

Il monitoraggio della rete Rete Dinamica Nazionale dal 2009 al 2013: aspetti geodetici e applicativi

Maurizio Barbarella, Stefano Gandolfi, Luca Poluzzi, Luca Tavasci

DICAM – ARCES – CIRI-ICT, Scuola di Ingegneria ed Architettura, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna, Tel. 051-2093106, Fax 051-2093114, e-mail: maurizio.barbarella@unibo.it

Riassunto

Come da DPM del 10/11/2011 l'Italia, in linea con le normative europee, ha assunto come Sistema Geodetico Nazionale l'ETRS89 con frame ETRF2000 e riconosciuto nella Rete Dinamica Nazionale (RDN) la realizzazione del sistema stesso. La rete RDN è costituita all'impianto da 99 stazioni, le cui posizioni sono state calcolate dall'IGM e da altri tre centri di calcolo tra cui l'Università di Bologna, con inquadramento nel Frame di riferimento ETRF2000 (epoca 2008.0). Dal novembre 2012 IGM ha reso pubblici e disponibili in un unico sito i dati delle stazioni di riferimento di RDN. Il presente lavoro intende approfondire alcuni aspetti legati al calcolo dell'intero dataset presente nel sito ufficiale IGM dal 2009 al 2013 eseguito mediante il codice di calcolo GIPSY OASIS II. In particolare sono stati analizzati e discussi sia gli aspetti legati all'archivio sia i risultati derivati dal calcolo. Per quanto attiene l'archivio l'analisi ha coinvolto aspetti legati alla consistenza e completezza nonché a criticità ai fini di un suo uso corretto. Per quanto attiene il calcolo, vengono invece riportati i metodi di calcolo e di post-trattamento delle soluzioni ai fini di ottenere posizioni e velocità residue rispetto al sistema di riferimento Europeo ETRF00.

Abstract

As the EU prescribing, also Italy have assumed a dynamic geodetic reference system based on GNSS permanent stations. This is materialized by the RDN network, that realize the ETRS89 system on the ETRF00 frame. At the beginning the RDN network has been constituted by 99 permanent stations and their positions were calculated by IGM and by other three analysis centers, among which Bologna University, and then framed on the ETRF00 (2008.0) as prescribed in the DCM del 10/11/2011. From the november 2012 the IGM published the whole data-set of RDN, that include files from 2008 to date. In this paper some topics concerning the calculation of this data-set was discussed. In this paper some topics concerning the calculation of this data-set was discussed. Firstly a detailed analysis of the archive was made, in order to investigate the consistency of it and its effective suitability for a proper geodetic calculation. Then the calculation of the archive was performed with a PPP approach using the GIPSY-OASIS II software package. Finally the residual velocities of the RDN's stations from the ETRF00 was calculated and here showed.

1. Introduzione

Come avviene per il sistema di riferimento mondiale (ITRS) ed europeo (ETRS) anche l'Italia nel 2011 ha formalmente adottato un sistema geodetico di riferimento basato su reti di stazioni permanenti GNSS. Tale scelta consente di poter eseguire un monitoraggio in continuo delle posizioni di tali stazioni ed un aggiornamento della loro posizione laddove, per movimenti naturali (terremoti, movimento delle placche, subsidenza etc..) o puramente tecnici (ripristino, cambio di antenna o radome,..), le coordinate di tali punti si "spostino" di quantità ritenute significative. Il

passaggio da una rete “passiva”, materializzata per mezzo di vertici misurati sporadicamente, ad una rete “attiva” presenta vantaggi come la possibilità di poter utilizzare tali dati per l’inquadramento di raffittimenti locali realizzati mediante tecnologia GNSS e anche per altre importanti applicazioni di natura tecnica. Il presupposto però per un pieno uso di tale infrastruttura attiva è che i dati siano continui, pubblici, gratuiti, garantiti e corredati da tutte le informazioni necessarie ad una corretta elaborazione.

Dal novembre 2012 l’archivio dei dati della nuova Rete Dinamica Nazionale (RDN) è diventato pubblico (e gratuito). L’Istituto Geografico Militare infatti ha creato un *repository* con i dati delle stazioni permanenti (<ftp://37.207.194.154/>) e un portale WEB (<http://www.igmi.org/rdn/>) con le informazioni caratterizzanti la rete. Per ogni stazione è stata realizzata una monografia con riportate le informazioni aggiornate sull’ubicazione del sito e sull’*attuale* strumentazione installata.

