

IL SERVIZIO DI POSIZIONAMENTO GNSS PER LA REGIONE PUGLIA

Ludovico BIAGI (*), Alessandro CAPRA (**), Cristina CASTAGNETTI (**), Tina CAROPPO (***), Michele MUSCHITIELLO (***), Antonio BELLANOVA (***), Angelo GALEANDRO (****)

(*) DIAR c/o Polo of Como, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo Da Vinci 32, 20133 Milano –IT–, 0313327562, ludovico.biagi@polimi.it

(**) DIMeC, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905/B, 41100 Modena –IT–, 059205(6188, 6298), (capra.alessandro, cristina.castagnetti)@unimore.it

(***) Tecnopolis CSATA, 0804670 (513, 313, 217), (c.caroppo, m.muschitiello, a.bellanova)@tno.it (****)

Sommario

La Regione Puglia, nell'ambito del Progetto per la realizzazione del Sistema Informativo Territoriale Regionale (SIT), ha realizzato una Rete di Stazioni Permanenti GNSS (Global Navigation Satellite System), finalizzata alla definizione di un'infrastruttura geodetica e alla fornitura di un servizio di correzione differenziale dei dati acquisiti da ricevitori GPS e tale da consentire, agli utenti, il raggiungimento di un'accuratezza del dato di "posizione" su scala centimetrica in tempo reale. Il progetto per la realizzazione della rete vede la collaborazione tra Tecnopolis, Ente attuatore dell'intero progetto, e il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile (DIMEC) dell'Università di Modena e Reggio Emilia, che assicura il supporto scientifico a tutte le fasi del processo. Nel presente lavoro sono illustrate le varie fasi della realizzazione della rete e lo stato di avanzamento complessivo dei lavori; particolare rilievo è dato all'esposizione delle problematiche e delle relative soluzioni che hanno costituito carattere di innovazione rispetto alle reti regionali precedentemente realizzate in Italia: il disegno della rete vincolato dalla particolare forma della Puglia, l'utilizzo della Rete Unitaria per la Pubblica Amministrazione Regionale (RUPAR) per la connessione e la trasmissione dei dati, la strategia di inquadramento complicata dalla geometria assai povera della rete IGS rispetto al Sud dell'Italia.

Abstract

The Region of Puglia, in Italy, has a project in the works about the construction of the Regional Territorial Information System (SIT). An important aspect of the project is the new permanent GNSS network; its main purpose is the differential corrections service for GPS data from users receivers. As a consequence, users will be able to obtain positioning in real time with a great accuracy (about centimeters). The network installations and management is provided by Tecnopolis, the reference organization for all the project, and the Department of Mechanical and Civil Engineering (DIMEC), University of Modena and Reggio Emilia, for the scientific support. In this paper the GNSS network will be presented from the beginning (choice of stations sites, installations, data quality checks, ...) to the first station coordinates estimations, focusing on the problems and the solutions. These makes the Puglia GNSS network innovative in respect to the other regional GPS networks in Italy: the network design due to the particular regional morphology; the use of the Regional RUPA for the connection and the data transmission; the processing and adjustment strategies, complicated by the lack of IGS stations in the South of Italy.

1. Introduzione

Le reti GNSS forniscono la risposta più efficiente alle esigenze di posizionamento e di navigazione. Alla possibilità di utilizzare il sistema statunitense GPS (NAVSTAR) si è aggiunta la potenzialità di utilizzo congiunto dei sistemi russo GLONASS ed europeo GALILEO

