



**ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E
DI GEOFISICA SPERIMENTALE**
Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche (CRS)

Progetto GPS - RTK: una rete GPS per il posizionamento in tempo reale nel Friuli Venezia Giulia

Contributi concessi per la realizzazione di progetti di ricerca scientifica, applicata o industriale di elevato impatto sistemico per il settore produttivo, del welfare e della Pubblica Amministrazione e di diffusione dei risultati della ricerca ai sensi dell'art. 23 LR 26/2005 d.d. 10 novembre 2005 e del Regolamento approvato con DPR. 120/2007.

Responsabile Scientifico: Dott. Enrico Priolo

FASE 1 RENDICONTO SCIENTIFICO

Rapporto redatto da: D. Zuliani, E. Priolo, P. Fabris, R. Barzaghi, M. Battaglia, B. Della Vedova e K. Aoudia

con contributi di: P. Bernardi, M. Bertoni, M. Bevis, A. Borghi, L. Cannizzaro, T. Cassola, M. Coccia, E. Del Negro, P. Di Bartolomeo, G. Durì, L. Pagano, F. Palmieri

Visto si approva,
Il Direttore del Dipartimento CRS:

Relazione 2009/142 CRS 17 INTA
Udine, 27 ottobre 2009

Indice

	pp
• Quadro di sintesi	2
1. Il sistema per il calcolo delle correzioni differenziali in tempo reale	6
2. Attivazione e verifica del servizio di correzioni differenziali in tempo reale	15
2.1 Attivazione del servizio	15
2.2 Verifica del servizio	17
3. Contatti e accordi con gestori di reti e servizi GPS	27
4. Inquadramento dei siti permanenti di FReDNet nella realizzazione più recente ETRF2000 del sistema di riferimento europeo ETRS89	35
5. Modellazione dei dati GPS continui (CGPS)	46
5.1 Modello per la correzione del carico marino (OTL) e atmosferico (ATML) delle misure CGPS	46
5.2 Modello elasto-plastico 3D della geodinamica del FVG	50
6. Campagne di misurazioni temporanee	53
6.1 Area A (Tolmezzo-M. Sernio)	53
6.2 Area B (Maniago-Ragogna-Sequals)	59
6.3 Area di collegamento tra Friuli Venezia Giulia e Slovenia	61
7. Monumentazione di capisaldi GPS	63
7.1 Metodologia OSU (<i>TECH2000</i>) per capisaldi temporanei	63
7.2 Metodologia OSU (<i>GPS MAST</i>) per siti permanenti	64
7.3 Metodologia POLIMI-DIIAR per caposaldi temporanei	69
8. Visite, seminari e convegni	74
8.1 Visite e seminari	74
8.2 Convegno di metà progetto	74
9. Presentazioni e pubblicazioni	76

Progetto GPS - RTK: una rete GPS per il posizionamento in tempo reale nel Friuli Venezia Giulia

Soggetto proponente:

UR¹ OGS: Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche - CRS (Udine).

Responsabile del progetto: Dott. Enrico Priolo.

Partecipanti UR OGS: Ing. David Zuliani, Dott. Francesco Palmieri, Paolo Fabris, Paolo Bernardi, Giorgio Durì, Dott. Paolo Di Bartolomeo, Elvio Del Negro, Michele Bertoni.

Collaboratori scientifici (o Unità di Ricerca UR):

UR UNITS: Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale;
Resp.: Prof. Bruno Della Vedova.

UR ITCP: International Centre for Theoretical Physics (ICTP) di Trieste;

Resp.: Dott. Karim Aoudia. **Partecipanti UR:** Dott. Letizia Cannizzaro.

UR POLIMI: Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie e del Rilevamento;

Resp.: Prof. Riccardo Barzaghi. **Partecipanti UR:** Dott. Alessandra Borghi.

UR UNIROMA: Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra;

Resp.: Prof. Maurizio Battaglia. **Partecipanti UR:** Teodoro Cassola, Martina Coccia, Luca Pagano.

Consulenze scientifiche:

Prof. Michael Bevis, Ohio State University (Columbus, Ohio, USA), Dept. of Civil & Environmental Engineering & Geodetic Science.

FASE 1 - Periodo di svolgimento delle attività:

1 luglio 2008 – 30 giugno 2009, con proroga fino al 15 ottobre 2009 concessa dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

¹ UR = Unità di Ricerca.

Quadro di sintesi

In questo documento si rendiconta l'attività scientifico/tecnica svolta e i risultati ottenuti durante la prima fase di svolgimento (FASE 1) del "Progetto GPS-RTK: una rete GPS per il posizionamento in tempo reale nel Friuli Venezia Giulia (GPS-RTK)", ammesso a contributo regionale ai sensi dell'art. 23 L.R. 26/2005 (Disciplina generale in materia di innovazione, ricerca scientifica e sviluppo tecnologico) e del Regolamento approvato con DPRReg 120/2007 per la realizzazione di progetti di ricerca scientifica, applicata o industriale di elevato impatto sistemico per il settore produttivo, del welfare e della Pubblica Amministrazione e di diffusione dei risultati della ricerca.

Si rammenta che questa prima fase di progetto rappresenta in realtà il secondo anno di svolgimento del medesimo progetto cui era stato concesso contributo per il primo anno di svolgimento ai sensi dell'Art. 11 della LR 11/2003 e del Regolamento approvato con DPRReg. n. 0324/Pres. (Codice progetto: 200501640001). Il primo anno del progetto si è concluso il 10 ottobre 2007, e il rendiconto economico e scientifico è stato inviato alla Regione nei tempi stabiliti. Pertanto, in questa relazione, sarà fornito anche un quadro complessivo circa le attività svolte e gli obiettivi raggiunti nel loro complesso durante i due anni nominali di svolgimento.

Il *Progetto GPS-RTK* si prefigge di realizzare un'infrastruttura di stazioni permanenti basato sul sistema GNSS (costellazioni di satelliti GPS e GLONASS e futura costellazione europea GALILEO) e grazie ad essa di attivare un servizio per il posizionamento di alta precisione in tempo reale secondo le modalità più diffuse di correzione differenziale quali RTK (Real-Time Kinematic), MRS (Multi Reference Station) e VRS (Virtual Reference Station). Il servizio, di libero accesso, permetterà all'utenza pubblica, privata e scientifica il posizionamento con precisione centimetrica in ogni luogo della Regione FVG già durante la fase del rilievo.

L'altro obiettivo, di alto valore scientifico, che si desidera conseguire in parallelo è la caratterizzazione dei processi tettonici regionali e di alcune aree più critiche dal punto di vista sismico. Esso avrà ricaduta nel medio e lungo termine. L'attività consisterà nel monitoraggio delle deformazioni crostali dell'area regionale, grazie alle osservazioni della rete di stazioni GPS permanenti e di alcune campagne episodiche di misurazione svolte all'uopo.

FASE 1: obiettivi previsti

La FASE 1 del progetto prevedeva il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1. Acquisto e installazione di hardware e software per il calcolo e la distribuzione delle correzioni differenziali di rete MRS e VRS in tempo reale.
2. Attivazione e verifica del servizio delle correzioni differenziali in tempo reale.
3. Incontri con i realizzatori e gestori di altre reti.
4. Esecuzione di una campagna di georeferenziazione delle stazioni GPS permanenti e loro inserimento nella "rete geodetica IGM95".
5. Esecuzione della seconda campagna di misurazione dei siti appartenenti all'area sismogenica di Tolmezzo-M. Sernio (Area A).
6. Identificazione e monumentazione di siti per campagne periodiche legate ad altre aree.

7. Convegno di metà progetto centrato su: servizio realizzato, panorama delle reti limitrofe e loro interazione, aspetti geodetici/cartografici e geodinamici.

FASE 1: obiettivi raggiunti

Al termine della FASE 1 sono stati raggiunti pienamente tutti gli obiettivi previsti. In particolare:

1. Dopo un'attenta indagine di mercato è stato acquistato il software GNSMART di GEO++ per il calcolo e la distribuzione delle correzioni differenziali di rete in tempo reale. Sono stati inoltre acquistati il server di calcolo ed il sistema operativo. GNSMART è stato installato e configurato per la raccolta e la distribuzione del dato differenziale secondo le più diffuse modalità: singola stazione (codice e fase), FKP e VRS. Il servizio è stato sottoposto, con esiti positivi, a una prima fase di test.
2. Sono stati organizzati alcuni incontri con gestori di reti e servizi simili. Sono state stipulate due convenzioni, rispettivamente 1) per l'integrazione del servizio di posizionamento con la Direzione Centrale Pianificazione Territoriale, Energia, Mobilità, e Infrastrutture di Trasporto della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, e 2) per lo scambio di dati e la georeferenziazione dei siti con l'Istituto Geografico Militare (IGM). E' stata analizzata la situazione relativa ai gestori di reti GPS e fornitori di servizi simili esistenti nelle aree limitrofe al Friuli Venezia Giulia, comprese Austria e Slovenia, e sono stati avviati i primi contatti con rappresentanti di Enti del Veneto, della Provincia Autonoma di Trento, con il fine di avviare future collaborazioni trans-frontaliere.
3. E' stata eseguita una campagna di acquisizione dati GPS sui caposaldi della rete IGM95. I dati della campagna sono stati elaborati e utilizzati per la corretta georeferenziazione dei siti permanenti di FReDNet nella realizzazione più recente, ETRF2000, del sistema di riferimento europeo ETRS89.
4. E' stata eseguita la seconda campagna di misurazione dei caposaldi appartenenti all'area sismogenica di Tolmezzo-M. Sernio (Area A).
5. Sono stati identificati e monumentati 4 siti appartenenti a due nuove aree d'interesse. La prima atta a migliorare il legame con l'area studio a cavallo del confine italo-sloveno denominata K (cfr. testo in seguito), già monumentata e misurata in precedenti progetti; la seconda nell'area compresa tra Montereale Valcellina e Cortina D'Ampezzo.
6. E' stato organizzato un convegno (tenutosi a Udine il 7 ottobre 2009) di metà progetto centrato su: servizio realizzato, panorama delle reti limitrofe e loro interazione, aspetti geodetici/cartografici e geodinamici.

Oltre agli obiettivi previsti è stata installata una nuova stazione permanente GPS nell'area di Noventa di Piave (VE) anche per una migliore copertura del territorio regionale del FVG. Infine grazie alla consulenza del Civil & Environmental Engineering & Geodetic Science – Ohio State University e al supporto dell'Università di Trieste sono state acquisite nuove tecniche per l'installazione di siti GPS per campagne periodiche e/o semi-permanenti e per siti GPS permanenti. Le nuove tecniche sono state testate sul territorio nel contesto del monitoraggio di una frana. La consulenza scientifica dell'OSU ha indicato inoltre nuove metodologie di rilievo sul territorio per una più accurata e completa conoscenza dei fenomeni in atto.

Risultati raggiunti in due anni

Si ritiene utile fornire, in aggiunta, un quadro completo dei risultati complessivamente raggiunti al termine di due anni di progetto:

1. E' stata aggiornata e completata una rete (denominata FReDNet) composta da 13 stazioni GNSS (GPS+GLONASS) permanenti collocate nel Friuli Venezia Giulia. Ogni stazione è in grado di operare in maniera continua 24H, ed è completa di sistemi di alimentazione (con batterie di backup) e di sistemi di trasmissione del dato indipendenti.
2. E' stato abilitato un centro per la raccolta automatica dei dati della rete e per il calcolo e la distribuzione della correzione per il posizionamento in tempo reale. Il centro di raccolta dati è costituito da:
 - a. un sistema di ricezione del dato proveniente dalle stazioni GPS permanenti (FReDNet) e compatibile con il sistema di trasmissione e il protocollo da esse adottato;
 - b. un sistema hardware-software (server e programmi) per la gestione e lo smistamento del dato in ingresso ed uscita dal centro;
 - c. un sistema di distribuzione del dato elaborato accessibile attraverso indirizzi IP pubblici.
3. E' stato costruito un portale web (www.crs.inogs.it/frednet) per la distribuzione dei dati, dei servizi e delle informazioni relative alla rete permanente, al servizio di posizionamento in tempo reale, e ai progetti.
4. Sono state inquadrare le coordinate delle stazioni permanenti nella realizzazione più recente, ETRF2000, del sistema di riferimento europeo ETRS89. L'inquadramento è stato calcolato con metodologie e software differenti. Considerando la precisione dichiarata, dell'ordine del centimetro, i diversi risultati sono tra di loro in accordo.
5. Sono state calcolate le serie temporali delle stazioni permanenti e quindi le velocità di deformazione crostale regionali, il calcolo è stato realizzato con nuove tecniche atte a ridurre l'errore sulla quota.
6. E' stata realizzata una rete di caposaldi geodetici di dettaglio nell'area di Tolmezzo dove, successivamente, sono state eseguite due campagne con strumentazione GPS mobile. I risultati delle acquisizioni permetteranno di monitorare una delle zone a più elevato potenziale sismico della regione.
7. Sono state individuate due nuove zone d'interesse per la caratterizzazione dei processi tettonici regionali ed è stata installata una seconda rete di caposaldi.
8. Al termine del primo anno di progetto, è stata organizzata una conferenza dal titolo "GPS-RTK: una rete GPS per il posizionamento in tempo reale nel Friuli Venezia Giulia" che si è tenuta il 3 ottobre 2007 presso il Salone del Castello di Udine (atti disponibili al sito web <http://www2.ogs.trieste.it/gps-rtk/>).

9. Al termine del secondo anno di progetto, è stata organizzata una conferenza dal titolo “Progetto GPS-RTK: un servizio di posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia” che si è tenuta il giorno 7 ottobre 2009 presso il Salone del Parlamento del Castello di Udine (informazioni disponibili al sito web <http://www2.ogs.trieste.it/gps-rtk/>).

La relazione scientifico/tecnica dettagliata sul primo anno di progetto intitolata: “*Progetto GPS-RTK: una rete GPS per il posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia Relazione scientifica del primo anno (Fase 1) Codice Progetto: 200501640001*” è stata consegnata alla Regione FVG alla fine del primo anno di progetto.

Si riassumono qui di seguito gli obiettivi previsti per la FASE 2 (terzo anno di lavoro) che concluderà il progetto.

FASE 2: obiettivi previsti

La seconda fase porterà a conclusione il progetto triennale. Gli obiettivi previsti per la FASE 2 sono quelli di:

1. Collaudare il servizio di posizionamento con test ripetuti su tutta la regione.
2. Continuare, attraverso l’analisi dei dati raccolti e il rilievo di misure GPS nelle nuove aree d’interesse, lo studio per la caratterizzazione dei processi tettonici regionali.
3. Formare personale altamente qualificato in un campo all'avanguardia nell'utilizzo delle conoscenze tecnico-scientifiche. Il trasferimento delle professionalità e delle competenze avverrà attraverso corsi d'insegnamento ed aggiornamento.