Il DICAM dell’Università di Bologna, già nella fase di realizzazione del primo calcolo di RDN fu coinvolto come centro di calcolo “parallelo” e realizzò soluzioni mediante l’utilizzo di differenti codici di calcolo sia con Gamit che con Gipsy Oasis II in approccio PPP, oltre che il Bernese usato da IGM, dal Politecnico di Milano e dall’Università di Padova), . Successivamente su incarico del CISIS vennero eseguiti altri calcoli utilizzando Gamit e Gipsy Oasis II.

I risultati ottenuti, pienamente in linea con quanto ottenuto dagli altri centri di calcolo, si basavano su spezzoni di 30 giorni cadenzati in modo semestrale. Tale scelta iniziale ha permesso una prima stima delle coordinate calcolate nel sistema ETRS ed in particolare nel Frame ETRF00 epoca 2008.0 ma non ancora stime sulla velocità dei punti.

Un lavoro presentato nella conferenza ASITA 2011 (Barbarella e Gandolfi, 2011) mostrava criticità e aspetti tecnici legati al calcolo di una rete di stazioni permanenti per “blocchi” rispetto ad un calcolo in “continuo”. Dal lavoro, emerge come, nonostante i parametri di posizione e velocità media dei punti siano comunque stimabili da un calcolo per blocchi, il monitoraggio continuo possa evidenziare eventuali “salti” nella posizione dovuti a cambi di strumentazione o eventi naturali ed eventuali effetti periodici (tipicamente di natura stagionale).

Nel giugno 2013 è stato eseguito il download completo dell’archivio RDN presente nel sito di IGM e sono iniziate le procedure per il calcolo. Nel presente lavoro si vogliono mostrare alcuni aspetti tecnici legati al calcolo e una prima stima di consistenza dell’archivio nonché una stima di velocità delle singole stazioni espresse sia nel sistema ITRF che in ETRF.

2. L’archivio dati e aspetti legati alla fase di pretrattamento del dato

L’archivio dati che si è deciso di analizzare è quello contenuto nel *repository* ufficiale IGM fino al 16 giugno 2013. Tale archivio contiene dati dal 2008 fino al 2013 in formato RINEX generalmente compresso. L’archivio completo è stato preliminarmente analizzato con il pacchetto PAT-NET_GNSS (Gandolfi e Tavasci, 2013) al fine di poter disporre di un quadro completo dei dati in esso contenuto e predisporlo al calcolo.

2.1. Consistenza effettiva dell’archivio

Dall’analisi eseguita è stato possibile ottenere un quadro completo dell’archivio stesso sia per mezzo di una in una visione di insieme che di dettaglio (ossia stazione per stazione).

In particolare il numero complessivo di file contenuti nello spezzone di oltre 5 anni di dati e quindi successivamente analizzati ammonta a circa 150000. In Figura 1 si riporta la posizione delle stazioni contenute nell’archivio e classificate in modo differente a seconda che fossero appartenenti alle reti IGS, EPN, RDN all’impianto (elenco presente nell’allegato tecnico al DPM) oppure come “Siti nuovi” per indicare le stazioni non associabili a nessuna delle reti di cui sopra anche se si trattasse di stazioni permanenti da lungo tempo in acquisizione. E’ evidente ad esempio come compaia in blocco l’intera rete di stazioni permanenti per il posizionamento in tempo reale della Regione Abruzzo già in acquisizione dal **2006**. In tale mappa sono riportate tutte le stazioni presenti anche se ipoteticamente presenti per un solo giorno. Le stazioni della Regione Abruzzo ad esempio

sono presenti per il solo anno 2012. L'altro dato che completa il quadro è quello relativo alla popolosità dell'archivio. In tale senso in Figura 2 si mostra un grafico dove giorno per giorno