Le reti di stazioni permanenti GNSS definiscono una stabile infrastruttura geodetica di riferimento e incrementano le prestazioni dei sistemi di posizionamento rendendo possibile effettuare con grande rapidità posizionamenti plano-altimetrici assai accurati. L'elevata accuratezza ottenibile, coniugata al notevole aumento dell'affidabilità della posizione ottenuta, permettono applicazioni in rilevamenti di interesse istituzionale quali: catasto e gestione del territorio da parte dei comuni, nonché applicazioni nella progettazione e nel tracciamento di precisione di infrastrutture (ad es. percorsi fer-roviani e stradali). In quest'ottica nasce la rete GNSS regionale, costituita da 12 stazioni GPS/GLONASS, omogeneamente distribuite sul territorio pugliese. In armonia con le sue finalità, Le stazioni sono state installate presso le sedi di Enti Pubblici connessi con il Centro Tematico del SIT, presso Tecnopolis, che svolge funzioni di gestione e controllo della rete. I dati acquisiti dalle stazioni della rete sono distribuiti attraverso il sito web <http://gps.sit.puglia.it>. Sono disponibili i dati grezzi in formato RINEX con campionamenti a scelta da un secondo a sessanta secondi. Gli utenti, pertanto, possono rielaborare i dati delle loro campagne di rilievo (post-processing) ottenendo precisioni sub-centimetriche. La Rete GNSS Regionale, inoltre, permette la correzione del posizionamento in tempo reale (NRTK), con accuratezze centimetriche, mediante trasmissione dati via Internet/GSM/GPRS con protocollo Ntrip e secondo modelli consolidati (NRT2, MAX3, I-MAX2-3). Attraverso tali strumenti, la Regione Puglia intende costituire un Servizio Regionale di Posizionamento a vantaggio dell'intera Comunità. Il Servizio potrà prevedere, in futuro, la fornitura di soluzioni di basi GPS in post processamento su richiesta degli utenti, basato sull'elaborazione dei dati della rete e dei dati acquisiti da questi ultimi. Il servizio di posizionamento si integra perfettamente in un più ampio Servizio Geografico Regionale, che comprende anche la rete geodetica recentemente realizzata dalla Regione Puglia quale raffittimento della rete nazionale IGM95. La Rete GNSS e la rete geodetica di raffittimento vedono la collaborazione, rispettivamente, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e dell'Istituto Geografico Militare (IGMI) con i quali la Regione Puglia ha stipulato apposite convenzioni. In particolare, la convenzione con l'INGV consentirà di utilizzare i dati della rete RING (Rete Integrata Nazionale GPS), che ha finalità di studio geodinamico del territorio nazionale, relativi alle stazioni presenti nella regione e a quelle limitrofe al fine di densificare ed irrobustire la rete Puglia. Ciò consentirà di migliorare la soluzione di inquadramento geodetico e di aumentare le potenzialità del servizio di posizionamento e navigazione. La Rete GNSS e la Rete Geodetica di raffittimento si integrano in una nuova infrastruttura regionale caratterizzata da un unico e stabile sistema di riferimento plano-altimetrico, che permette di effettuare posizionamenti di precisione a supporto di tutte le attività connesse al territorio.

Il SIT integra il servizio di posizionamento con altri servizi di carattere territoriale: la realizzazione del database topografico regionale, l'integrazione con dati di pianificazione e catastali (attraverso il riutilizzo del sistema di interscambio SigmaTER), lo sviluppo di funzioni applicative in ambiente GIS di supporto ai processi decisionali, prioritariamente nell'ambito della pianificazione territoriale e paesaggistica. I servizi del SIT sono destinati, oltre agli organi interni della Regione, alle Province, Comuni, Comunità Montane, altri Enti e Istituzioni pubbliche o private operanti sul territorio, Università, scuole e altri centri di formazione (didattica e ricerca), Gestori di reti di infrastrutture, Gestori di reti di trasporto, Ditte e liberi professionisti.

2. Progetto e realizzazione della rete

2.1 Progetto della rete ed individuazione dei siti idonei ad ospitare le Stazioni

Il progetto della rete GPS si basa su due criteri fondamentali:

- copertura della regione con raggi di influenza delle stazioni di circa 40 km e, quindi, interdistanze attorno ai 70-80 km;
- ubicazione delle stazioni su edifici pubblici, possibilmente sede di enti locali, al fine di poter disporre di siti stabili e curati nel tempo, con presenza di alimentazione elettrica e facilità d'accesso e, soprattutto, collegati attraverso la rete RUPAR della Regione Puglia al Centro Tematico del SIT per la elaborazione e trasmissione dei dati

Tali parametri hanno portato alla messa a punto di un progetto di rete costituita da 12 stazioni permanenti, come schematizzato in Fig. 1. Altri siti, collocati in prossimità dei punti di progetto, sono stati individuati come possibili siti di back up.