Relazione di dettaglio

Nei capitoli seguenti sono riportati in dettaglio i risultati raggiunti nella FASE 1.

1. Il sistema per il calcolo delle correzioni differenziali in tempo reale

Il server (vedi Figura 1) su cui è installato tutto il software per la distribuzione del servizio in tempo reale è un computer con le seguenti caratteristiche:



- Modello: Sun Microsystems, Ultra 20;
- processore: Dual-Core AMD Opteron 2.20GHz;
- memoria RAM: 2GB;
- disco rigido: 160GB HITACHI;
- scheda di rete: NVIDIA nForce 10/100Mb;
- tastiera, monitor e lettore DVD Sun;
- sistema operativo: Microsoft Windows XP professional versione 2002 Service Pack 3.

Figura 1: server RTK, per il calcolo e la distribuzione delle correzioni differenziali in tempo reale.

Alcuni parametri del sistema operativo sono stati modificati per permettere il funzionamento ottimale del servizio:

- è stata disabilitata la sincronizzazione con il time server Microsoft ed è stata impostata l'ora GMT di Greenwich;
- GNSMART avvia un numero elevato di finestre durante la fase iniziale. Windows, di default, è impostato con un numero di processi avviabili inferiore a quello richiesto. Il problema è stato risolto agendo su due parametri:
- sul numero massimo di GDI, tramite la modifica delle seguenti chiavi del registro:
HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Windows\GDIProcessHandleQuota
il parametro deve essere aumentato da 10000 a 18000;
HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\Microsoft\Windows NT\CurrentVersion\Windows\USERProcessHandleQuota
il parametro deve essere aumentato da 10000 a 18000;

- sul parametro del desktop Heap, tramite la modifica della seguente chiave di registro:
HKEY_LOCAL_MACHINE\System\CurrentControlSet\Control\Session Manager\SubSystems\Windows
Il parametro è una stringa che contiene una parte del tipo: "SharedSection=xxxx,yyyy,zzzz"
i cui valori originari sono 1024,3072,512 e devono essere modificarli in 1024,8192,512.

Considerato che in commercio esistono pochi software in grado di generare il servizio di correzioni differenziali GPS si riportano qui di seguito le motivazioni che hanno portato alla scelta del software **GEO++ GNSMART** (vedi Figura 2):

- il servizio di correzioni differenziali in tempo reale deve poter utilizzare entrambi i sistemi di posizionamento satellitare GPS e GLONASS;
- la distribuzione del servizio deve soddisfare un bacino d'utenza eterogeneo costituito da sistemi di diverse marche (Leica, Topcon, Trimble, Ashtech, etc) ciascuno con i propri protocolli di comunicazione;
- il software GEO++ GNSMART, al momento dell'acquisto, risulta il più collaudato e affidabile sistema di calcolo di correzioni differenziali in tempo reale con dati satellitari GPS e GLONASS;
- il software GEO++ GNSMART è dotato di un modulo che gestisce tutte le funzioni di una stazione permanente, incluso il controllo di periferiche come lo stesso ricevitore GPS e la relativa strumentazione di comunicazione, e questa caratteristica è stata adattata al meglio per i dispositivi di marca Topcon;
- il software GEO++ GNSMART è stato progettato per la ricezione in tempo reale dei segnali di correzione (codice, carrier phase, singola e doppia frequenza, GPS+GLONASS) provenienti da un'ampia varietà di ricevitori (tra cui TOPCON, Ashtech, Leica e Trimble) nel formato standard RTCM (2.x, 3.x);
- il software Geo++ GNSMART è in grado di generare contemporaneamente correzioni differenziali utilizzando le varie modalità attualmente disponibili (RTCM 2.x, VRS, FKP e altro).

Si ricorda che la rete GPS FReDNet, di proprietà dell'OGS, è costituita per la quasi totalità da ricevitori di marca Topcon, con alcuni dispositivi di marca Ashtech e Leica, mentre la rete GPS "A. Marussi" del Servizio Informativo Territoriale della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia è dotata di strumentazione Trimble.

Il sistema, che sfrutta il software GNSMART, calcola le correzioni differenziali di rete in tempo reale e le distribuisce su richiesta. Qualsiasi ricevitore mobile GPS che si trova nella regione coperta dal servizio può lavorare indipendentemente dalla sua distanza dalla stazione *base* GPS (o *Stazione Permanente - SP*) più vicina. Si supera così una delle limitazioni più gravose imposta dalla modalità RTK standard (un *rover* GPS e una *base* GPS) in cui la distanza tra *base* e *rover* non può superare i 20Km.

Più in dettaglio il software:

- riceve i dati dalle singole *SP*, li elabora eseguendo un calcolo continuo della rete (calcolo delle ambiguità tra le *SP* e la loro successiva compensazione con un algoritmo di calcolo basato su un approccio non differenziato);

- distribuisce le correzioni derivanti sia dalle singole Stazioni Permanenti che dal calcolo di Rete, correzioni che possono essere sia di codice che di fase. Una caratteristica importante del software Geo++ è quella di poter generare contemporaneamente correzioni differenziali utilizzando le varie modalità attualmente disponibili:
 - RTCM 2.x
 - VRS
 - FKP (Flachen-Korrektur-Parameter)
 - RTCM 3.x
 - CMR

Grazie alla metodologia di calcolo di rete utilizzato da GNSMART non c'è alcun tipo di restrizione per quanto riguarda le dimensioni della rete: ciò significa, in generale, che GNSMART può essere usata per applicazioni globali, regionali e locali. Non esiste limite del numero di stazioni in una rete. Per avere una ridondanza sufficiente, il numero minimo di stazioni di una rete è cinque. Il software è costituito da una serie di moduli che possono essere opportunamente combinati così da coprire al meglio le esigenze del cliente. I principali moduli del software GNSMART sono:

- GNREF;
- GNNET;
- GNALARM;
- GNTOOLS;
- GNCASTER;
- SMARTMON;
- GNWEB;

GNREF: è un modulo che gestisce tutte le funzioni di una stazione permanente, incluso il controllo di periferiche come lo stesso ricevitore GPS e la relativa strumentazione di comunicazione. La comunicazione con i ricevitori può avvenire tramite un collegamento diretto (seriale) o con un collegamento telefonico (ADSL, ISDN, GSM). Il software GNREF è stato progettato per la ricezione in tempo reale dei segnali di correzione, provenienti da un'ampia varietà di ricevitori (codice, carrier phase, singola e doppia frequenza, GPS+GLONASS) nel formato standard RTCM (2.x, 3.x). Il software GNREF può ricevere i dati proprietari di tutti i ricevitori delle principali marche, tra cui TOPCON, Ashtech, Leica e Trimble.

GNNET: tutti i dati ricevuti dalle stazioni Permanenti attraverso GNREF confluiscono nel modulo GNNET. GNNET è un modulo per la compensazione in real time di osservazioni GNSS il cui cuore è costituito da un filtro Kalman per l'elaborazione real time di misure non differenziate di ricevitori GNSS. Tutte le soluzioni simultanee vengono elaborate attraverso una compensazione rigorosa multi-stazione, multi-sistema, multi-frequenza e multi-segnale. In questo modo GNNET è in grado di fornire un modello teoricamente corretto ed ottimale in senso assoluto. Le ambiguità carrier phase ricoprono un ruolo importante per le applicazioni di precisione. Generalmente, gli altri tipi di approccio affrontano questo problema con l'approccio delle doppie differenze. Al contrario, GNNET utilizza l'approccio non differenziato, che conduce ad un modello assoluto completo.

GNALARM: è un modulo per la gestione degli allarmi generati da tutti i moduli del software GNSMART. Gli allarmi che possono essere generati sono per esempio: mancanza di satelliti, interruzione del collegamento, RMS elevati, caduta dell'alimentazione, e altro. E' possibile associare ad ogni allarme un'azione pratica ad esempio: invio di e-mail, messaggio a video, reset, avvio di processi.

GNTOOLS: questo modulo contiene una serie di utilità per la gestione dei dati delle stazioni e per la gestione delle attività del programma GNSMART ad esempio è possibile impostare in maniera automatica dei compiti da eseguire ad intervalli regolari.

GNCASTER: è un server software (in gergo detto semplicemente *Caster*) che legge le correzioni prodotte dal software GNSMART e le mette a disposizione su una porta di un determinato indirizzo IP utilizzando il protocollo NTRIP. I dati possono contenere ogni tipo di segnale GNSS, ma tipicamente consistono in correzioni RTCM per codice e/o fase. Il flusso di dati può essere identificato dal cosiddetto *mount point* che rappresenta la stazione di riferimento. Il *Caster* controlla l'autenticazione delle sorgenti e degli utenti per permettere l'accesso a quelli autorizzati. Questo consente in particolare il controllo degli accessi e di registrare in un database tutte le informazioni ad essi relative: utente, durata connessione, quantità dei dati scaricati, etc.

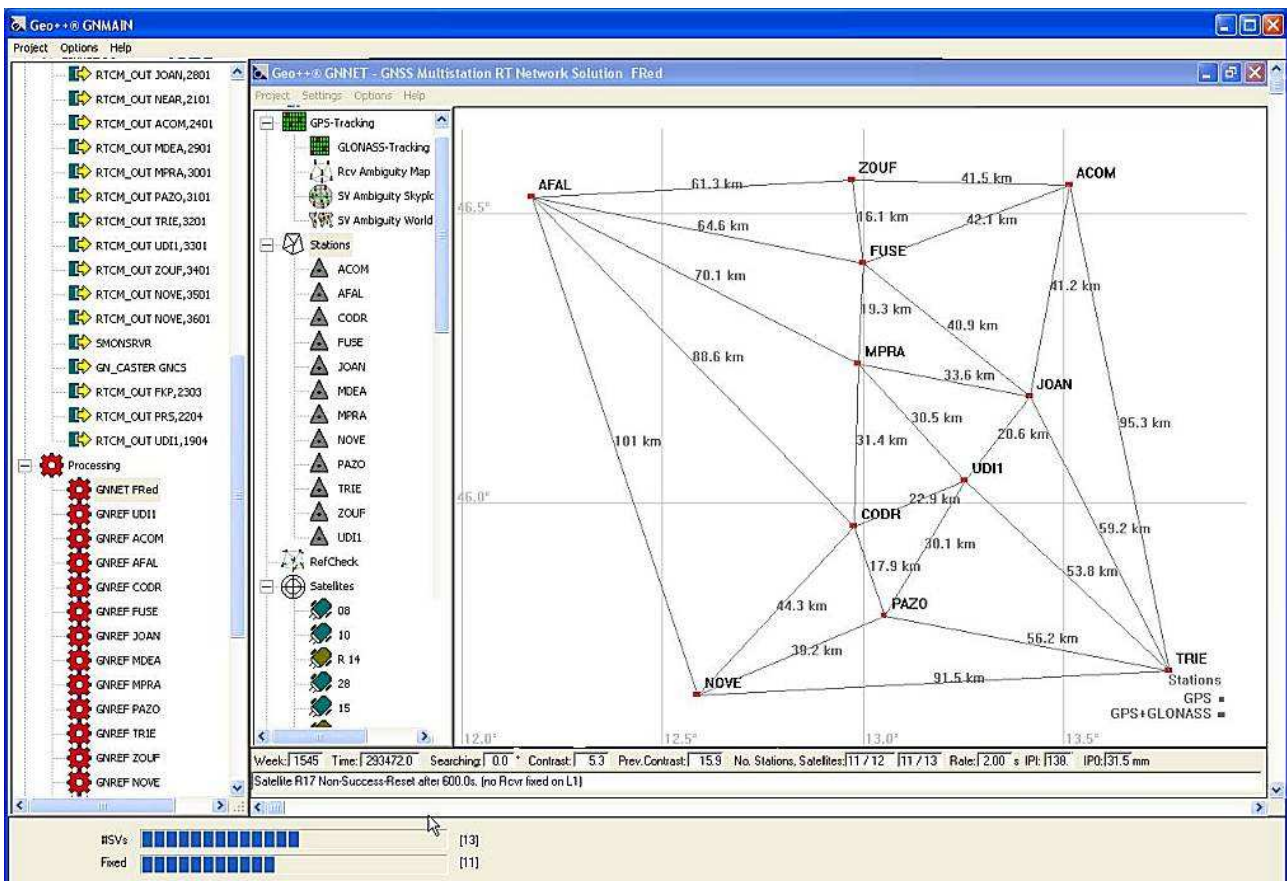


Figura 2: GNSMART in funzione. Il sistema è costituito da diversi moduli interagenti fra loro. I *front-end*, come si può vedere in figura, sono raccolti in un'unica finestra grafica. Tramite i menù dell'applicazione è possibile monitorare lo stato della rete e del servizio e modificare i parametri di funzionamento del sistema in tempo reale. Tali operazioni sono possibili solo da parte dell'amministratore del server *Rtk*.

SMARTMON: e' un modulo client che fornisce un'immediata panoramica sullo stato della Rete di Stazioni Permanenti gestite con GNSMART. L'applicativo si appoggia a *Google Earth* (come si vede in Figura 3), e fornisce le seguenti informazioni:

- monitoraggio delle Stazioni Permanenti inserite nel Network;
- monitoraggio degli utenti collegati al Network;
- registrazione delle informazioni istantanee di ogni singolo utente e delle Stazioni Permanenti della Rete.

E' possibile conoscere dalla mappa se una stazione e' collegata e qual è il suo stato (Fixed, Float), quanti utenti sono collegati e la loro posizione. Per un'informazione dettagliata si può cliccare sui simboli (Stazione o Utenti) ed ottenere così le coordinate, i satelliti (tracciati e disponibili per la correzione di rete), lo stato. E' infine possibile registrare anche tutte le informazioni ottenute.