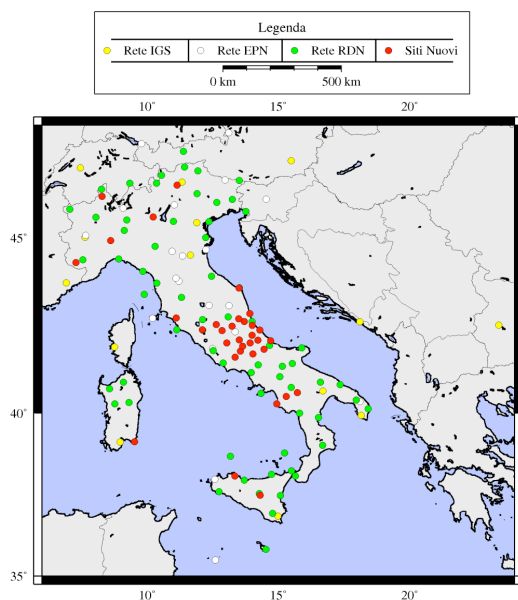


Figura 1. Mappa delle stazioni Permanenti contenute nell'archivio IGM fino al 16 giugno 2013.

viene riportata la percentuale di stazioni presenti (con una quantità di dati giornaliera ritenuta sufficiente) rispetto a quella totale. In particolare in colore blu sono riportate le stazioni afferenti alla rete di impianto (costituita dalle stazioni IGS, EPN e "RDN di impianto" di **Figura 1**) mentre in colore rosso si mostrano le stazioni classificate come "Siti Nuovi" (eccezione fatta per la rete di stazioni permanenti della Regione Abruzzo, presenti come ricordato per un "breve" intervallo di tempo. Da quanto è possibile osservare dalla Figura 2 l'archivio si presenta inizialmente popolato per le finestre temporali dedicate al calcolo per blocchi (in corrispondenza dei quali sono stati eseguiti i calcoli periodici) ma dal 2009 l'archivio risulta essere popolato in modo continuo anche se è evidente in alcune finestre temporali un calo significativo di presenza di stazioni (inizio 2012, primavera 2013).

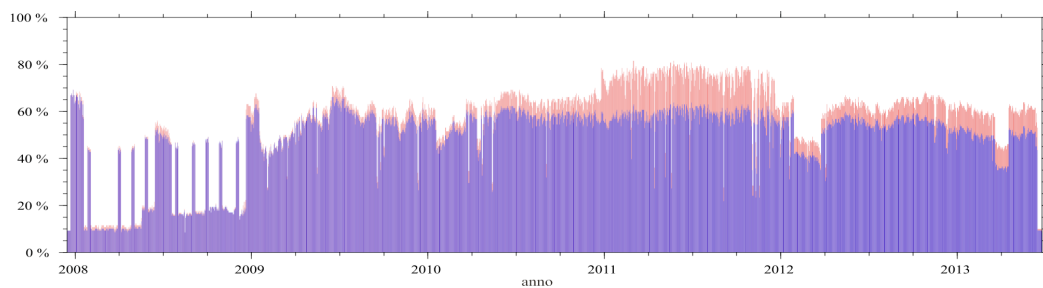


Figura 2. Grafico della percentuale giornaliera di stazioni presenti nell'intero archivio IGM. In blu vengono riportate le stazioni afferenti alla rete di impianto (costituita dalle stazioni IGS, EPN e RDN di impianto di Figura 1) mentre in rosso le stazioni classificate come Siti Nuovi.

Dalla analisi di PAT-NET_GNSS è stato anche possibile associare a ciascuna stazione presente nell'archivio un indice di consistenza, proposto in (Gandolfi e Tavasci, 2013). Questo indice è stato derivato dalla combinazione di alcuni parametri ed in particolare: la percentuale di file nell'arco di tempo in cui la stazione ha fornito dati ($\%rinex_{ON}$), la presenza di finestre senza dati ($\%interruzioni$), la dimensione della finestra relativa ai dati della singola stazione rispetto alla finestra complessiva analizzata ($\%finestra$). Tali dati sono stati poi combinati in modo pesato ($A=0.4$, $B=0.4$, $C=0.2$) con una formula empirica di seguito riportata:

$$Q_1 = [A * \%rinex_{ON} + B * \%finestra + C * (1 - \%interruzioni)] * 100$$

E' da sottolineare come tale parametro non consideri la qualità del dato acquisito, ritenuto comunque importante ma in subordine alla presenza del dato stesso (soprattutto se l'analisi è focalizzata a reti di stazioni permanenti).

In Figura 3 si riporta una visione di insieme dell'archivio espressa rispetto al parametro Q1. Le stazioni con un parametro Q1 sono quelle ritenute più affidabili (ossia quelle in cui il dato è quasi sempre presente nell'archivio) mentre quelle con il parametro più basso sono quelle su cui meno si può fare affidamento per un uso di inquadramento di raffittimenti locali. Al fine di rendere ragionevole tale analisi, si è ritenuto però di circoscrivere questa analisi solo all'ultimo spezzone di dati (anno 2012).