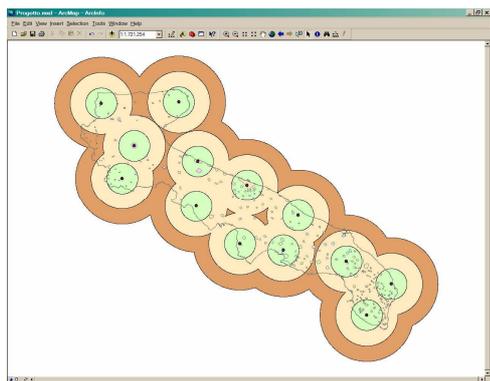


Figura 1. Schema di progetto della rete di stazioni permanenti GNSS della Regione Puglia.

| Siti candidati | Nome sito |
|----------------------------|-----------|
| Accadia (FG) | ACCA |
| Barletta (BA) | BARL |
| Fasano (BR) | FASA |
| Foggia (FG) | FOGG |
| Ginosa (TA) | GINO |
| Giurdignano (LE) | GIUR |
| Margherita di Savoia (FG) | MARG |
| Poggiorsini (BA) | POGG |
| Salice Salentino (LE) | SASA |
| San Paolo di Civitate (FG) | SPCI |
| Ugento (LE) | UGEN |
| Valenzano (BA) | VALE |

In seguito ai sopralluoghi e alle analisi preliminari:

- il sito di Barletta, è stato sostituito con Margherita di Savoia;
- il sito previsto sulla sede del comune di Foggia è stato sostituito con la sede della Provincia di Foggia.

Nell'area Garganica è stato individuato il sito di Ischitella fra le possibili localizzazioni.

Le acquisizioni di 48 ore continuative ai fini della pre-analisi di qualità sono state effettuate dalla Ditta *Leica Geosystem*, realizzatrice dell'intera rete GPS, utilizzando ricevitori *LEICA GRX1200GGPRO* ($f_w=4.03$) corredate da antenne *LEICA AT504*.

2.2 Pre-analisi delle acquisizioni e scelta definitiva dei punti di Stazione

La pre-analisi consiste nell'elaborazione dei dati acquisiti collocando l'antenna su treppiede all'altezza di circa 1,60m sui punti candidati ad ospitare le stazioni GPS. L'analisi dell'elaborazione sia in termini di posizionamento assoluto sia in termini di collegamento statico differenziale consente di verificare la presenza di disturbi nei segnali acquisiti e quindi di validare l'idonea ubicazione dell'antenna e del ricevitore. I RINEX, suddivisi per sessioni della durata di 12 ore, sono stati analizzati con il *software(sw) UNAVCO TEQC* per individuare l'eventuale presenza di *cycle slips* e *multipath* imputabili a ostacoli oppure perturbazioni del segnale tali da la qualità del dato acquisito. Le elaborazioni sono state inoltre condotte con il *software TRIMBLE GEOMATICS OFFICE (TGO)* utilizzando i dati della stazione permanente IGS di Matera (MATE) per la verifica dei parametri statistici di affidabilità delle soluzioni *baseline*. L'analisi con il *sw TEQC* (non riportata in questa sede) ha fornito risultati qualitativamente più che soddisfacenti dal punto di vista della presenza di *cycle slips*: la maggior parte delle sessioni di misura ha presentato valori nulli e negli altri casi il numero è sempre stato inferiore a 10 (accettabile come "fisiologico"). Valori superiori si sono riscontrati per il sito di SPCI; ulteriori analisi hanno messo in evidenza che i *cycle slips* presenti sono concentrati su satelliti che sorgono/tramontano ad est rispetto al punto in cui era situata la stazione, per angoli compresi tra 10° e 15°. Poiché in tale direzione sono presenti alcuni alberi, si ritiene che la realizzazione di un pilastro più elevato rispetto agli standard previsti da capitolato, possa risolvere il problema. L'analisi con il *sw TGO* delle basi tra le stazioni e la stazione IGS MATE ha fornito i seguenti risultati (Tab.2):