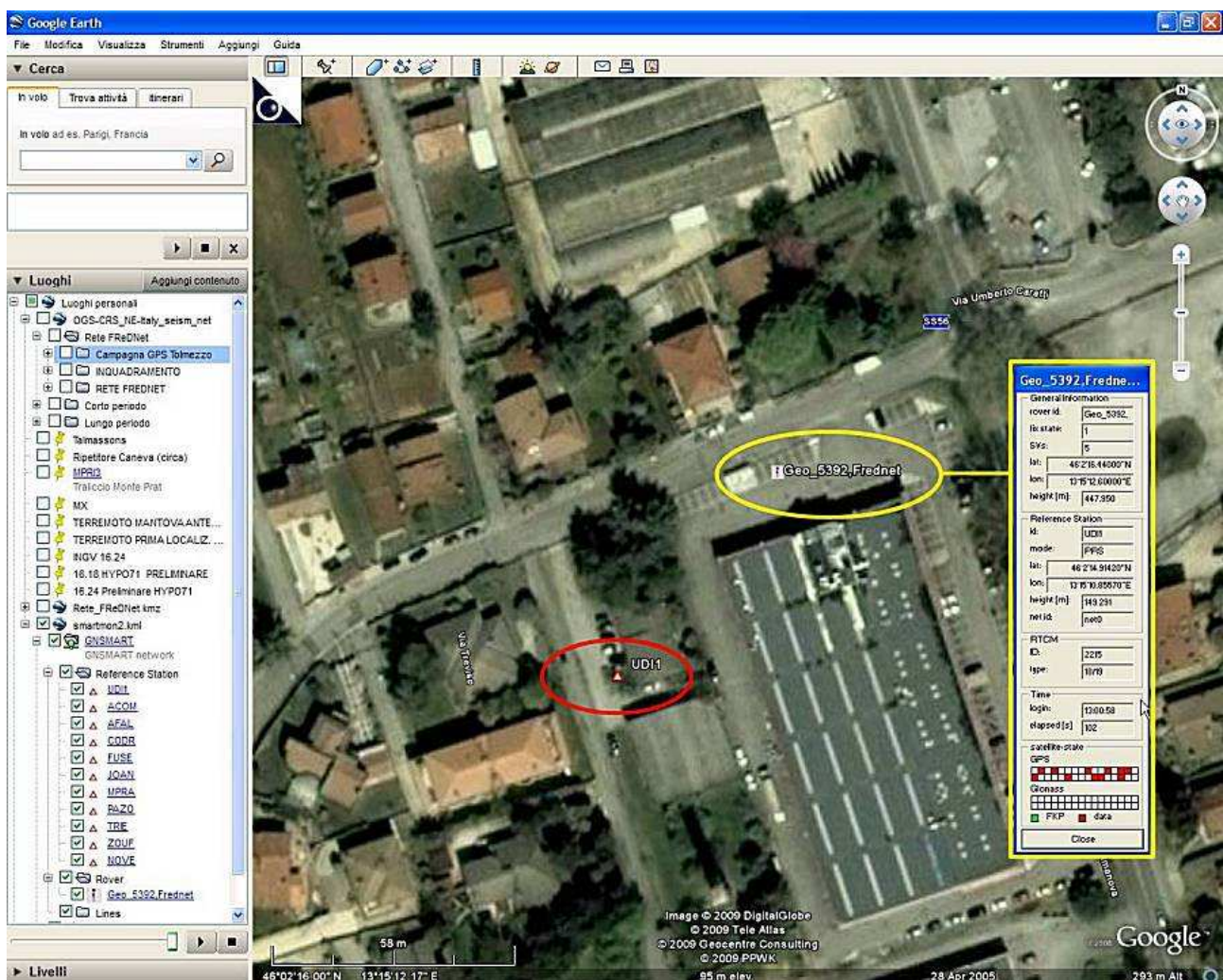


Figura 3: SMARTMON permette anche la visualizzazione dei ROVER su Google Earth. Nell'immagine un ROVER (ellisse gialla) localizzato nelle vicinanze della stazione permanente UDI1 (ellisse rossa) della rete FREdNet. Ad ogni ROVER è associata una tabella informativa (riquadro giallo) sullo stato del ROVER, grazie ad essa è possibile assistere l'operatore durante la fase di rilievo.

GNWEB: è un'applicazione client/server internet ed intranet che ha lo scopo di fornire dati in formato RINEX e VIRTUAL RINEX delle stazioni permanenti gestite da GNSMART (un esempio è visibile in Figura 4). GNWEB consente ad un utente che accede via internet di generare file RINEX

per ciascuna stazione permanente. Il software in questione riceve i dati e li mette a disposizione, degli utenti registrati che hanno una password, in formato RINEX potendo scegliere il giorno, l'ora di inizio e di fine, il campionamento dei dati, la lunghezza e la compressione dei file. L'utente riceve una panoramica della disponibilità dei dati e così può controllare l'adeguatezza dei dati prima di scaricarli. I dati richiesti da un utente vengono resi disponibili sul server GNWEB per un determinato periodo, durante il quale l'utente li può ricevere con un semplice download. È possibile accedere al servizio attraverso una comoda interfaccia grafica, si può selezionare le singole stazioni da cui scaricare i dati oppure si può scegliere di ottenere un file RINEX VIRTUALE, cioè un file dati che si può considerare registrato in prossimità della stazione mobile. Questo RINEX VIRTUALE è il corrispondente della VRS per il tempo reale ed è molto importante per l'operatore che in campagna, per diversi motivi (assenza di copertura GSM o strumentazione senza modulo RTK), non può lavorare in Real Time. Egli può comunque contare su una stazione base sempre vicina con conseguente notevole riduzione del tempo di stazionamento ed aumento della precisione.

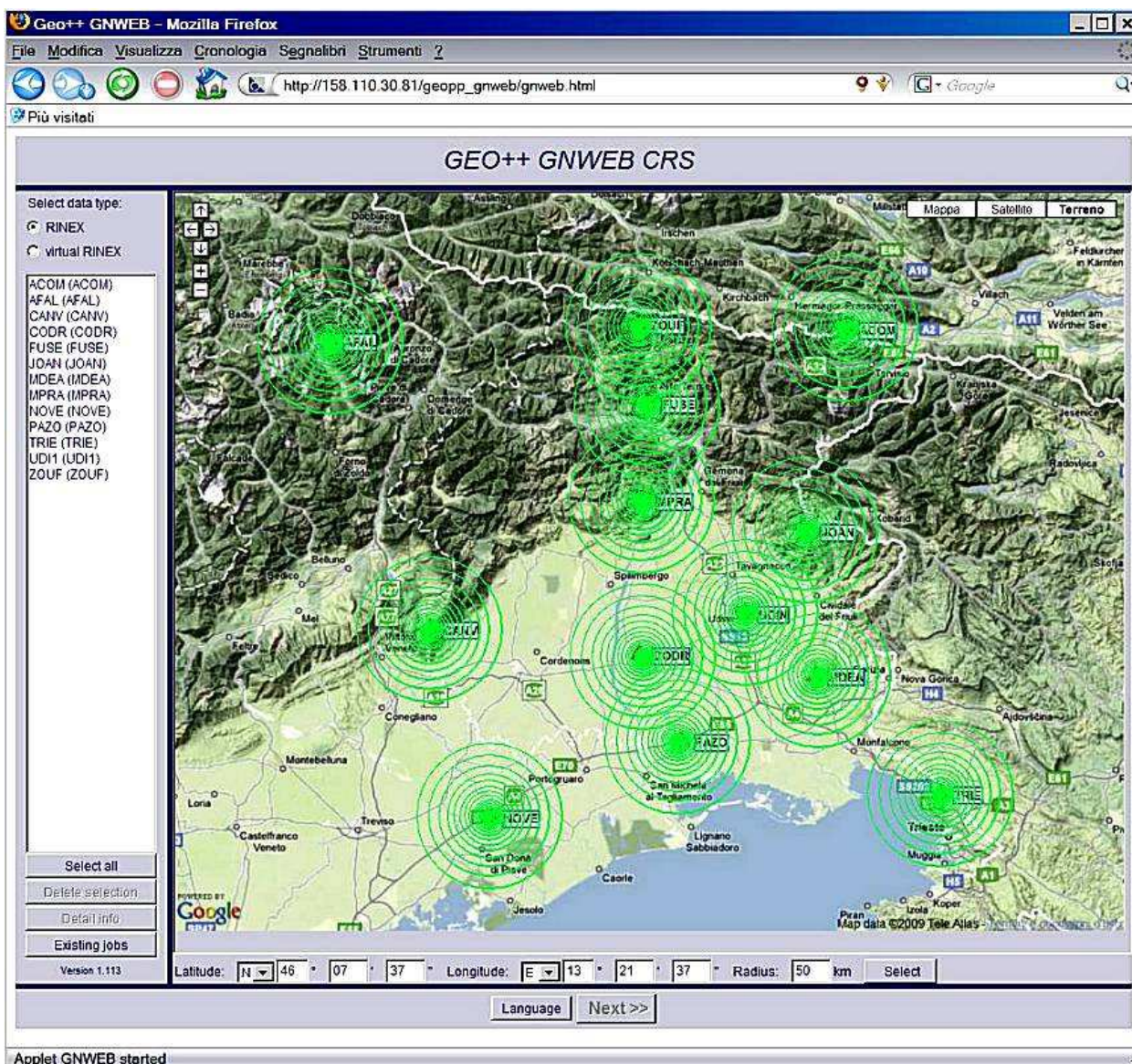


Figura 4: il modulo GNWEB mette a disposizione, tramite Applet Java, una pagina web per il download di dati RINEX e Virtual RINEX. I file a disposizione sono disponibili fino ad un mese dopo l'acquisizione. Il data set completo (a partire dall'anno 2002) è comunque disponibile sul sito web ufficiale della rete FReDNet all'indirizzo: www.crs.inog.it/frednet.

GNTracking: è un modulo che permette la visualizzazione, su pagine web generate in tempo reale, dello stato della rete e del servizio prima, durante e dopo il lavoro di campagna (vedi Figura 5). L'amministratore del servizio è in grado di decidere cosa pubblicare sulle pagine web e quindi di limitare l'accesso di alcune informazioni ad utenti privilegiati in base a determinate politiche di sicurezza.

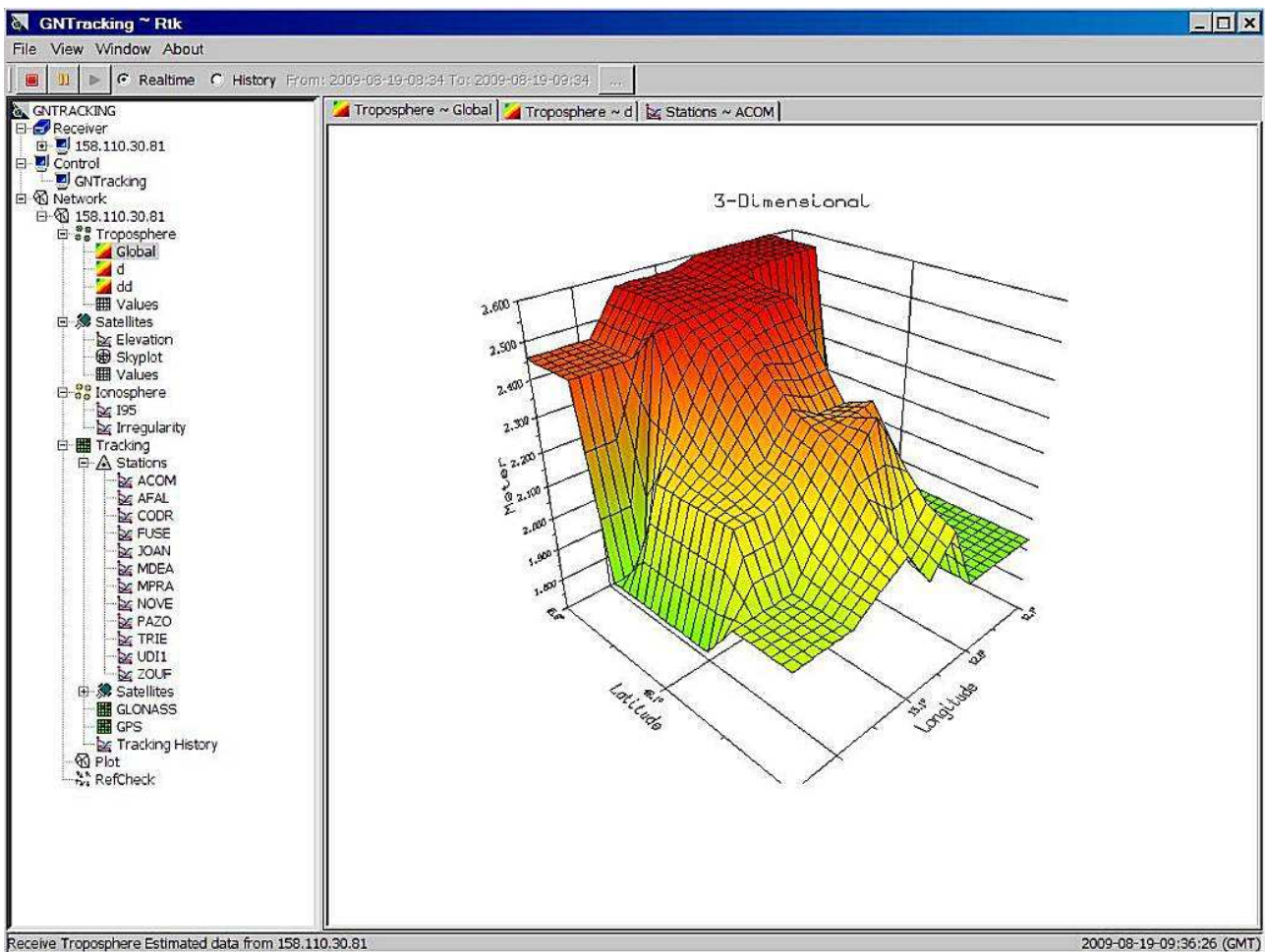


Figura 5: il modulo GNTracking, disponibile tramite pagina web, permette la visualizzazione dello stato della rete e del servizio. E' possibile definire diversi gruppi di utenti con permessi di visualizzazione e/o di impostazione del sistema differenti. Nella figura è messo in evidenza il ritardo troposferico su tutto il territorio coperto dalla rete di stazioni permanenti FReDNet.

Il server SUN su cui è installato il software GNSMART è identificato con il nome di rete **Rtk** (visibile solo in rete locale). Sullo stesso server **Rtk** è installato anche il software **MeridianaSAT**. MeridianaSAT (vedi Figura 6) gestisce i ricevitori collegandosi ad essi sia direttamente attraverso la porta seriale, sia in remoto attraverso la porta Ethernet o per mezzo di modem anche GSM/GPRS/UMTS o attraverso linee telefoniche via cavo o a radio frequenza o satellitare. Il programma consente un controllo totale del ricevitore, in particolare:

- aggiornamento del firmware;
- reset del ricevitore con ripristino della configurazione di default;
- impostazione dell'altezza, del tipo e delle caratteristiche dell'antenna utilizzata e altri parametri secondo gli standard IGS;
- spegnimento in sleep mode e accensione;
- impostazione delle coordinate della stazione;
- selezione della porta sulla quale inviare la correzione RTK;
- selezione del formato di correzione;

- impostazione della memorizzazione dei dati sul ricevitore: frequenza di campionamento, durata, nome del file e angolo di cut-off;
- scarico in manuale o in automatico dei dati dal ricevitore ed eventuale cancellazione manuale degli stessi dopo lo scarico (normalmente il ricevitore viene messo in una modalità con cui i file vengono cancellati automaticamente).

