anno 2006. Con l'introduzione del file IGS08.atx sono state adottate calibrazioni delle antenne satellitari ottenute con parametri di stima della variazione del centro di fase dell'antenna (Phase Center Variation - PCV) specifici per ogni satellite.
- Nel file IGS05.atx le calibrazioni ottenute mediante l'uso di robot riguardavano il 60% delle stazioni IGS. Il nuovo file IGS08.atx ne ha aggiunte 15, portando al 70% la quota delle stazioni IGS con calibrazione robotizzata. Inoltre sono state aggiornate la gran parte delle calibrazioni in uso con i risultati

ottenuti da calibrazioni robotizzate più recenti.

- Nel file IGS08.atx sono state introdotte per buona parte delle antenne dei ricevitori correzioni specifiche alla stima del PCV per il segnale GLONASS.

Il sistema IGS08 è basato essenzialmente su un sottoinsieme di 232 stazioni selezionate fra quelle IGS alla base di ITRF2008. La scelta ha cercato di selezionare stazioni stabili e caratterizzate da elevate prestazioni, secondo i seguenti criteri:

- almeno 5 anni di osservazioni;
- numero di discontinuità minore di 5;
- assenza di discontinuità nella stima delle velocità;
- deviazione standard per la stima della velocità minore di 0.3 mm/anno.

Nella selezione sono state inoltre preferite le stazioni legate ad un maggior numero di tecniche geodetiche fra quelle considerate dall'ITRF, stazioni che fanno uso di orologi atomici esterni e di antenne calibrate mediante robot.

L'IGS08 è pienamente consistente con il file di calibrazione IGS08.atx; al contrario ITRF2008 è basato indirettamente sull'uso del file IGS05.atx. Le conseguenze di tale incoerenza sulla stima delle coordinate dei siti IGS sono state valutate mediante un'approfondita analisi eseguita da alcuni centri di calcolo IGS (AC) mediante il metodo di Precise Point Positioning (PPP). Per 65 stazioni delle 232 IGS, le differenze delle coordinate nei due frame, dovuta alla differente calibrazione delle antenne, sono state reputate non trascurabili, considerando l'elevata precisione con cui sono state stimate le coordinate ITRF2008. La soglia oltre la quale tali differenze diventano non trascurabili è stata stabilita al valore di 1.2 mm in planimetria e di 3 mm in quota (IGSMail-6354). Per qualche stazione la differenza raggiunge 4 mm in planimetria e 11 mm in quota. Sebbene le differenze tra le stime delle coordinate ITRF2008 e IGS08 siano complessivamente minori rispetto a quelle tra ITRF2005 e IGS05, IGS, al fine di ottenere la massima coerenza tra i prodotti IGS e il frame di riferimento, ha ritenuto di non riallineare IGS08 con ITRF2008. Le velocità dei siti IGS, invece, sono identiche in entrambi i frame.

7.3 Nuove strategie per la RDN

E' dunque evidente che a partire dalla settimana 1632 la strategia di analisi della rete RDN deve utilizzare un frame di inquadramento coerente con l'ITRF2008: quindi o l'ITRF2008 medesimo o l'IGS08. L'adozione di IGS08 appare la scelta migliore, poiché consente di ottenere una maggiore consistenza con i prodotti IGS utilizzati nell'elaborazione: orbite, moto del polo e file di calibrazione delle antenne IGS08.atx. Inoltre, poiché l'EUREF esegue e pubblica calcoli settimanali e cumulativi della propria rete di stazioni permanenti (EPN) allineati all'IGS08, l'adozione di questo frame per l'elaborazione di RDN consentirebbe di validare i risultati ottenuti per le posizioni e le velocità delle stazioni che i due network hanno in comune.