- tenendo conto delle distanze (sempre maggiori di 80 km), del tipo di effemeridi utilizzate (IGS rapide) e del tipo di soluzione (*Iono Free Float*), i valori del parametro RMS sono del tutto soddisfacenti;

- i siti di FASA, GINO, POGG e VALE sono stati processati separatamente vista la distanza inferiore (meno di 70 km), in conseguenza della quale è stata adottata una soluzione di tipo diverso (*Iono Free Fixed*). Anche in questo caso i valori del parametro RMS sono risultati soddisfacenti.

| From | To | RMS[m] |
|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|--------|
| MATE | ISCH | 0.014 | MATE | GIUR | 0.010 | MATE | SPCI | 0.017 | MATE | SASA | 0.017 |
| MATE | ISCH | 0.014 | MATE | GIUR | 0.019 | MATE | SPCI | 0.024 | MATE | SASA | 0.021 |
| MATE | ISCH | 0.011 | MATE | GIUR | 0.016 | MATE | SPCI | 0.010 | MATE | SASA | 0.020 |
| MATE | ISCH | 0.023 | MATE | GIUR | 0.020 | MATE | SPCI | 0.017 | MATE | SASA | 0.012 |
| MATE | ISCH | 0.014 | MATE | GIUR | 0.013 | MATE | SPCI | 0.008 | | | |
| MATE | UGEN | 0.021 | MATE | ACCA | 0.011 | MATE | FOGG | 0.009 | MATE | MARG | 0.011 |
| MATE | UGEN | 0.013 | MATE | ACCA | 0.011 | MATE | FOGG | 0.011 | MATE | MARG | 0.011 |
| MATE | UGEN | 0.015 | MATE | ACCA | 0.014 | MATE | FOGG | 0.014 | MATE | MARG | 0.010 |
| MATE | UGEN | 0.012 | MATE | ACCA | 0.011 | MATE | FOGG | 0.009 | MATE | MARG | 0.009 |
| MATE | GINO | 0.009 | MATE | VALE | 0.016 | MATE | FASA | 0.010 | MATE | POGG | 0.010 |
| MATE | GINO | 0.009 | MATE | VALE | 0.018 | MATE | FASA | 0.013 | MATE | POGG | 0.011 |
| MATE | GINO | 0.008 | MATE | VALE | 0.020 | MATE | FASA | 0.012 | MATE | POGG | 0.090 |
| MATE | GINO | 0.010 | MATE | VALE | 0.010 | MATE | FASA | 0.010 | MATE | POGG | 0.080 |

Tabella 2. Risultati della post-elaborazione (software TGO) rispetto alla stazione IGS di Matera dei dati acquisiti sui siti candidati.

Delle soluzioni ottenute con il processamento delle basi è stata fatta anche l'analisi dei residui (qui non riportata) e della ripetibilità delle soluzioni, di cui si riporta una sintesi di alcuni parametri statistici (Tab.3), ottenendo risultati positivi. Da quanto precedentemente esposto si attesta che i siti ACCA, ISCH, FASA, FOGG, GINO, GIUR, MARG, POGG, SASA, SPCI, UGEN e VALE sono idonei ad accogliere l'installazione di una stazione permanente (SP), almeno dal punto di vista della qualità del segnale GPS acquisibile in loco. La rete definitiva è pertanto rappresentata in Fig. 4.