MeridianaSAT è utilizzato per il collegamento via modem all'unica stazione CANV della rete FReDNet ancora collegata via modem gsm. Attualmente è in fase di realizzazione un ripetitore radio dell'OGS nella regione Veneto che permetterà, in tempi brevi, di eliminare il collegamento gsm per un più performante link radio di *tipo Spread Spectrum* (con banda a partire da 2Mbs). Per ora la stazione CANV non è inserita nel sistema di correzioni differenziali e da essa si scaricano i soli file di registrazione GNSS a 30s per il post-processing.

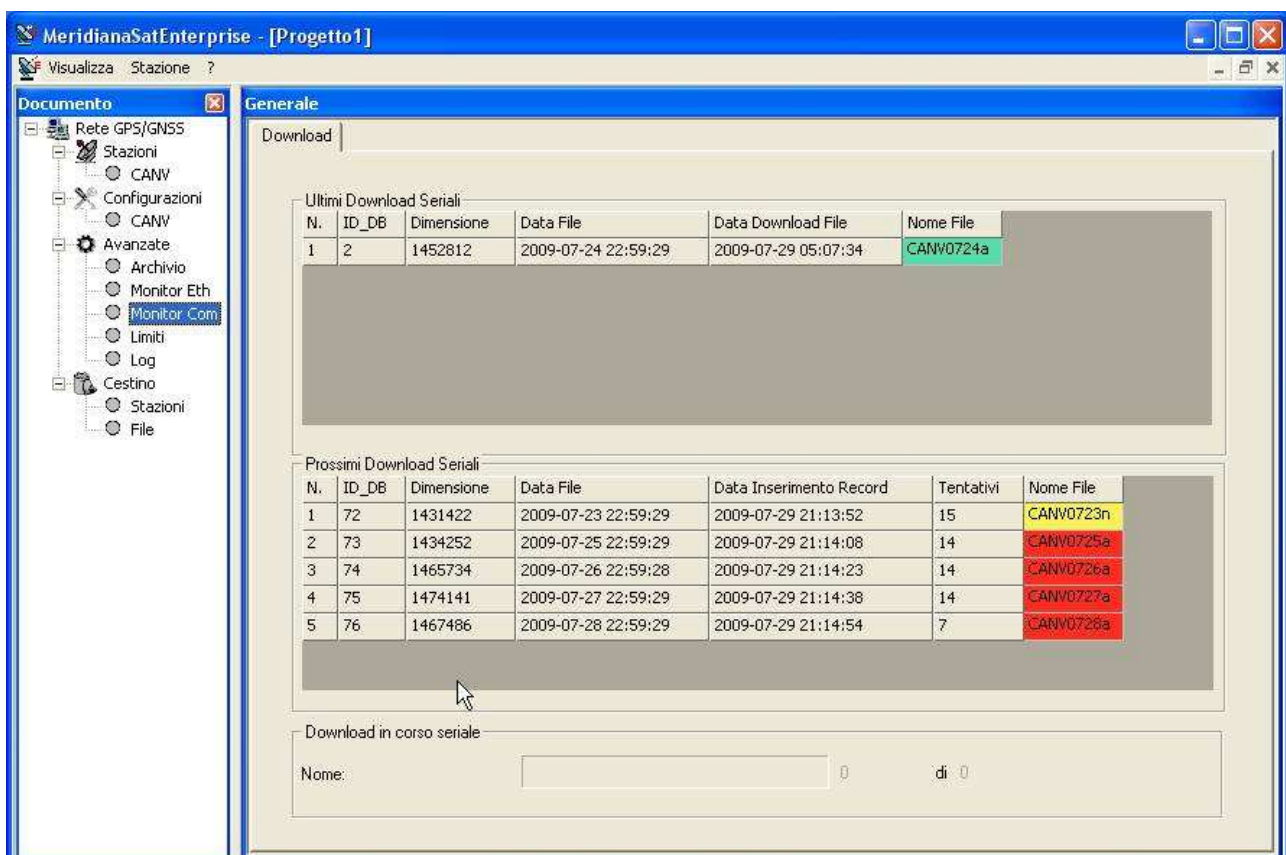


Figura 6: MeridianaSat, il software per la gestione di siti GPS remoti collegati via modem gsm. Il sistema è utilizzato anche per l'upgrade firmware da remoto (via modem gsm, LAN, WiFi, ADSL e altro) di tutti i ricevitori GPS permanenti della rete FReDNet.

2. Attivazione e verifica del servizio di correzioni differenziali in tempo reale

2.1 Attivazione del servizio

Sul server Rtk sono disponibili i seguenti servizi di rete:

- Servizio di correzioni differenziali (**GNCASTER**):
 - Indirizzo IP: **158.110.30.81**
 - Porta: **2110**
 - Utente: **Geo**
 - Passwd: **Geo**
- Servizio web per la distribuzione dei file RINEX e VIRTUAL RINEX (**GNWEB**)
 - Indirizzo IP: **158.110.30.81**
 - Porta: **8080**
 - Utente: **Guest**
 - Passwd: **Guest**
- Servizio web per il monitoraggio real time di rete e servizio (**GNTracking**)
 - Indirizzo IP: **158.110.30.81**
 - Porta: **8080**
 - Utente: **Geo**
 - Passwd: **Geo**

Le correzioni differenziali sono distribuite rispetto alle *Stazioni Permanenti (SP)* della rete FReDNet dell'OGS. Sono disponibili, oltre alle correzioni differenziali, due soluzioni di rete (VRS ed FKP) e il servizio da stazione più vicina (dove il server decide in automatico qual è la stazione più vicina al rover richiedente); in Tabella 1 sono riportati i punti di accesso, detti mount point, del servizio. Tutte le correzioni differenziali OGS sono realizzate rispetto a stazioni permanenti inquadrata nella realizzazione **ETRF2000(2008.0)** del sistema di riferimento **ETRS89**.

Caster	Mountpoint	Identifier	Format	Network	GNSS	NMEA	Net	Fee	Generator
2110	OGS_ACOM	OGS_ACOM	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_AFAL	OGS_AFAL	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_CODR	OGS_CODR	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_FUSE	OGS_FUSE	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_JOAN	OGS_JOAN	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_MDEA	OGS_MDEA	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_MPRA	OGS_MPRA	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_NOVE	OGS_NOVE	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_PAZO	OGS_PAZO	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_TRIE	OGS_TRIE	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_UDH1	OGS_UDH1	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_ZOUF	OGS_ZOUF	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	N	N	N	GNSMART
2110	OGS_FKP	OGS_FKP	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	Y	Y	N	GNSMART
2110	OGS_NEA	OGS_NEA	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	Y	N	N	GNSMART
2110	OGS_VRS	OGS_VRS	RTCM 2.3	FredNet	GPS+GLO	Y	Y	N	GNSMART

Tabella 1: lista dei mount point del servizio OGS. Il nome di ogni mount point indica il gestore del servizio (riquadro rosso) e il tipo di servizio (riquadro blu). Se il servizio è da singola stazione sono usate quattro lettere se è una soluzione di rete sono usate tre lettere.

SERVIZI RTK

Il servizio di distribuzione di correzione differenziale RTK (fase) e DGPS (codice) dell'OGS permette, con tecnologia GPS+GLONASS, il posizionamento sul territorio in tempo reale e con precisione centimetrica; la zona coperta comprende tutta l'area del Friuli Venezia Giulia. Il sistema è costituito da un'infrastruttura di ricevitori GPS permanenti FReDNet e da un server di calcolo e distribuzione (caster).
L'accesso al servizio è disponibile gratuitamente nella modalità Ntrip tramite il caster, gestito dal Dipartimento Centro di Ricerche Sismologiche - CRS, all'indirizzo internet

Indirizzo	Username	Password
158.110.30.81:2110	Geo	Geo

Le modalità di accesso al servizio di posizionamento in tempo reale dell'OGS sono le seguenti:

SERVIZIO	DESCRIZIONE
SINGOLA STAZIONE	Il rover riceve le correzioni differenziali dalla singola stazione (master) scelta dall'utente. Il server di gestione del servizio ha il compito, in questo caso, di ridirezionare il flusso di dati dalla stazione master a quella rover. Più rover possono accedere alla stessa master; il server, in questo caso, moltiplica il flusso dei dati in base alle richieste. La comunicazione server-rover è monodirezionale.
NEAREST	Il funzionamento è equivalente a quello da singola stazione. In questo caso l'utente che usa il rover non necessita di conoscere la stazione master a cui collegarsi. Il server centrale distribuisce la correzione differenziale dalla stazione più vicina al rover, il server per questo motivo ha bisogno di conoscere la posizione approssimata del rover. La comunicazione server-rover è bidirezionale.
VRS	Il rover riceve le correzioni differenziali da una stazione master virtuale (VRS). Il sistema, a partire dai dati di tutta la rete FReDNet e dalla posizione approssimata del rover, calcola una "soluzione di rete" che genera una VRS molto vicina al rover stesso (qualche km). Il rover deve inviare le proprie coordinate approssimate (in formato NMEA) al server e quindi la comunicazione server-rover è bidirezionale.
FKP	Il software genera una correzione (soluzione di rete) calcolata in base alla posizione del rover con parametri di correzione medi calcolati per interpolazione tra le stazioni circostanti della rete. La comunicazione server-rover è bidirezionale.

Il caster dell'OGS, a seguito della convenzione stipulata con la Regione Friuli Venezia Giulia, distribuisce **anche** le correzioni da singola stazione dei siti della Rete A. Marussi di proprietà della Regione Friuli Venezia Giulia.
L'utente che si collega al caster ha a disposizione diversi punti di accesso detti *mountpoint*. Il nome del *mountpoint* identifica univocamente:

Figura 7: pagina web relativa ai servizi GPS offerti dall'OGS. Da qui è possibile accedere alle monografie delle stazioni permanenti di FReDNet, alle informazioni sul servizio di correzione differenziale in tempo reale, ai dati per il post-processing, alle pagine informative di progetto e altro ancora.

Infine si ricorda che, già dalla prima fase del progetto, è disponibile:

- un portale web (vedi Figura 7) con informazioni sulla rete, sul servizio, sui dati, sulle elaborazioni e sui progetti GPS dell'OGS all'indirizzo:

<http://www.crs.inogs.it/frednet/>

- un server, con nome di rete *frednet*, per le correzioni differenziali da singola *SP*. Il servizio viene fornito rispetto alle stazioni della rete FReDNet inquadrata nella realizzazione ITRF00(2008.0) del sistema di riferimento ITRS. Questo server di backup garantisce un certo grado di operabilità per gli utenti anche nel caso in cui il server principale *Rtk* non sia in funzione (per guasto o manutenzione). Il servizio è disponibile a:

- Indirizzo IP: **158.110.30.180**
- Porta: **2110**
- Utente: **guest**
- Passwd: **guest**

2.2 Verifica del servizio

I test sul servizio fornito tramite il software GNSMART sono stati eseguiti sia dai colleghi del DIIAR del Politecnico di Milano sia dallo staff del CRS dell'OGS. I primi test sono stati eseguiti dall'Unità di Ricerca del Politecnico di Milano durante il primo anno del progetto e sono descritti nella relazione scientifica/tecnica corrispondente.

2.2.1 Verifica del servizio da parte dell'UR POLIMI

Sono stati rielaborati i dati acquisiti in modalità RTK su punti della rete IGM95 e sono state confrontate le coordinate così stimate con quelle riportate sulle monografie dei punti. Il rilievo di tali dati è stato effettuato su 13 punti della rete IGM95, uniformemente distribuiti nella regione, stazionando per 10' e acquisendo la posizione con frequenza di 1". Le coordinate così stimate, calcolate fissando la stazione permanente della rete FReDNet più vicina, riferite al sistema di riferimento corrente (IGS05), sono state poi mediate e riportate nel sistema di riferimento della rete IGM95 attraverso trasformazioni stimate ad hoc per l'area friulana. I risultati del confronto sono descritti in Tabella 2 nella quale sono riportate le statistiche dei confronti fra valore di monografia e coordinate stimate.

	dN (m)	dE (m)	dU (m)
media	-0,027	-0,015	0,060
s.q.m.	0,017	0,014	0,054
max	-0,002	0,015	0,134
min	-0,071	-0,037	-0,018

Tabella 2: differenze (dN, dE, dU) tra valori di monografia IGM e stima RTK fornite dal POLIMI.

Come si può notare, le differenze nelle componenti Nord, Est e Up sono molto piccole e consentono di affermare che il posizionamento RTK così effettuato è di precisione tale da poter essere utilizzato nelle usuali attività topo-cartografiche.

Parallelamente, si sono sviluppate attività GPS di supporto alle analisi geodinamiche dell'area friulana. Queste attività sono state svolte sia sui dati delle stazioni permanenti della rete FReDNet sia attraverso il rilievo di una rete non permanente.

I dati delle stazioni della rete FReDNet, considerati su di un arco temporale di circa quattro anni, sono stati rielaborati al fine di ottenere serie temporali delle coordinate nel sistema di riferimento IGS05. A tal fine, le stazioni della rete FReDNet sono state elaborate congiuntamente a quelle di MATE, ZIMM, WTZR e GRAS.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante l'uso del software Bernese (v 5.0), utilizzando la strategia Quasi Iono Free (QIF) per la stima delle ambiguità. I parametri troposferici sono stati stimati su base oraria, modellizzando la componente umida in modo stocastico ed utilizzando il modello Dry-Niell. Il disturbo ionosferico è stato descritto mediante il modello ionosferico sviluppato dal CODE IGS Analysis Center per la stima delle ambiguità su L1 e L2. La stima delle coordinate è stata invece effettuata utilizzando l'osservazione iono-free (L3). Nel calcolo si sono utilizzati i modelli assoluti dei centri di fase sia per le antenne dei ricevitori che per le antenne dei satelliti, secondo quanto stabilito negli standard IGS.

Le serie temporali così ottenute sono state modellate con una funzione di tipo lineare e con componenti periodiche di tipo bi-annuale, annuale e semestrale. Inoltre, nella stima dei parametri di questi modelli mediante minimi quadrati si è utilizzata una matrice di covarianza che tenesse conto delle correlazioni temporali presenti nelle serie stesse.