E' necessario però considerare che le 13 stazioni fiduciali RDN sono tutte incluse nella soluzione ITRF2008, mentre solamente 9 di esse fanno parte della soluzione ufficiale IGS08, precisamente: CAGL, GRAS, GRAZ, MATE, MEDI, NOT1, SOFI, WTZR e ZIMM. Questo inconveniente potrebbe essere risolto eliminando dall'insieme delle stazioni fiduciarie le 4 stazioni non IGS08 (GENO, IENG, LAMP e PADO). D'altra parte il mantenimento di tutte le 13 stazioni fiduciali offrirebbe il vantaggio di rimanere coerenti con la definizione della rete RDN, oltre ad abbracciare in maniera più omogenea e completa la rete stessa. Quest'ultima soluzione è possibile seguendo ancora una volta l'esempio dell'EUREF che ha incluso, dalla settimana 1632 ad oggi senza soluzioni di continuità, le 4 stazioni suddette nella classe di stazioni fiduciali che inquadrano la propria rete. La procedura che consente di correggere la stima delle posizioni ITRF2008 per renderla consistente con il frame IGS, seguita anche dall'EUREF, è quella descritta in IGSMail 6356, che consiste nell'applicazione di una correzione specifica a ciascuna stazione, correzione che dipende sostanzialmente dal tipo di antenna e dalla latitudine alla quale la stazione riceve i segnali.

Avendo inoltre la necessità, come nel nostro caso, di trasformare i risultati finali in ETRF2000, si incorre in un'ulteriore difficoltà, derivante dalle caratteristiche dei parametri di trasformazione forniti dall'EUREF, che mettono in relazione ETRF2000 con ITRF2008 e non con IGS08. Anche in questo caso l'inconveniente è facilmente superabile considerando che in realtà la trasformazione globale di Helmert tra ITRF2008 e IGS08 ha parametri nulli, ovvero i due frame si basano essenzialmente sullo stesso datum. Infatti, sebbene, come sopra descritto, le coordinate di alcuni siti subiscano una correzione nel passaggio tra ITRF2008 e IGS08, le differenze tra i due riferimenti sono esclusivamente puntuali; ne consegue che per il passaggio delle coordinate al sistema di riferimento finale ETRF2000 possono essere utilizzati, partendo da IGS08, gli stessi parametri di trasformazione pubblicati per ITRF2008 nel memo di Altamimi (Altamimi et al., 2011a).

Alla luce di quanto visto, la strategia più efficace per i calcoli della RDN successivi all'epoca 1632, è sicuramente quella di allineamento al frame IGS08/IGS08.atx; rimane comunque il problema legato alla soluzione di continuità relativa alla settimana 1632, che rende incerti i confronti con le precedenti elaborazioni inquadrare in ITRF2005, anche in seguito alle differenze derivanti dall'aggiornamento delle calibrizioni delle antenne. Volendo sfruttare tutto l'arco temporale della RDN, la soluzione che appare più diretta è quella di riprocessare nel frame IGS08/IGS08.atx anche i dati precedenti alla settimana 1632.

Anche questa radicale strategia, per altro un po' onerosa, presenta comunque aspetti che necessitano di chiarimenti. Non è infatti rigoroso trattare nel frame IGS08 i dati precedenti alla settimana 1632, periodo per il quale i prodotti IGS necessari per i calcoli (effemeridi precise e moto del polo terrestre) sono espressi in IGS05. Con la stesura di un progetto noto con il nome di "IGS repro 2", i centri di calcolo IGS, sensibili a questa problematica, hanno già manifestato l'intenzione di eseguire una rielaborazione delle orbite dei satelliti nel frame IGS08 a partire dal 1994. Sebbene questo progetto di reprocessing sia in discussione da più di un anno, non è di fatto ancora iniziato sotto l'egida ufficiale di IGS. Lo ha però eseguito il CODE di Berna, che ha ricalcolati e resi disponibili sia le effemeridi precise che il moto del polo in IGS08 per il periodo precedente alla settimana 1632. Basandosi su questi dati, che danno comunque sufficienti garanzie di correttezza, è possibile procedere al completo reprocessing di RDN.

In definitiva quindi la strategia che riteniamo più opportuna, e sulla quale intendiamo muoverci, è quella di riprocessare l'intera RDN nel frame IGS08/IGS08.atx a partire dalla settimana 1460 fino all'epoca corrente. Riteniamo che questo approccio, sfruttando l'intero arco temporale disponibile, consentirà di verificare con maggiore accuratezza l'esistenza e la consistenza delle zone di deformazione e conseguentemente di apportare le giuste correzioni alle coordinate RDN.