| Siti candidati | Deviazione standard[m] | | | Scarto massimo[m] | | |
|----------------|------------------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
| | ΔX | ΔY | ΔZ | ΔX | ΔY | ΔZ |
| ACCA | 0.009 | 0.010 | 0.005 | 0.018 | 0.024 | 0.011 |
| FASA | 0.002 | 0.003 | 0.001 | 0.004 | 0.006 | 0.001 |
| FOGG | 0.008 | 0.008 | 0.003 | 0.015 | 0.017 | 0.006 |
| GINO | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.007 | 0.001 | 0.004 |
| GIUR | 0.004 | 0.009 | 0.003 | 0.010 | 0.019 | 0.006 |
| UGEN | 0.006 | 0.005 | 0.002 | 0.013 | 0.011 | 0.005 |
| VALE | 0.009 | 0.003 | 0.005 | 0.023 | 0.005 | 0.011 |
| MARG | 0.006 | 0.004 | 0.004 | 0.013 | 0.009 | 0.008 |
| POGG | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.010 | 0.007 | 0.010 |
| SASA | 0.012 | 0.007 | 0.008 | 0.026 | 0.016 | 0.017 |
| SPCI | 0.007 | 0.004 | 0.011 | 0.017 | 0.009 | 0.022 |
| ISCH | 0.012 | 0.012 | 0.005 | 0.030 | 0.025 | 0.011 |

Tabella 3. Analisi della ripetibilità delle soluzioni ottenute con l'elaborazione delle basi (siti candidati-MATE): parametri statistici di sintesi.

2.3 Installazione e materializzazione della rete

E' stato allestito presso Tecnopolis il Centro di elaborazione dei dati delle stazioni GPS ed è stata monumentata (antenna, ricevitore GPS, apparato di memorizzazione, apparato di ricezione/trasmissione, *firmware*) la stazione di Valenzano (nella sede di Tecnopolis), al fine di poter verificare immediatamente la fattibilità di utilizzare la RUPAR per la trasmissione dei dati e per la gestione remota delle stazioni, attraverso il *software SpiderNet*. Il collegamento ha dato esito positivo.

L'utilizzo della RUPAR per la *gestione remota* delle stazioni GPS da parte del personale del Centro Tematico del SIT ha comportato il potenziamento dei servizi di rete già disponibili presso le altre 11 amministrazioni locali coinvolte, ed in particolare:

- attivazione e gestione della rete RSR (Rete Servizi Rupar) presso la generica Porta di Rete (PdR), in modo da poter attivare i servizi di interoperabilità tra il Centro di elaborazione e la singola Stazione
- gestione di un elaboratore (il ricevitore GPS) sulla RSR

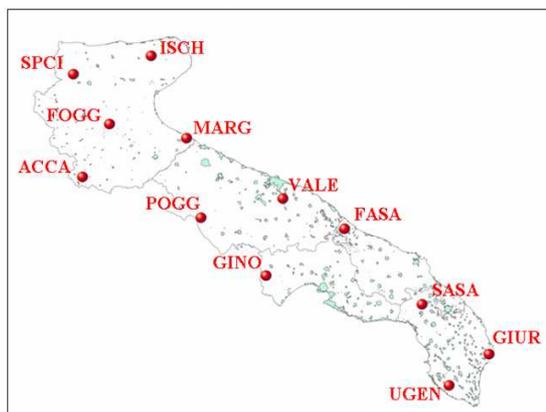


Figura 4. La rete di stazioni GNSS permanenti della Regione Puglia.

- attivazione di opportune politiche di sicurezza.