L'analisi dei dati si è concentrata sull'interpretazione dei residui dell'interpolazione. Questi mostrano comportamenti che potrebbero essere ricondotti a deformazioni superficiali di interesse geodinamico. Dunque, se ciò fosse confermato da analisi incrociate con altri dati (per esempio di tipo sismico), dallo studio di questi residui potrebbero arrivare importanti indicazioni sullo stile di deformazione dell'area friulana. Nei grafici della Figura 8, a fini esemplificativi, si riportano i residui nelle tre componenti della stazione MPRA, congiuntamente con i valori ottenuti mediante filtraggio degli stessi (linea continua blu). In questi grafici, la media mobile mostra comportamenti che in alcuni casi sono significativamente differenti da zero. In particolare, ciò è ravvisabile nella componente Est, circa a metà dell'anno 2005.

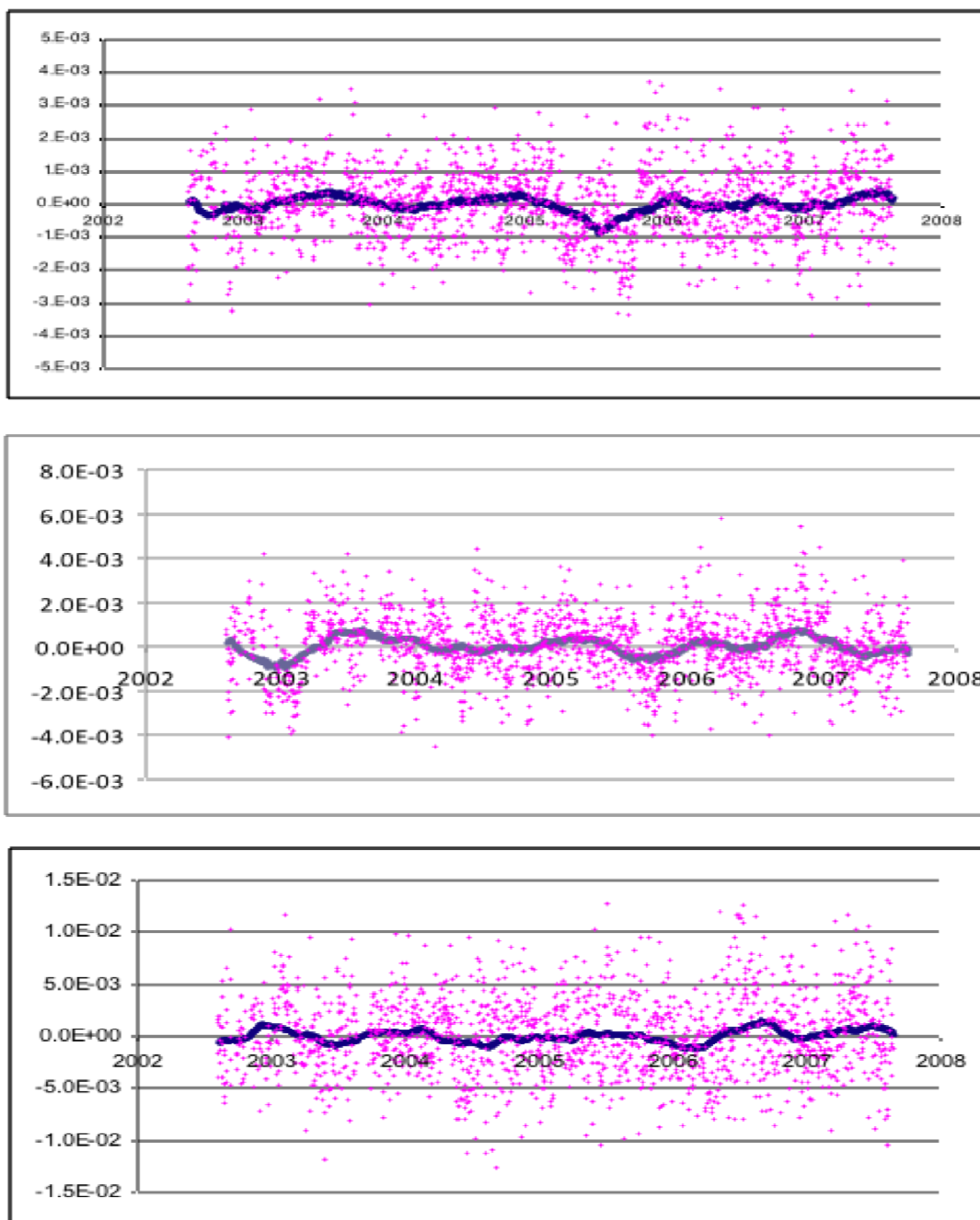


Figura 8: stazione MPRA; dall'alto in basso rispettivamente, i residui nella componente Est, Nord ed Up calcolate dal POLIMI. Unità in metri.

2.2.2 Verifica del servizio da parte dell'UR OGS

Di seguito è riportato uno dei test realizzato dallo staff del CRS durante la fase progettuale qui rendicontata. La prova è stata fatta con un rover Topcon GB-1000 sul caposaldo IGM nel piazzale del Castello di Udine in data 11-08-2009. Il punto IGM è il N. 025801, in Figura 9 un estratto (aggiornato al sistema ETRF2000(2008.0)) della monografia IGM del punto in questione.

E' stata utilizzata la seguente strumentazione:

- ricevitore doppia frequenza, doppia costellazione GPS+GLONASS, modello Topcon GB1000;
- antenna geodetica PG-A1 + ground plane;

- palina da rilievo ad altezza fissa (2,054m);
- controller Topcon FC-100;
- modem GPRS wavecom WISMO WMOD2.

L'esecuzione della misura è stata fatta in condizioni tipiche di utilizzo e per questo motivo si è evitato l'utilizzo di un treppiede per il set-up dell'antenna che è stata montata su una palina. L'operatore deve affrontare in questo caso un problema in più che è quello di mantenere in bolla la palina durante la misura.

Il test comprende la prova del servizio di rete VRS e FKP, e la verifica delle coordinate con la monografia IGM95.

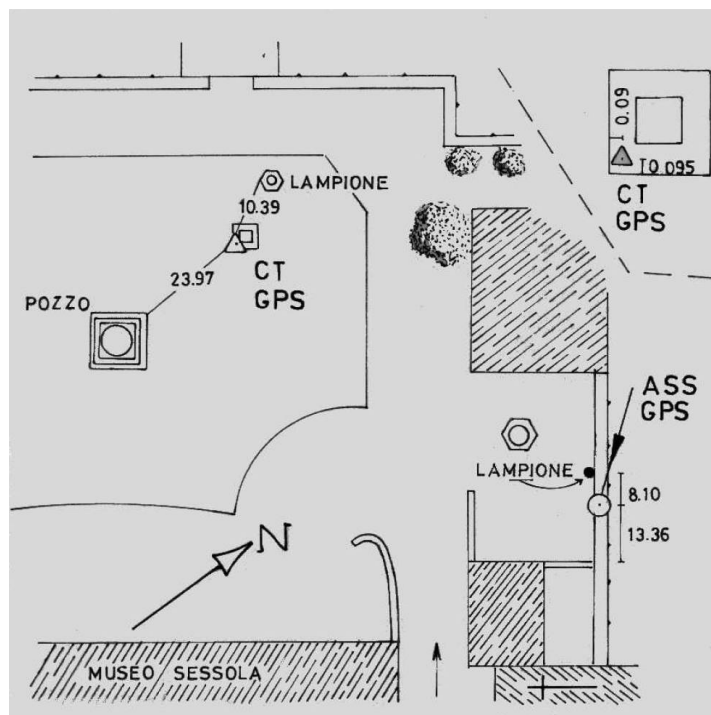


Figura 9: estratto della monografia IGM N. 025801, le coordinate riportate sono nel nuovo sistema di riferimento ETRF2000(2008.0).

Verifica del servizio di rete VRS ed FKP

Sia per il servizio FKP che per quello VRS sono state fatte due acquisizioni di 30s con campionamento a 1s. Sono stati quindi raccolti 30 campioni per la prova FKP e 30 campioni per quella VRS. Ogni campione è composto da una coppia di coordinate piane UTM (rispettivamente la coordinata Nord e quella Est) e dalla quota ellissoidica. I dati sono riportati in Tabella 3 per l'esperimento in modalità FKP e in Tabella 5 per l'esperimento in modalità VRS.

Successivamente si è effettuata una stima della ripetibilità del dato, cioè si stima quanto i vari campioni si discostano l'uno dall'altro. Per la modalità FKP, in Figura 10, è riportata la dispersione della quota ellissoidica rispetto al valore medio e in Figura 11 la dispersione delle coordinate piane Nord ed Est rispetto al relativo valore medio. La stima della ripetibilità attraverso la misura della Deviazione Standard dei dati è presente in Tabella 4. Per la soluzione FKP la valutazione della ripetibilità fornisce dei buoni risultati (5mm massimi). Per la soluzione VRS è stato seguito lo stesso

procedimento (vedi Figura 12 e Figura 13 e Tabella 6) ed il risultato sulla ripetibilità anche in questo caso risulta essere buono (12mm).

Verifica del servizio di rete con la monografia IGM95

In questa seconda parte il set di dati è più breve rispetto al caso precedente. Sono stati considerati 3s di acquisizione (il campione ottenuto è una media di 3 campioni da 1s). Si cerca in questo modo di riprodurre una tipica sessione di acquisizione di campagna, quando i caposalda da acquisire sono molti e i tempi di lavoro devono essere ridotti al minimo.

I test precedenti misurano quanto ogni campione si discosta dalla media dei campioni e quindi rappresenta una stima della precisione delle acquisizioni. I test stimano, quindi, soltanto quanto le varie misure sono diverse l'una dall'altra ma non valutano la differenza con un valore di riferimento ritenuto la *misura vera* o *campione di riferimento*.

Si è quindi determinata l'accuratezza attraverso la verifica delle differenze tra le acquisizioni FKP e VRS rispetto la misura della monografia IGM di riferimento che è ritenuta la misura vera, in Tabella 7 i risultati del confronto. L'accuratezza riscontrata è buona sulle coordinate piane (al massimo 16mm) mentre risulta decisamente più marcata per la quota (fino a 67mm). Quanto trovato riflette abbastanza bene le problematiche tipiche dell'acquisizione con tecnologia GNSS, dove la quota è affetta da un errore che è di circa 2,5 volte superiore a quello che si ottiene sulle coordinate piane. In questo caso l'errore, per la quota, è leggermente superiore a quello previsto. La prova è stata effettuata con un set-up non ottimale della rete in quanto i modelli delle antenne della rete permanente FReDNet non erano ancora stati ottimizzati, questo può essere il motivo dell'errore in quota, verranno eseguiti altri test e i risultati saranno esposti nelle prossime relazioni.

UTM N[m]	UTM E[m]	H. Ell[m]	Disp. N[m]	Disp. E[m]	Disp. H[m]
5102776,999	363529,340	186,320	0,000	0,005	0,006
5102776,990	363529,342	186,315	0,009	0,003	0,001
5102776,997	363529,342	186,308	0,002	0,003	0,006
5102776,999	363529,342	186,319	0,000	0,003	0,005
5102777,001	363529,344	186,305	0,002	0,001	0,009
5102776,999	363529,346	186,315	0,000	0,001	0,001
5102777,002	363529,348	186,306	0,003	0,003	0,008
5102777,005	363529,350	186,311	0,006	0,005	0,003
5102777,007	363529,346	186,316	0,008	0,001	0,002
5102777,009	363529,350	186,314	0,010	0,005	0,000
5102777,005	363529,346	186,318	0,006	0,001	0,004
5102776,997	363529,343	186,315	0,002	0,002	0,001
5102776,997	363529,347	186,313	0,002	0,002	0,001
5102776,996	363529,345	186,312	0,003	0,000	0,002
5102776,998	363529,345	186,317	0,001	0,000	0,003
5102776,999	363529,345	186,317	0,000	0,000	0,003
5102776,995	363529,343	186,312	0,004	0,002	0,002
5102776,997	363529,344	186,310	0,002	0,001	0,004
5102776,998	363529,347	186,306	0,001	0,002	0,008
5102777,001	363529,344	186,307	0,002	0,001	0,007

5102777,004	363529,344	186,312	0,005	0,001	0,002
5102776,999	363529,344	186,318	0,000	0,001	0,004
5102777,005	363529,345	186,315	0,006	0,000	0,001
5102777,008	363529,345	186,319	0,009	0,000	0,005
5102777,001	363529,341	186,320	0,002	0,004	0,006
5102776,990	363529,346	186,319	0,009	0,001	0,005
5102776,995	363529,346	186,315	0,004	0,001	0,001
5102776,994	363529,343	186,316	0,005	0,002	0,002
5102776,994	363529,343	186,313	0,005	0,002	0,001
5102776,995	363529,344	186,310	0,004	0,001	0,004

Tabella 3: soluzione di rete FKP, 30 acquisizioni da 1s. Le coordinate riportate sono in formato UTM.

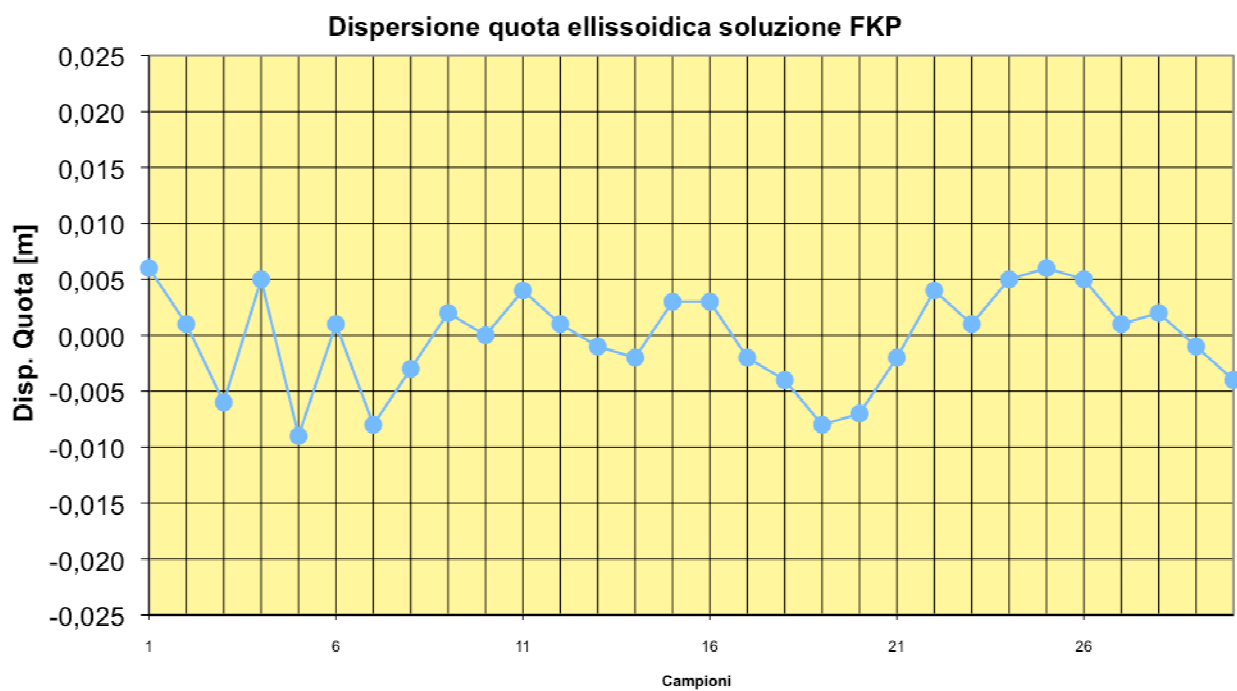


Figura 10: grafico della dispersione della quota ellissoidica per la soluzione FKP. I punti indicano la differenza tra il valore misurato e quello medio.