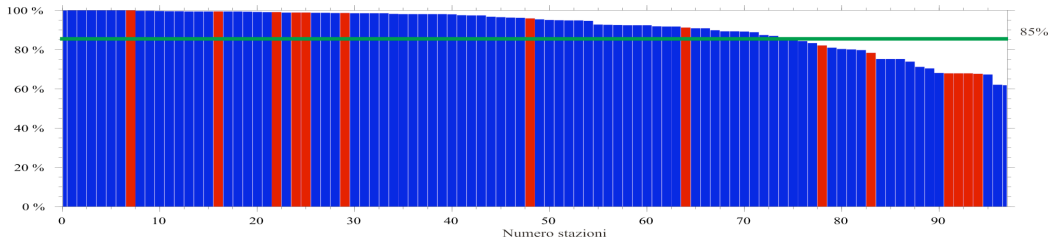


Figura 3. Parametro Q1 associato ad ogni stazione riportate in ordine decrescente. In blu vengono riportate le stazioni afferenti alla rete di impianto (costituita dalle stazioni IGS, EPN e RDN di impianto di Figura 1) mentre in rosso le stazioni classificate come Siti Nuovi.

In tale periodo infatti IGM ha reso pubblico l'archivio che è quindi divenuto fruibile e quindi utilizzabile da tutti. E' da sottolineare però che l'elenco delle stazioni presenti per l'anno 2012 ammonta a 95 ma solo 82 sono le stazioni presenti all'impianto (blu) e 13 quelle nuove (barre rosse). Una analisi analoga eseguita sull'archivio IGS su un intervallo di 5 anni ha mostrato come tutte le stazioni permanenti presentassero un parametro Q1 maggiore o uguale a 85%.

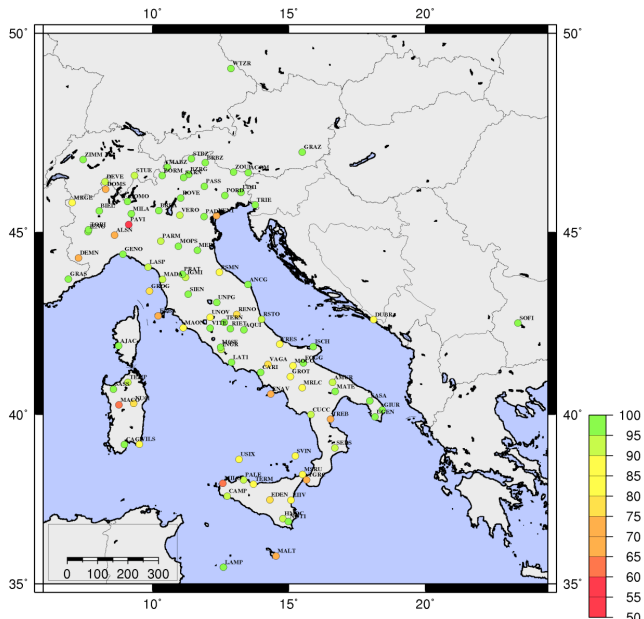


Figura 4. Mappa dei siti dell'archivio RDN con, per ogni sito l'indice di qualità (parametro Q1) calcolato per l'anno 2012.

Applicando questo criterio di qualità sull'archivio RDN si osserva come solo 75 stazioni potrebbero essere considerate soddisfacenti.

Un'ulteriore analisi legata a questo aspetto è relativa all'ubicazione spaziale di tali stazioni. In Figura 4 si mostra una mappa delle stazioni presenti nel sito RDN per l'anno 2012 dove ad ogni punto è stato associato un colore legato al parametro Q1.

Tali numeri per quanto empirici inducono comunque ad una riflessione legata ai criteri che dovrebbero essere seguiti per la realizzazione di un archivio che ha l'ambizione di essere il repository ufficiale del sistema di riferimento nazionale. Un repository di tale importanza dovrebbe prima di tutto essere costituito da stazioni in grado

di garantire il dato nel tempo, in secondo luogo essere corredato da metadati completi e affidabili in grado di consentire un corretto utilizzo di tali acquisizioni. Ammesso infatti che l'attuale nucleo di stazioni italiane in EPN (Euref Permanent Network) non sia sufficiente a costituire il raffittimento locale del sistema ETRF, allora il raffittimento che si dovrebbe realizzare dovrebbe essere costruito a partire da dati certi sia nell'acquisizione che per il loro utilizzo.