3. Elaborazione dei dati ed inquadramento della rete

3.1 Elaborazione e compensazione della rete

Contemporaneamente al progredire delle installazioni, sono stati elaborati i dati per effettuare una prima stima delle coordinate di tutte le stazioni della rete. Un primo inquadramento è stato effettuato per le stazioni di FASA, GINO, GIUR, SASA e VALE: è stata elaborata la settimana GPS 1421; come SP IGS di inquadramento sono state utilizzate CAGL, NOT1, MATE, SOFI, MEDI, le cui coordinate a priori sono state ottenute dalla media delle soluzioni settimanali IGS dalla settimana 1417 alla settimana 1424. Nel vincolare le coordinate a priori delle stazioni di inquadramento è stato adottato un approccio di vincolo stocastico, attribuendo precisioni di 2 mm in planimetria e 4 mm in altimetria. I dati grezzi GPS sono stati elaborati in accordo alle linee guida IGS, mediante il programma *Bernese v5.0* (upgrade del 16.12.2006), ottenendo 7 soluzioni di rete giornaliere; per le diverse soluzioni sono stati controllati i seguenti parametri di qualità: gli RMS delle soluzioni di codice, le numerosità dei *cycle slips*, le percentuali di ambiguità fissate e infine la ripetibilità delle coordinate stimate; tutti questi parametri sono nella norma, a verifica di una buona qualità generale dei dati. Le 7 soluzioni giornaliere sono quindi state compensate per ottenere una soluzione finale settimanale. Un secondo inquadramento è stato effettuato al termine della realizzazione di ulteriori 4 stazioni: è stata elaborata la settimana GPS 1429, al fine di inserire nella rete le stime delle coordinate di ACCA, POGG, SPCI, UGEN. In vista del prossimo completamento della rete e di un'imminente compensazione globale, si è scelto di procedere con un inquadramento locale: utilizzare le 5 stazioni già inquadrate in IGS05, e le relative stime di coordinate, per inquadrare quelle nuove. Il procedimento seguito e il sw utilizzato sono analoghi alla precedente compensazione, in questa però è stato necessario effettuare la rimozione di alcuni dati anomali; al termine della pulizia dei dati, tutti gli indici di qualità sono rientrati abbondantemente nella norma, a verifica di una buona qualità generale dei dati. Le stime di coordinate per le ultime stazioni, FOGG, MARG, ISCH sono state determinate di nuovo con approccio di inquadramento locale: in

questo caso è stato utilizzato il software *LEICA GEOMATIC OFFICE* (LGO v4.0) e la scelta delle stazioni di riferimento, con le relative stime di coordinate, è ricaduta su ACCA, POGG, SPCI. L'attuale stima di coordinate (Tab.5) è quindi provvisoria e verrà entro breve sostituita da una compensazione globale di tutte le stazioni della rete; viste le procedure seguite

| Stazioni | X[m] | Y[m] | Z[m] | RMS E [mm] | RMS N [mm] | RMS h [mm] |
|----------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| FASA | 4612625.280 | 1441887.944 | 4148677.771 | 0.8 | 0.9 | 1.7 |
| GINO | 4645418.980 | 1398799.528 | 4127148.488 | 0.4 | 1.1 | 1.4 |
| GIUR | 4633414.150 | 1544029.453 | 4088639.234 | 0.9 | 0.7 | 2.6 |
| SASA | 4627991.170 | 1500565.254 | 4110719.803 | 1.2 | 1.2 | 3.0 |
| VALE | 4611304.518 | 1401419.167 | 4163931.177 | 0.5 | 0.7 | 1.6 |
| ACCA | 638402.426 | 1271636.421 | 4176171.151 | 1.0 | 1.8 | 4.2 |
| POGG | 4634122.854 | 1351055.121 | 4155772.739 | 0.5 | 0.8 | 2.6 |
| SPCI | 4598377.465 | 1254478.430 | 4224298.627 | 1.0 | 2.1 | 5.3 |
| UGEN | 4653957.576 | 1526724.653 | 4071930.925 | 1.4 | 1.3 | 3.4 |
| FOGG | 4612763.6742 | 1282018.8671 | 4200293.3580 | 2.5 | 2.5 | 4.0 |
| ISCH | 4572564.3220 | 1302230.4242 | 4237948.9761 | 2.5 | 2.5 | 4.0 |
| MARG | 4604200.3454 | 1333194.2629 | 4193669.4879 | 2.5 | 2.5 | 4.0 |

Tabella 5. Rete Puglia: stime finali coordinate cartesiane IGS05 e precisioni associate.

nelle elaborazioni, ci si attendono valori che differiscono di poco da quanto già stimato.

3.2 Parametri di trasformazione fra coordinate rete (IGS05) e coordinate utente (IGM95) per il Servizio di posizionamento e navigazione