Dispersione coordinate UTM, soluzione FKP

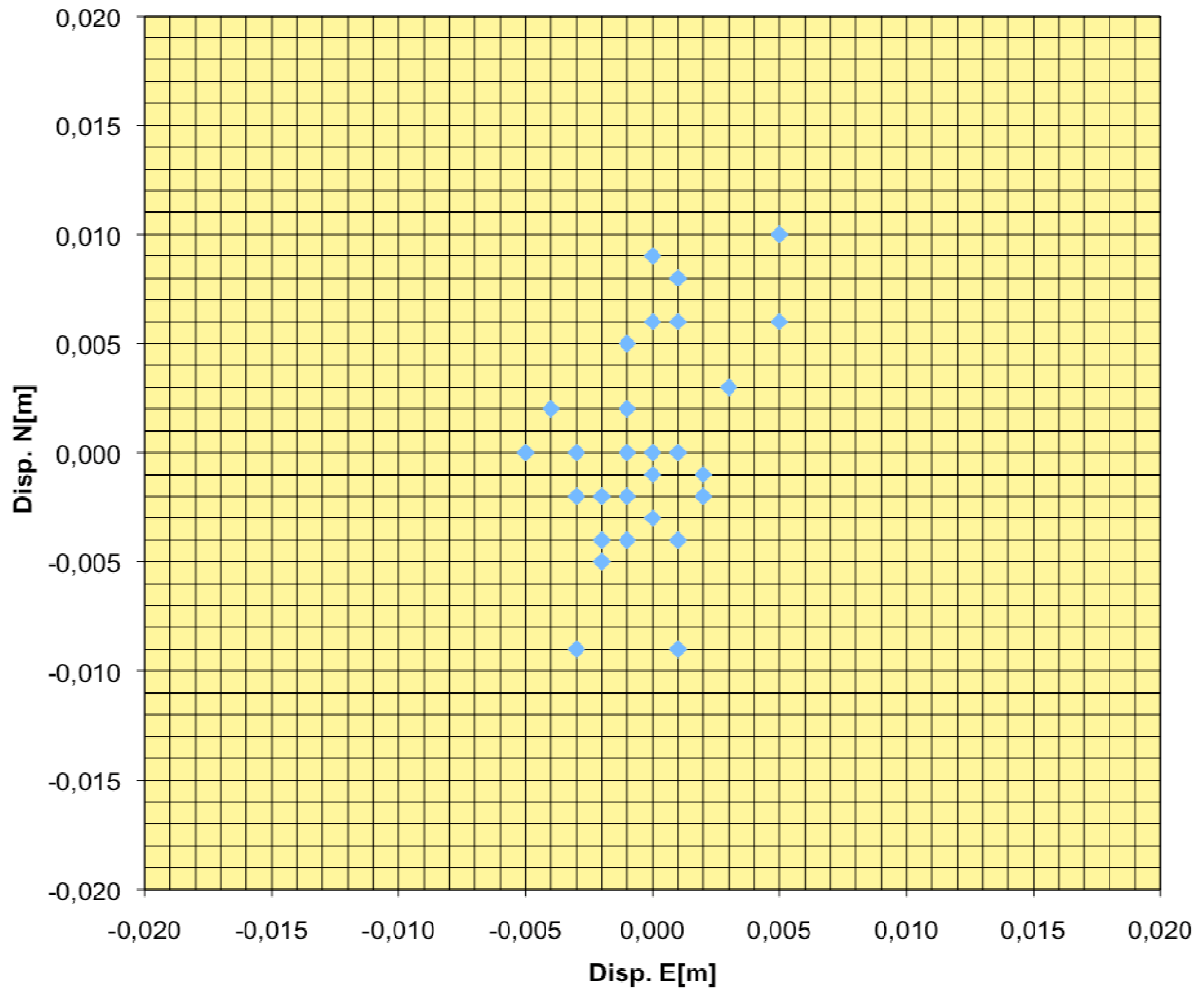


Figura 11: grafico della dispersione delle coordinate piane UTM Nord ed Est per la soluzione FKP. I punti indicano la differenza tra il valore misurato e quello medio.

Dev. St. UTM N[m]	Dev. St. UTM E[m]	Dev. St. H. Ell[m]
0,005	0,002	0,004

Tabella 4: Deviazione Standard delle coordinate UTM N ed E e della quota per la soluzione FKP. I dati indicano una buona ripetibilità.

UTM N[m]	UTM E[m]	H. Ell[m]	Disp. N[m]	Disp. E[m]	Disp. H[m]
5102776,997	363529,326	186,271	0,003	0,000	0,013
5102776,998	363529,327	186,279	0,002	0,001	0,005
5102776,999	363529,327	186,287	0,001	0,001	0,003
5102777,002	363529,331	186,287	0,002	0,005	0,003
5102777,005	363529,332	186,289	0,005	0,006	0,005
5102777,002	363529,331	186,293	0,002	0,005	0,009
5102776,998	363529,327	186,285	0,002	0,001	0,001
5102776,992	363529,325	186,269	0,008	0,001	0,015
5102776,987	363529,324	186,273	0,013	0,002	0,011
5102776,988	363529,324	186,268	0,012	0,002	0,016
5102776,992	363529,322	186,271	0,008	0,004	0,013
5102776,994	363529,321	186,285	0,006	0,005	0,001
5102777,001	363529,325	186,294	0,001	0,001	0,010
5102777,004	363529,318	186,303	0,004	0,008	0,019
5102777,008	363529,324	186,301	0,008	0,002	0,017
5102777,013	363529,331	186,298	0,013	0,005	0,014
5102777,008	363529,324	186,296	0,008	0,002	0,012
5102777,004	363529,326	186,281	0,004	0,000	0,003
5102776,999	363529,325	186,269	0,001	0,001	0,015
5102776,991	363529,326	186,262	0,009	0,000	0,022
5102776,989	363529,324	186,261	0,011	0,002	0,023
5102776,991	363529,325	186,269	0,009	0,001	0,015
5102776,996	363529,323	186,276	0,004	0,003	0,008
5102777,005	363529,325	186,294	0,005	0,001	0,010
5102777,003	363529,324	186,289	0,003	0,002	0,005
5102777,014	363529,329	186,296	0,014	0,003	0,012
5102777,012	363529,329	186,299	0,012	0,003	0,015
5102777,007	363529,326	186,297	0,007	0,000	0,013
5102777,006	363529,326	186,289	0,006	0,000	0,005
5102777,003	363529,327	186,290	0,003	0,001	0,006

Tabella 5: soluzione di rete VRS, 30 acquisizioni da 1s. Le coordinate riportate sono in formato UTM.

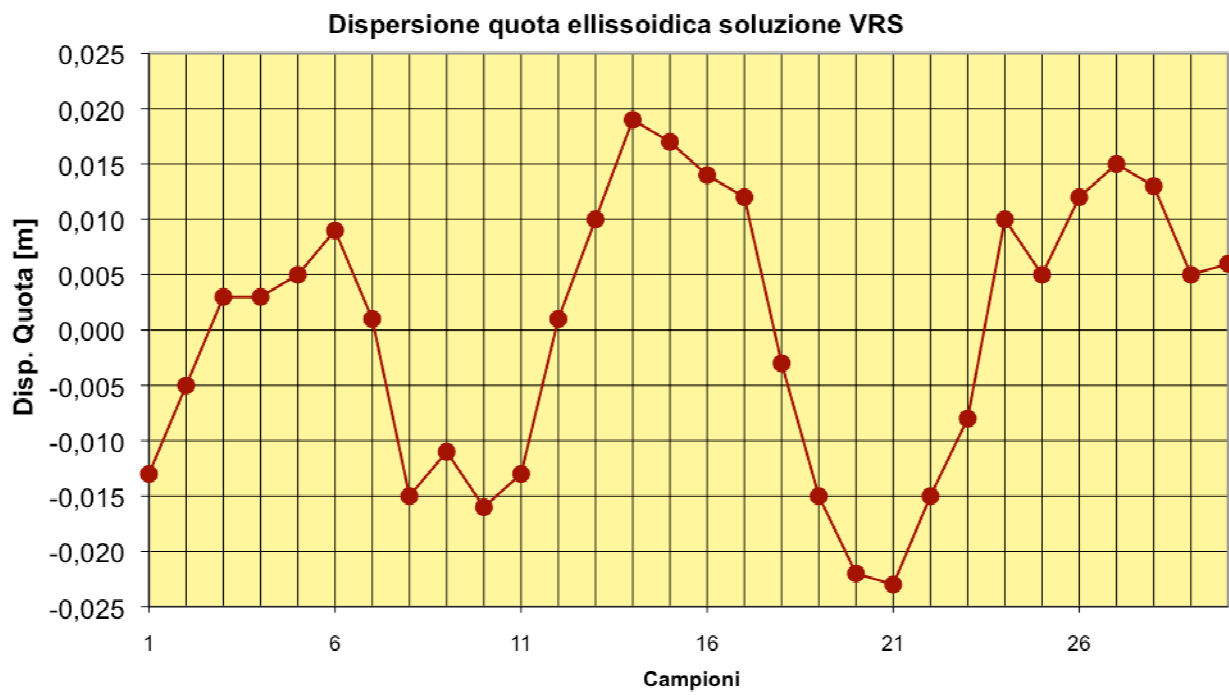


Figura 12: grafico della dispersione della quota ellissoidica per la soluzione VRS. I punti indicano la differenza tra il valore misurato e quello medio.

Dispersione coordinate UTM, soluzione VRS

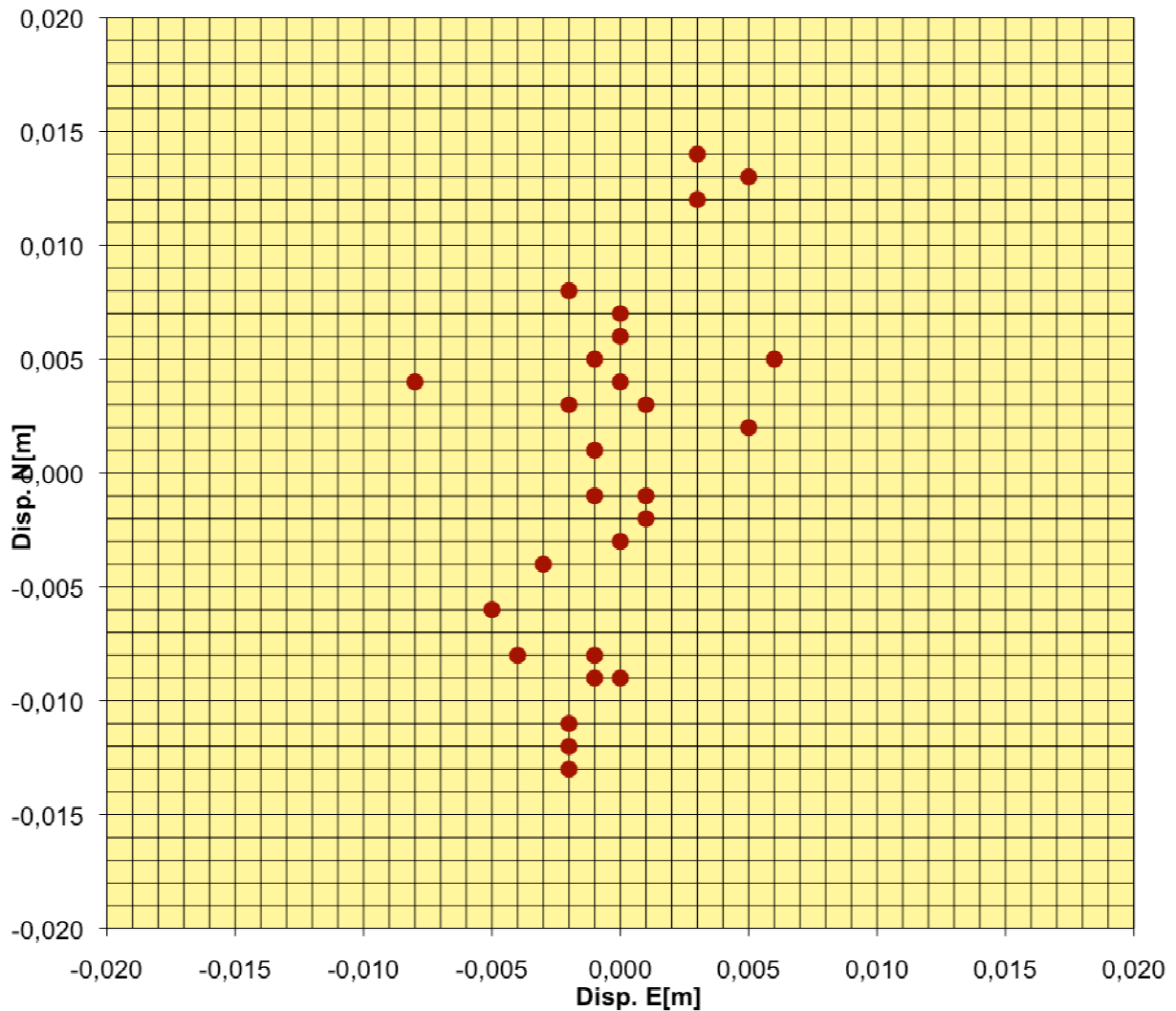


Figura 13: grafico della dispersione delle coordinate piane UTM Nord ed Est per la soluzione FKP. I punti indicano la differenza tra il valore misurato e quello medio.