2.2. Completezza dei dati ai fini del calcolo

Passando ora al problema legato alla predisposizione al calcolo di tale archivio, come anticipato anche nell'introduzione, diversamente da IGS e EUREF, IGM al momento non presenta un archivio con un database di *site-log* per ogni stazione della Rete Dinamica Nazionale. Ciò che è invece presente è la monografia per ogni singola stazione aggiornata allo *stato attuale*.

In un intervallo temporale di quasi 5 anni si ritiene però che difficilmente non ci siano state variazioni sulle strumentazioni. Tali modifiche, soprattutto quando riguardano tipologia di antenna e radome, possono portare a variazioni sensibili e non reali nella stima delle posizioni. In altri termini, non considerare un cambio di strumentazione può indurre un "salto" apparente sulla serie delle soluzioni proprio in corrispondenza del cambio.

A seguito di quanto precedentemente introdotto, si è resa necessaria una analisi approfondita dell'archivio acquisito tale da consentire di poter conoscere oltre al numero di stazioni presenti anche informazioni basilari per ciascuna stazione tipicamente contenute nelle intestazioni dei file Rinex. Anche per questo scopo ci si è avvalsi delle funzionalità implementate nel pacchetto PAT-NET_GNSS. Dall'analisi condotta è emersa una situazione particolarmente eterogenea.

Le principali criticità riscontrate sono:

- a) Presenza di un numero di stazioni differente sia da RDN di impianto sia dall'elenco del sito IGM.
- b) Eterogeneità di tipologie di file Rinex contenute (*filename.dYY.Z, filename.gz, filename.OYY*)
- c) Variazioni di strumentazione per ciascuna stazione
- d) Presenza di tipologia di strumentazione non conforme a Standard Internazionali

Tali criticità, ed in particolare il punto c), in assenza dei cosiddetti *log site* in grado di certificare le variazioni di strumentazione sulle singole stazioni, non consentono di poter garantire sulla accuratezza reale delle soluzioni derivate da quei dati. Constatata la situazione è quindi iniziata una indagine estremamente dettagliata per tutti quei casi ritenuti critici e volta a ricostruire le variazioni nella strumentazione, con particolare riferimento alle tipologie di ricevitori e antenne (e dei rispettivi *radome*), grazie anche al contributo dei gestori diretti delle stazioni.

Completata questa fase si è ottenuto un quadro completo delle stazioni utilizzabili e tutte le informazioni necessarie al calcolo giornaliero su tutto lo spezzone temporale considerato.

3. Il Calcolo

Una volta completata l'analisi sull'archivio si è proceduto con il calcolo della rete con l'ormai consolidato approccio PPP (Precise Point Positioning) che, come ricordato, garantisce alta efficienza e risultati assolutamente comparabili ai più tradizionali approcci differenziati.

Nel dettaglio tecnico, le soluzioni sono state ottenute utilizzando la risoluzione dell'ambiguità iniziale di fase, Vienna Mapping Function 1 come modello troposferico, orbite JPL final non fiduciali, e angolo di taglio per le osservabili fissato a 10°.

Tale strategia, frutto di numerose sperimentazioni, consente di raggiungere precisioni ed accuratezze del tutto confrontabili con gli approcci differenziati, decisamente più complessi nella fase di progettazione e calcolo.

Il calcolo dell'intero *dataset* ha richiesto meno di una settimana di calcolo potendo disporre di una procedura realizzata ad hoc per l'elaborazione che permette di sfruttare appieno le potenzialità del calcolatore parallelizzando la fase di calcolo. Si noti che l'eliminazione o l'aggiunta di una stazione non richiede il calcolo delle altre.

4. Il post-trattamento del dato

La soluzione ottenuta dal codice è, per sua natura, inquadrata nel sistema di riferimento delle orbite (Igb). Volendo però giungere ad una soluzione nel sistema ETRF, ed essendo note le formule di trasformazione da ITRF a ETRF, allora il primo passaggio da effettuare è quello di trasformare le soluzioni da igb08 a ITRF08. Per questa ragione ad ogni singola soluzione è stata applicata una trasformazione di similitudine utilizzando per la stima dei 7 parametri come “punti doppi” 13 stazioni IGS inserite nella rete RDN. Successivamente ogni singola soluzione, a questo punto espressa in ITRF08 con posizione riferita all’epoca della misura, è stata convertita in ETRF00 mediante i parametri riportati nel memo v7 pubblicato da Boucher e Altamimi (2002).