Allo stato attuale, mancando le misure e le stime delle basi dalle SP della rete pugliese ai capisaldi IGM95 loro collegati, l'approccio più conservativo per la trasformazione fra IGS05 (coordinate rete) a IGM95 (coordinate utente) è dato da un adattamento regionale e ragionato delle trasformazioni internazionali fra ITRF2005 (approssimante IGS05) e ETRS89 (di cui IGM95 è la realizzazione ufficiale italiana all'epoca 1989.0). Per un punto P, la trasformazione delle sue coordinate da ITRF2005 all'epoca τ ($x_{P,IGS05}(\tau)$) a ETRS89 all'epoca 1989.0 ($x_{P,ETRS89}(1989.0)$) è data dalla (Boucher et Altamimi, 2007):

$$x_{P,E89}(1989.0) = t + x_{P,I05}(\tau) + (\tau - 1989.0) \cdot \dot{R} \cdot x_{P,I05}(\tau) + (1989.0 - \tau) \cdot \dot{x}_{P,E89} \quad [1]$$

$$x_{\text{generico}} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, \dot{x}_{\text{generico}} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix}, t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}, \dot{R} = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{r}_3 & \dot{r}_2 \\ \dot{r}_3 & 0 & -\dot{r}_1 \\ -\dot{r}_2 & \dot{r}_1 & 0 \end{bmatrix}$$

le unità di misura implicitamente definite sono: metri per le lunghezze, anni per i tempi, radianti per gli angoli di rotazione (in senso orario). Le 3 componenti di t e i 3 elementi indipendenti di \dot{R} sono tabulati nel lavoro citato. La velocità ETRS89 del punto P ($\dot{x}_{P,E89}$) deve essere stimata. La [1] può essere scritta anche come:

$$x_{P,E89}(1989.0) = t + \vartheta_P(\tau) + R(\tau) \cdot x_{P,I05}(\tau) + x_{P,I05}(\tau) \quad [2]$$

dove

$$\vartheta_P(\tau) = (1989.0 - \tau) \cdot \dot{x}_{P,E89}, R(\tau) = (\tau - 1989.0) \cdot \dot{R}$$

Per definire una trasformazione univoca sul territorio della Puglia, si deve porre

$$\vartheta_P(\tau) \equiv \vartheta_{Puglia}(\tau) = (1989.0 - \tau) \cdot \dot{x}_{Puglia,E89} \quad [3]$$

dove $\dot{x}_{Puglia,E89}$ rappresenta una velocità ETRS89 media sulla regione. Per desumerla si può utilizzare la velocità tabulata ETRS89 per la stazione di Matera (EUREF, 2007), unica SP IGS a ragionevole distanza dal territorio pugliese. La [2] diviene dunque:

$$x_{P,E89}(1989.0) = t_{Puglia}(\tau) + R(\tau) \cdot x_{P,I05}(\tau) + x_{P,I05}(\tau) \quad [4]$$

dove

$$t_{Puglia}(\tau) = t + \vartheta_{Puglia}(\tau)$$

Le 3 componenti di $t_{Puglia}(\tau)$ e i 3 elementi indipendenti di

$R(\tau)$ rappresentano i parametri dell'usuale trasformazione di Helmert (senza fattore di scala), da aggiornarsi periodicamente e da rendere disponibili all'utenza. Si è considerata come epoca di riferimento il 15 maggio 2007, ovvero l'epoca $\tau = 2007.375$; utilizzando i risultati precedenti, con riferimento alla formula [4], sono stati stimati i 6 parametri finali della trasformazione per la Regione Puglia (Tab.6).

| Elemento | $t_{Puglia}(\tau)$ [m] | Elemento | $R(\tau)$ [mas] |
|----------|------------------------|----------|-----------------|
| t_1 | 0.0983 | r_1 | 0.99225 |
| t_2 | 0.0462 | r_2 | 9.51825 |
| t_3 | -0.1142 | r_3 | -14.35087 |

Tabella 6. Regione Puglia: parametri di trasformazione da IGS05 a IGM95 (ETRS89).