Dev. St. UTM N[m]	Dev. St. UTM E[m]	Dev. St. H. Ell[m]
0,007	0,003	0,012

Tabella 6: Deviazione Standard delle coordinate UTM N ed E e della quota per la soluzione FKP. I dati, anche in questo caso, indicano una buona ripetibilità e sono in accordo con quelli riportati nella Tabella 6 relativi all'esperimento VRS.

	Delta UTM N[m]	Delta UTM E[m]	Delta Q. Ell.[m]
IGM-VRS	0,000	-0,004	0,067
IGM-FKP	0,016	0,015	0,058

Tabella 7: differenze di coordinate e di quota tra i valori riportati nella monografia ufficiale IGM N. 025801e le soluzioni VRS ed FKP.

3. Contatti e accordi con altri gestori di reti e servizi GPS

Uno degli obiettivi fondamentali del progetto è quello di integrare la rete FReDNet con le altre reti GPS esistenti. In questa direzione è stata svolta un'attività piuttosto intensa che ha portato a stabilire contatti con le più importanti realtà regionali e delle aree confinanti (nazionali e internazionali). Attraverso queste collaborazioni, il servizio e l'impianto realizzati dall'OGS sono, per affidabilità ed efficienza, adeguatamente inseriti nel contesto internazionale.

Di seguito si riporta un elenco degli Enti considerati e, per ognuno, si fornirà un sintetico rendiconto:

- Servizio Sistema Informativo Territoriale e Cartografia della Regione Friuli-Venezia Giulia (rete GPS "A. Marussi");
- Istituto Geografico Militare (IGM);
- EUREF (rete europea permanente);
- Università di Padova (rete GPS della Regione Veneto);
- Servizio Catasto della Provincia Autonoma di Trento (rete GPS TPOS);
- rete GPS Austriaca APOS (Austrian Positioning Service);
- rete GPS Slovena SIGNAL (Slovenia-Geodesy-NAVigation-Location).

Si sottolinea il fatto che questi contatti e collaborazioni dovrebbero portare verso un'effettiva integrazione delle reti esistenti in un'unica rete trans-frontaliera e a un servizio diffuso su tutta l'area della regione Alpe-Adria su canoni condivisi e omogenei (si pensi ad esempio all'omogeneizzazione dei sistemi di riferimento).

Servizio Sistema Informativo Territoriale e Cartografia della Regione Friuli-Venezia Giulia (rete GPS "A. Marussi")

E' stata stipulato un accordo specifico a integrazione della *Convenzione per lo scambio di informazioni cartografiche e territoriali di interesse regionale* (L.R. 63/1991) già esistente tra l'OGS e la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Con questo accordo si definisce la volontà di procedere all'integrazione dei servizi GPS in tempo reale dell'OGS e del Servizio Informativo Territoriale della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. In base a tale accordo, l'OGS e la Regione realizzano un servizio di posizionamento GNSS, integrato sul territorio regionale, i centri di calcolo della Regione FVG e dell'OGS acquisiscono e distribuiscono su internet, attraverso il protocollo NTRIP, tutte le correzioni differenziali in modalità RTK singola base di entrambe le reti ("A. Marussi" e FReDNet, vedi Figura 14). Le soluzioni di rete, quali VRS ed FKP, sono invece

generate e distribuite separatamente da ogni centro di calcolo in base ai dati della rete di appartenenza. E' ora disponibile una pagina web relativa alle modalit  di accesso al servizio comune e all'accordo sottoscritto (cfr. Figura 15 e Figura 16);

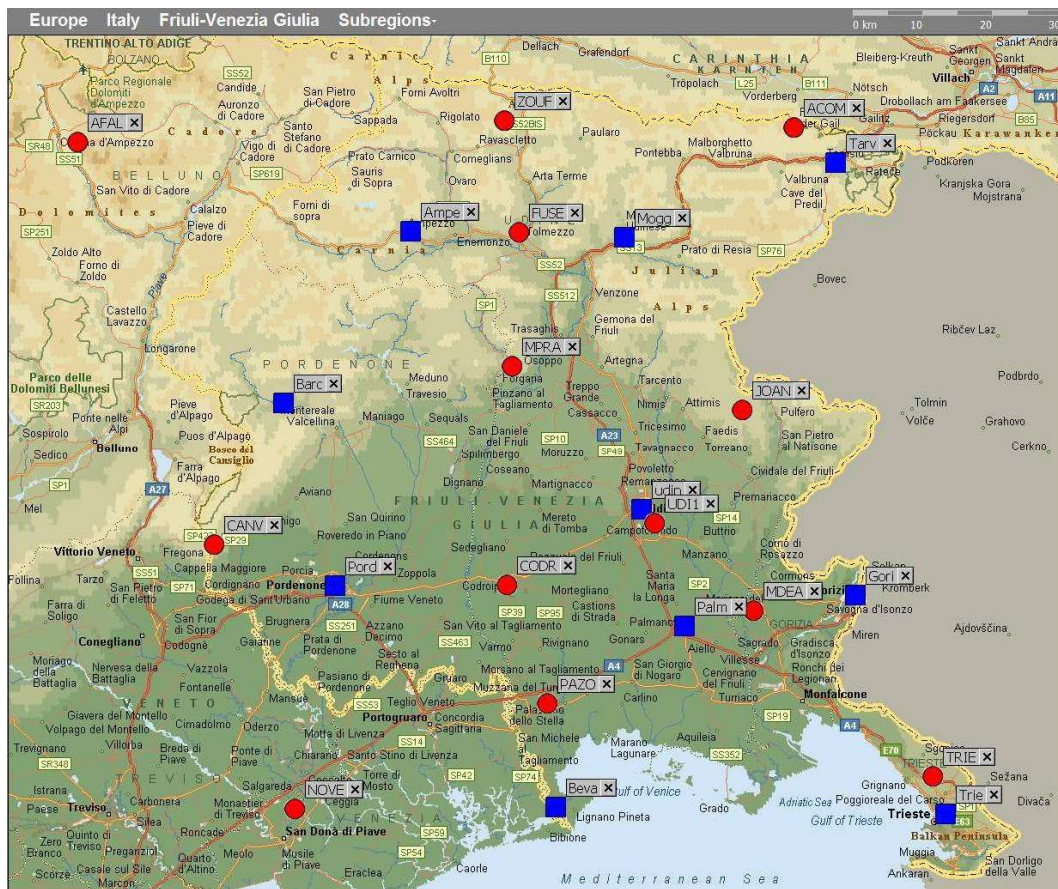


Figura 14: reti GPS permanenti di OGS e RAFVG. I quadrati blu indicano la rete GPS RAFVG "A. Marussi" del Servizio Informativo Territoriale della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. I pallini rossi la rete geodetica FREDNet dell'OGS. Le due reti e i servizi relativi si integrano sul territorio regionale.

Mountpoint	Tipo di soluzione	Formato
RAFGV_AMPE	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_BARC	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_BEVA	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_GORI	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_MOGG	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_PALM	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_PORD	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_TARV	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_TRIE	Singola Base - RTK	RTCM 2.3
RAFGV_UDIN	Singola Base - RTK	RTCM 2.3

Tabella mountpoint Rete GPS 'A. Marussi' distribuiti via Ntrip Caster della Rete FREDNet.

Figura 15: mount point della rete regionale A. Marussi distribuiti dal server OGS, sulla pagina web della Regione FVG esiste una tabella equivalente relativa ai mount point OGS.

Servizi di posizionamento GNSS integrati sul territorio regionale

L'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS (Dipartimento Centro Ricerche Sismologiche - CRS) e la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia sono presenti sul territorio della regione Friuli Venezia Giulia con due reti di stazioni permanenti GPS: la Rete FReDNet (Friuli Regional Deformation Network) dell'OGS e la Rete 'A. Marussi' della Regione FVG. I due enti, grazie alle suddette infrastrutture, forniscono due servizi di correzione differenziale per il posizionamento di precisione in tempo reale sul territorio regionale.

L'OGS, grazie ai dati forniti dalla rete FReDNet, si propone di svolgere le attività di:

- ricerca scientifica volta a migliorare il modello geodinamico dell'area regionale per la caratterizzazione dei processi tettonici regionali e di alcune aree più critiche dal punto di vista sismico. FReDNet deve fornire dati di deformazione del suolo di elevata qualità e, per questo motivo, i siti permanenti di tale rete soddisfano specifici requisiti di visibilità della costellazione satellitare, d'installazione dell'antenna GPS (generalmente su roccia affiorante) e geologici;
- ricerca applicata per la sperimentazione, lo sviluppo e la distribuzione, sul territorio regionale, di servizi di posizionamento in tempo reale basati su tecnologia satellitare GNSS (FReDNet supporta GPS e GLONASS) secondo le modalità più diffuse (RTK, MRS e VRS) di correzione differenziale.

La Regione FVG ha dato avvio nel 1997 alla costituzione della Rete GPS 'A. Marussi' al fine di realizzare un'infrastruttura geodetica in grado di fornire supporto tecnologico ad operazioni di rilievo topografico e catastale e all'uso di sistemi avanzati nella determinazione di elementi geografici da collocare in modo automatico sulla cartografia regionale. La Rete GPS ha rappresentato fin dall'inizio, uno strumento essenziale per tutti i tecnici regionali e privati che per competenza devono effettuare misurazioni topografiche urgenti e speditive oppure, più semplicemente, localizzare elementi rilevanti per la gestione e la pianificazione del territorio. E' altresì risultata e risulta fondamentale nella realizzazione e nel continuo aggiornamento della Carta Tecnica Regionale Numerica.

Le informazioni relative alla rete, ai servizi e ai progetti è disponibile al sito web: [Rete A. Marussi](#)

La Regione Friuli Venezia Giulia e l'OGS hanno sottoscritto ai sensi della **L.R. 27 dicembre 1991 n. 63**, una convenzione per lo scambio non oneroso di dati di carattere cartografico e territoriale senza scopo di lucro e con fini di interesse pubblico.

Tale Convenzione è stata integrata con un Atto Aggiuntivo in cui gli Enti si impegnano a:

- collaborare nel campo dello scambio di dati GPS/GNSS registrati dalle rispettive reti GPS/GNSS permanenti, nel mantenimento della funzionalità delle reti e dei rispettivi servizi, e nel miglioramento delle infrastrutture strumentali di monitoraggio GPS/GNSS da loro gestite;
- definire ed attuare un protocollo di scambio di distribuzione di dati GPS/GNSS in tempo reale (correzioni differenziali) per la fornitura dei servizi di posizionamento di precisione in tempo reale, secondo le modalità GPS RTK e VRS, od equivalenti, nel territorio della regione Friuli Venezia Giulia;
- collaborare per mantenere o migliorare i servizi di posizionamento già realizzati nell'ambito areale del territorio della regione Friuli Venezia Giulia, secondo le modalità GPS-RTK e VRS, od equivalenti.

Al fine di realizzare un servizio di posizionamento GNSS, integrato sul territorio regionale, i centri di calcolo della Regione FVG e dell'OGS acquisiscono e distribuiscono su internet, attraverso il protocollo NTRIP, tutte le correzioni differenziali in modalità RTK singola base di entrambe le reti ('A. Marussi' e FReDNet). Le soluzioni di rete, quali VRS ed FKP, sono invece generate e distribuite separatamente da ogni centro di calcolo in base ai dati della rete di appartenenza.

In questo modo, si garantisce all'utenza delle reti un supporto affidabile (ridondanza dei servizi e dei server di calcolo e di distribuzione) ed efficiente (copertura capillare del territorio anche con il servizio da singola stazione).

Figura 16: estratto della pagina web OGS relativa al servizio integrato in collaborazione con la Regione FVG. Una pagina equivalente è presente sul sito web regionale all'indirizzo:

<http://www.regione.fvg.it/rafv/territorioambiente/dettaglio.act?dir=/rafv/cms/RAFGV/AT9/ARG14/>

Istituto Geografico Militare (IGM)

OGS e IGM hanno stipulato una “CONVENZIONE PER LO SVOLGIMENTO DI AZIONI COORDINATE TESI ALLA GESTIONE DELLE RETI DI STAZIONI PERMANENTI GPS SUL TERRITORIO NAZIONALE” per lo svolgimento di azioni coordinate per la realizzazione dei network di stazioni permanenti GPS necessari alla definizione dei Sistemi Geodetici Globali in ambito nazionale e per lo sfruttamento dei network stessi ai fini della georeferenziazione. In questo contesto quattro stazioni della rete FReDNet (ACOM, ZOUF, UDI1 e TRIE) sono state inserite (vedi Figura 17) nella Rete Dinamica Nazionale (RDN) dell'Istituto Geografico Militare (IGM).

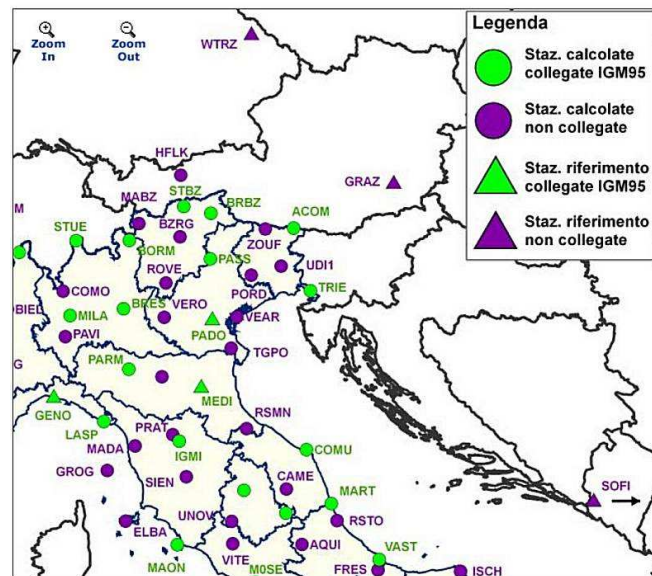


Figura 17: la rete RDN include 4 siti della rete FReDNet: ACOM, ZOUF, UDI1 e TRIE.

EUREF (rete europea permanente)

La stazione permanente ZOUF (FReDNet) è parte della rete europea EUREF Permanent Network (come visibile in Figura 18) già dal 2004. Per tutta la durata del progetto l'OGS intende mantenere tale impegno e distinguersi a livello mondiale tramite l'iscrizione della stessa stazione nella *IGS Tracking Network dell'International GNSS Service (IGS)*. Attualmente la stazione è in fase di verifica da parte dei funzionari IGS.