Al termine di questo processo si è potuto disporre di una soluzione sia nel sistema di riferimento ITRF08 che nel sistema ETRF00, ogni soluzione riferita all’epoca della misura. In realtà tale soluzione, essendo l’intervallo considerato di alcuni anni, si presenta non come un campione di coordinate ma come una serie temporale (una per ciascuna stazione); tali serie sono generalmente affette da outliers, discontinuità, periodicità, rumori, e una determinata pendenza (velocità media). La letteratura in merito è ampia ed in continua evoluzione, ma i parametri sopra elencati sono ormai da considerarsi come consolidati. Per questa ragione, al fine di meglio caratterizzare ogni singola stazione, sono state apportati alcuni aggiornamenti ad una procedura già esistente (Barbarella et al 2009) introducendo anche la possibilità di considerare discontinuità nelle serie, e valutare le componenti periodiche mediante il periodogramma di Lomb-Scargle. Tali analisi hanno consentito non solo di raggiungere coordinate all’epoca dell’impianto (2008.0) molto più accurate considerando l’intera serie delle soluzioni e propagata all’epoca 2008.0 ma anche parametri di velocità media residua più attendibili.

5. Alcuni risultati.

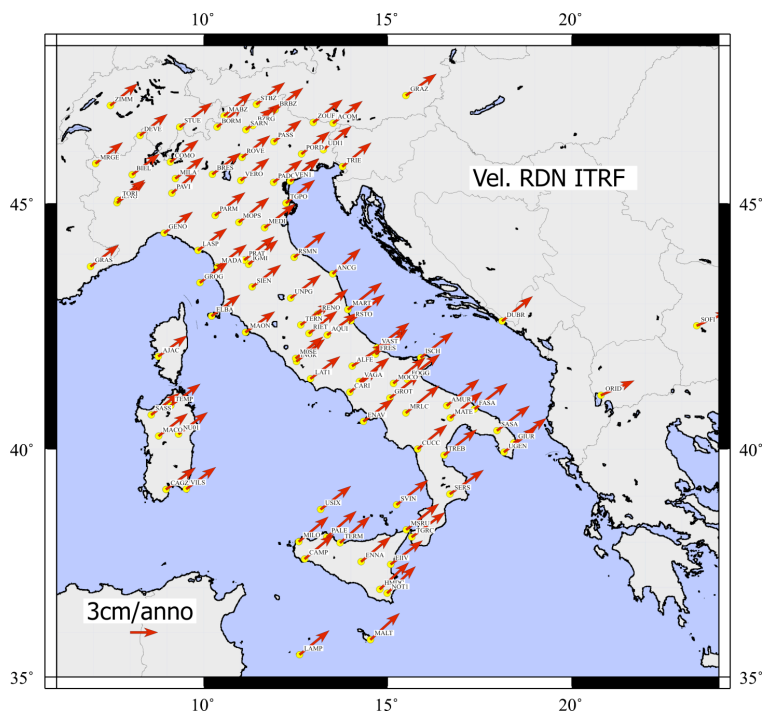


Figura 5. Vettori di velocità media in ITRF08 dei siti presenti nell’archivio RDN con una soluzione più lunga di 3 anni.

Per quanto attiene la stima in ITRF (Figura 5) è evidente come direzione e modulo di tali vettori siano in pieno accordo nel loro insieme con ciò che è noto, ossia un movimento complessivo del territorio in direzione N-E con una velocità media di circa 2.5 cm/anno.