Bibliografia

- ALTAMIMI Z., 2012. ITRS, ETRS89, their relationship and realization. EUREF Symposium, Paris, 6-8 June.
- BAIRE Q. et AL., 2012. Impact of Individual GNSS Antenna Calibration Used in the EPN on Positioning. EUREF Symposium, Paris, 6-8 June.
- KENYERES A., 2012. EPN Densification of ITRF2008 / IGS08. EUREF Symposium, Paris, 6-8 June.
- ALTAMIMI Z., BOUCHER C., 2011a. Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of EUREF GPS campaign 18-05-2011, vers. 8.
- ALTAMIMI Z., COLLILIEUX X., MÉTIVIER L., 2011b. ITRF2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame. *Journal of Geodesy*, Volume 85, Number 8, Pages 457-473.
- BARBARELLA M., CAPORALI A., LONGHI D., SANSÒ F., 2011a. Il sistema di riferimento geodetico italiano: un esempio di collaborazione tra CISIS, Università, IGM. Atti della 15^a Conferenza nazionale ASITA, Colorno.
- BARBARELLA M., GANDOLFI S., 2011b. Confronto tra stima di parametri di posizione e velocità ottenuti da serie temporali continue o a blocchi. Atti della 15^a Conferenza nazionale ASITA, Colorno.
- CAPORALI A., LIDBERG M., STANGL BARSA G., 2011. Lifetime of ETRS89 Coordinates. EUREF Symposium, Chisinau, 25-28 May.
- HABRICH H., 2011. EPN Analysis Coordinator Report. EUREF Symposium, Chisinau, 25-28 May.
- REBISCHUNG P. et al., 2011. IGS08: Elaboration, consequences and maintenance of the IGS realization of ITRF2008. EGU General Assembly, Vienna, 03-08 April.
- SCHMID R., 2011. IGS phase center model igs08.atx: Current status and future improvements. *Kolloquium Satellitennavigation*, 4. Juli.
- BARBARELLA M., GANDOLFI S., RICUCCI L., 2010. Confronto degli spostamenti e velocità di una rete di stazioni permanenti ottenuta con due software di calcolo. Atti della 14^a Conferenza nazionale ASITA, Brescia.
- BIAGI L., CALDERA S., 2010a. Esperienze e procedure per la compensazione automatica di reti permanenti. Atti della 14^a Conferenza nazionale ASITA, Brescia.
- BIAGI L., DERMANIS A., 2010b. Studio delle deformazioni da reti permanenti GNSS: una nuova metodologia e sua applicazione al caso europeo. Atti della 14^a Conferenza nazionale ASITA, Brescia.
- CALIGARIS A., DE AGOSTINO M., MANZINO A. M., 2010. L'uso della Rete Dinamica Nazionale per l'inquadramento delle reti regionali. Atti della 14^a Conferenza nazionale ASITA, Brescia.
- BARBARELLA M., GANDOLFI S., RICUCCI L., 2010. Esperienze di calcolo della Rete Dinamica Nazionale. *Bollettino SIFET*, n. 2.
- FAROLFI G., 2010. Monitoring and analysis of the Italian Permanent Network RDN of GNSS stations. EUREF Symposium, Gavle, 2-5 giugno.
- BARONI L., CAULI F., FAROLFI G., MASEROLI R., 2009. Final results of the Italian "Rete Dinamica Nazionale" (RDN) of Istituto Geografico Militare Italiano (IRMI) and its alignment to ETRF2000. *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, Anno LXVIII n. 3.
- BIAGI L., CALDERA S., MAZZONI A., 2009a. La transizione italiana da un sistema di riferimento statico a uno dinamico: analisi effettuate da G3 su IGM95 e RDN. *Bollettino SIFET*, n. 1.
- BIAGI L., CALDERA S., MAZZONI A., ROGGERO M., 2009b. Monitoraggio di coordinate e di qualità, trasformazione a ETRF2000-RDN per reti permanenti di diversa estensione. Atti della 13^a Conferenza nazionale ASITA, Bari.
- BELLONE T., BENDEA H., BETTI B., BIAGI L., CINA A., PESENTI M., PIRAS M., 2008. Dalle reti statiche alle reti dinamiche: reti per il tempo reale e IGM95 in Piemonte e Lombardia. *Bollettino SIFET*, n. 2.
- IGSMail-6354: in <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2011/006346.html>
- IGSMail-6456: in <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2011/006348.html>