3.3 Test di qualità della trasformazione

Sono state effettuate delle acquisizioni sia in modalità statica sia in modalità RTK su due siti, Conversano e Palo del Colle, con lo scopo di verificare la qualità dei parametri di trasformazione determinati. I dati in statico sono stati elaborati con il *sw* LGO utilizzando come stazioni di riferimento FASA, VALE e POGG (coordinate ed errori associati: Tab.5). Sulla stima di coordinate così ottenuta è stata applicata la trasformazione precedentemente descritta al fine di ottenere le coordinate in ETRS89. Queste sono state confrontate con quelle riportate nelle monografie IGM95 (Tab.7); la differenza è minima.

| Punto di acquisizione | COORD. TRASFORMATE (IGS05 → ETRS89) | | | COORD. IGM95 (ETRS89) | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------|----------|-----------------------|----------------|---------|
| | φ | λ | h [m] | φ | λ | h [m] |
| CONVERSANO | 40°57'28.33909" | 17°06'01.85947" | 247.0639 | 40°57'28.3390" | 17°06'01.8580" | 247.140 |
| PALO DEL COLLE | 41°03'04.08462" | 16°42'38.46684" | 195.8237 | 41°03'04.085" | 16°42'38.465" | 195.83 |

Tabella 7. Test di qualità della trasformazione: confronto coordinate IGS05 trasformate e IGM95.

4. Conclusioni

Il servizio di posizionamento e navigazione della Regione Puglia è attivo sul sito *web*: <http://gps.sit.puglia.it>. Per volere della Regione, il servizio è offerto gratuitamente. Per accedere al servizio di distribuzione dei dati RINEX delle stazioni permanenti è necessario seguire la procedura di registrazione che avviene attraverso il suddetto sito *web*, dopo la compilazione di un opportuno modulo di registrazione.

Test di misura sulle potenzialità del posizionamento in tempo reale sono in corso sin dal mese di giugno. In particolare, sono state effettuate alcune acquisizioni in modalità RTK in zone alla massima distanza dalle stazioni della rete e sostanzialmente equidistanti. E' stato verificato che la correzione differenziale viene acquisita e consente rapidamente (10-15 secondi) una soluzione nel posizionamento dell'antenna GPS. Le coordinate sono state determinate nel sistema IGS05 (vedi capitolo precedente). L'antenna del ricevitore RTK è stata posizionata su vertici sia della rete IGM95 che della Rete Regionale di Raffittimento (fig.5) sui quali sono stati effettuati anche rilievi in modalità statica, in modo da poter applicare le trasformazioni tra IGS05 ed IGM95.

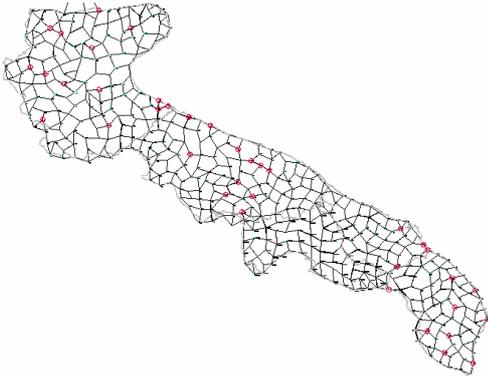


Figura 5. Vertici IGM e della Rete Regionale di raffittimento sottoposti a rilievi RTK.

Le elaborazioni di questi dati hanno dato risultati soddisfacenti. Inoltre, la rete GPS è già utilizzata nei rilievi per il collaudo dei prodotti topografici regionali in corso di realizzazione nell'ambito del SIT. A chiusura del collaudo della rete della Regione Puglia, si prevede di valutare la possibilità di integrare stazioni già esistenti sul territorio pugliese, quale quella ubicata presso la Facoltà di Ingegneria di Taranto che possiede caratteristiche idonee ad essere integrata nella rete regionale o altre ubicate presso Istituti di formazione professionale, con l'obiettivo di creare e rendere disponibile sul territorio un ampio servizio geografico regionale.

Bibliografia

- Biagi L., Caldera S., Visconti M. G.(2007), "A first estimate of the transformation from the global IGS and the Italian ETRF89-IGM95 RF for the Italian Peninsula", in fase di paper review per la pubblicazione sugli atti (IAG Symposia Volumes) del convegno GRF2006, Monaco.
- Boucher C., Altamimi Z. (2007): Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign, version 6, <http://lareg.ensg.ign.fr/EUREF/>, 2007.
- EUREF, ETRF2005 solution, <ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/euref/ETRF2005.SSC>, 2007.
- <http://gps.sit.puglia.it/>