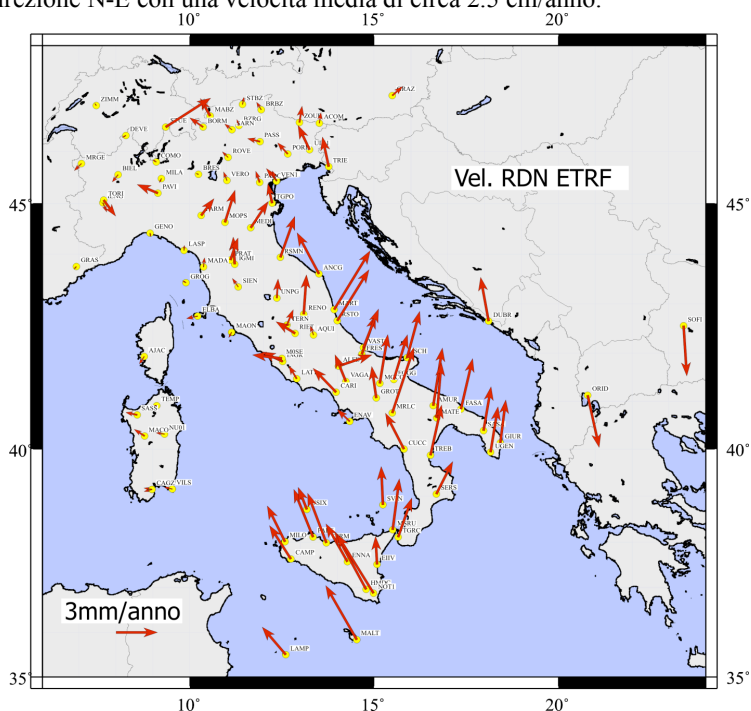


Figura 6. Vettori di velocità media in ETRF00 dei siti presenti nell'archivio RDN con una soluzione più lunga di 3 anni (si noti la scala grafica di rappresentazione delle velocità residue di un ordine di grandezza inferiore alla figura 5).

Per quanto attiene invece la soluzione ETRF, dalla figura 6 risulta confermato un campo di velocità residue stimabile in 3/5 mm/anno per la parte meridionale italiana. Tale analisi risulta essere in linea con altri risultati ottenuti anche in ambito geofisico su reti molto più dense ma assume in questo contesto una valenza di natura differente in quanto pone il problema di comprendere se tali velocità residue debbano essere considerate nella definizione del Datum oppure quando tali velocità residue impongano un aggiornamento del Datum con nuove coordinate ufficiali.

6. Conclusioni

Per rendere veramente fruibile un frame costituito da stazioni permanenti è indispensabile che le ricezioni siano a disposizione degli utenti con continuità e con un accesso ai dati il più semplice possibile. E' stato molto importante che IGM abbia reso disponibile in modo unificato un archivio contenente anche le stazioni RDN. Serve tuttavia un archivio specificamente finalizzato alla definizione e fruizione del Frame, nel quale

- siano presenti tutte e solo le stazioni selezionate per continuità e qualità dei dati, a costituire il frame nazionale,
- siano forniti i site log corretti,
- i dati siano mantenuti

L'analisi dell'archivio messo a disposizione dall'IGM ha evidenziato quanto importante sia il disporre di procedure software per l'analisi di grandi quantità di dati (sono stati trattati 150000 file giornalieri in qualche giorno di calcolo, per la pre-analisi e circa una settimana per il calcolo)

e l'utilità di definire parametri di qualità delle stazioni permanenti che, per quanto ancora empirici, sono assai utili a classificarne l'efficienza.

Il set di dati attualmente disponibile (al massimo 5 anni di dati) comincia ad essere utile per definire valori significativi per le velocità "assolute" (in ITRF08) e residue (in ETRF2000) delle varie stazioni. Questa analisi è ancora in corso sulle stazioni che presentano una sufficiente continuità del dato, dalle prime evidenze non più del 30% del totale.

7. Bibliografia

Altamimi Z, Boucher C., 2002, The ITRS and ETRS89 Relationship: New results from ITRF2000. EUREF Publication, Eds. J. Torres, H. Hornik, Mitteilungen des BKG, Frankfurt, Germany , No 10, pp 49 -52

Barbarella M., Cenni N., Gandolfi S., Ricucci L., Zanutta A., 2009, Technical and scientific aspects derived by the processing of GNSS networks using different approaches and software, ION GNSS 22th International Technical Meeting of the Satellite Division, 23-25 September 2009, Savannah, GA, USA, 2677-2688.

Barbarella M., Gandolfi S., 2011, Confronto tra stima di parametri di posizione e velocità ottenuti da serie temporali continue o a blocchi, Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA, (ISBN 978-88-903132-5-7), 15-18 novembre, Reggio di Colorno (Parma), pp. 257-265

Gandolfi S., Tavasci L., 2013, Procedure per l'analisi di consistenza e qualità di archivi di reti di stazioni permanenti GNSS: applicazione alla nuova rete dinamica nazionale RDN, Bollettino SIFET, 1/2013, 55-66