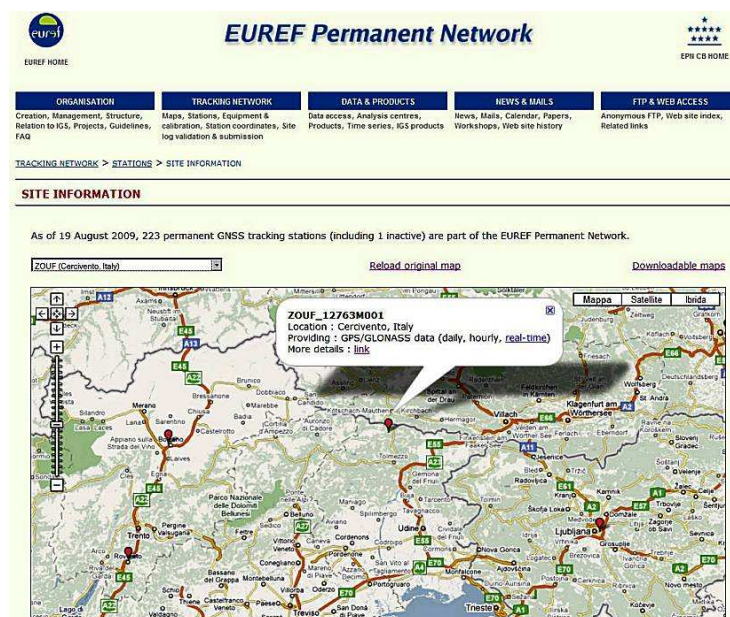


Figura 18: ZOUF il sito GPS di FReDNet è parte della rete europea EPN.

“Rete di Stazioni Permanenti GPS” della Regione Veneto.

La rete ed i servizi sono gestiti dall’Università degli Studi di Padova, per mezzo del CISAS, Centro Interdipartimentale di Studi ed Attività Spaziali “G. Colombo”. La Rete Veneta (vedi Figura 19) si avvale di 27 stazioni GPS (di diversa marca, Trimble, Leica, etc) già installate e operative presso strutture pubbliche e private quali Agenzie del Territorio, consorzi di bonifica, ARPAV, Magistrato alle acque, studi professionali, che hanno volontariamente aderito all’iniziativa regionale. Il sistema fornisce, sul proprio territorio, i seguenti servizi:

- Servizi per l’utenza professionale
POST- PROCESSING:
Calcolo con procedura automatica delle coordinate di punti rilevati in modo autonomo;
Riallineamento e inquadramento reti locali;
Trasformazione di datum in ETRS89, UTM/GRS80 (IGM95 compatibile).
REAL TIME:
Fornitura di correzioni differenziali RTCM/RTK.
- Servizi di navigazione
Correzioni RTCM per navigazione marittima costiera e terrestre via Internet distribuite via Ntrip dal Caster dell’Università.

Home page: <http://147.162.229.63/Web/>

e-mail: alessandro.caporali@unipd.it

Personale di riferimento: Prof. Alessandro Caporali dell’Università di Padova.

Esiste un reale interesse alla collaborazione, alcuni contatti sono già stati presi con il responsabile della struttura il Prof. Alessandro Caporali.



Figura 19: rete GPS veneto: stato attuale della rete e dei servizi.

“TPOS - Trentino POsitioning Service” della Provincia Autonoma di Trento

La rete TPOS è una rete di stazioni permanenti GNSS realizzata e gestita dal Servizio Catasto della Provincia Autonoma di Trento. La rete è composta da 8 stazioni permanenti (vedi Figura 20) di cui sette distribuite lungo il perimetro del territorio e una baricentrica a Trento. A Trento è anche collocato il centro per la ricezione, archiviazione, elaborazione e distribuzione dei dati (CEDeC), gestito dal personale tecnico del Servizio Catasto. La rete è al servizio dei professionisti, dei tecnici degli enti pubblici e potenzialmente di tutti i cittadini gratuitamente previa registrazione via web al sito <http://www.catasto.provincia.tn.it/TPOS-Trentino-POsitioning-Service/>. Il sistema della rete trentina è costituito da software ed hardware “Leica” e fornisce, sul proprio territorio, i seguenti servizi:

- correzioni differenziali per le singole stazioni permanenti e correzione di rete in formato RTCM 2.3 e 3.1 create secondo l’approccio MAC (Leica). Ai dati in tempo reale si può accedere via GPRS o GSM;
- dati RINEX (post-processing) campionati a 1, 5, 15 e 30 secondi. I dati vengono conservati per un periodo massimo di sei mesi, al termine del quale vengono cancellati dal sito web anche se rimangono disponibili nell’archivio storico gestito dall’unità centrale di elaborazione dati.

Home: www.catasto.provincia.tn.it/TPOS%20%20Trentino%20POsitioning%20Service/

e-mail: servizio.catasto@provincia.tn.it

Personale di riferimento: D. Buffoni, S. Girardi, C. Nardelli e R. Revolti.

Esiste un reale interesse alla collaborazione, alcuni contatti sono già stati presi con il personale di riferimento dell’Ufficio Cartografico della Provincia di Trento.

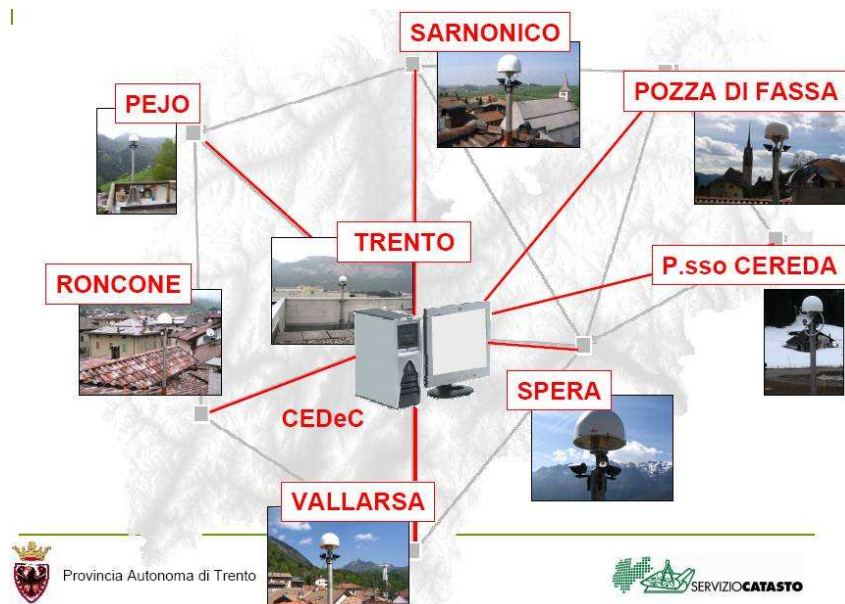


Figura 20: TPOS la rete GPS della provincia autonoma di Trento.

“APOS – AUSTRIAN POSITIONING SERVICE” rete GPS Austriaca

La rete APOS (riportata in Figura 21) è costituita da più sottoreti:

- BEV: 34 siti;
- ÖAW dell’Austrian Academy of Sciences: 3 siti;
- KELAG del Carinthian Electricity Company: 8 siti.

Il sistema fornisce, sul proprio territorio, i seguenti servizi:

- le correzioni per il posizionamento relativo in TEMPO REALE;
- i dati delle misure in formato RINEX per la post-elaborazione autonoma.

Home: www.bev.gv.at/portal/page?_pageid=713,1571538&_dad=portal&_schema=PORTAL

e-mail: kundenservice@bev.gv.at

Al momento non sono stati attivati i canali di contatto con la suddetta struttura.

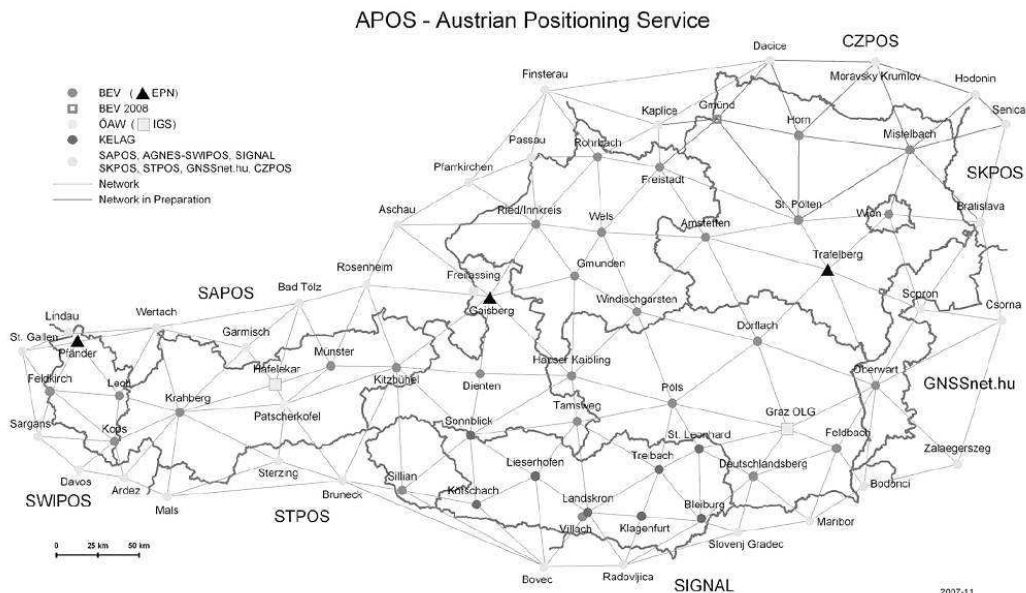


Figura 21: La rete GPS Austriaca APOS.

“SIGNAL: Slovenia-Geodesy-NAVigation-Location” rete GPS Slovena

La rete GPS slovena (visibile in Figura 22), gestita dal Geodetic Institute of Slovenia Ljubljana, è composta da 15 stazioni distanti mediamente dai 50 ai 70Km. Il sistema fornisce, sul proprio territorio, i seguenti servizi:

- le correzioni per il posizionamento relativo in TEMPO REALE (con Trimble VRS/FKP);
- i dati GPS per il POST PROCESSING via web server (SMA's home page).

Home page: www.gu-signal.si

e-mail: dalibor.radovan@geod-is.si

gasper.mahnic@geod-is.si

gps@gis.si

Personale di riferimento: Dalibor RADOVAN.

Al momento non sono stati attivati i canali di contatto con la suddetta struttura.

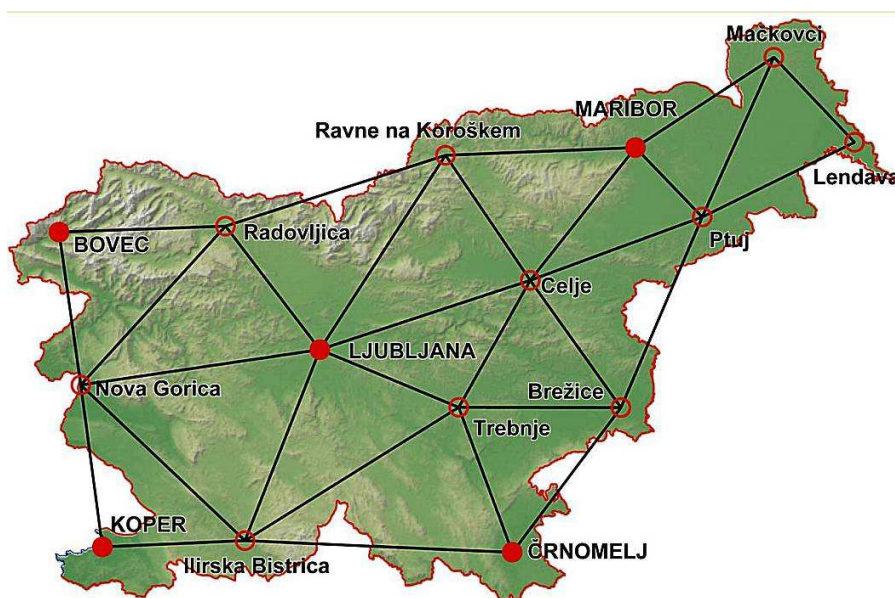


Figura 22: la rete GPS Slovena SIGNAL.

4. Inquadramento dei siti permanenti di FReDNet nella realizzazione più recente ETRF2000 del sistema di riferimento europeo ETRS89

I dati provenienti dalle stazioni della rete FReDNet sono raccolti a cadenza oraria ed elaborati secondo delle procedure automatizzate. Il software, GAMIT/GLOBK, utilizzato per il calcolo delle posizioni e delle velocità di ciascun sito, è in grado di fornire tali grandezze in diversi sistemi di riferimento globali (es.: ITRF) ed europei (es.: ETRS89) o locali (definiti dall'utente). Ciascuno dei sistemi di riferimento citati è disponibile sul territorio attraverso le *realizzazioni* del sistema di riferimento. La realizzazione del sistema di riferimento, detta anche *reference frame*, è una lista di coordinate e di velocità (raggruppate in una tabella all'interno di un file), nel sistema di riferimento scelto, di stazioni GPS di riferimento note. Ad esempio per l'ETRS89 esistono diversi *reference frame* che si sono evoluti dall'ETRF89 all'ETRF2000 aggiungendo ogni volta nuove stazioni e migliorando la precisione dei dati contenuti in tabella; il *reference frame* è di solito completato con l'epoca a cui si riferiscono le coordinate e le velocità, per esempio in ETRF2000(2008.0) tutte le coordinate e le velocità sono riportate all'anno 2008.0. E' estremamente comodo disporre di coordinate note sul territorio e in un sistema di riferimento ampiamente usato nella stesura di mappe e cartine infatti, grazie ad esse, si possono realizzare delle misure relative estremamente precise e inquadrare nel corretto contesto (nazionale o internazionale). Tutti i risultati (coordinate e velocità) ottenuti con GAMIT/GLOBK sono generalmente inquadrati nel sistema internazionale ITRF00 (utilizzato per il confronto dei risultati a livello mondiale).

In Italia il sistema più utilizzato da tecnici e professionisti è quello con cui sono state pubblicate le monografie della rete IGM95 istituita dall'IGM. L'IGM95 è una rete di caposaldi installati su tutto il territorio nazionale e inquadrati nel sistema di riferimento europeo ETRS89 realizzazione ETRF89. Come accennato in precedenza il *reference frame* è stato migliorato fino alla versione ETRF2000: l'IGM con l'istituzione della Rete Dinamica Nazionale ha deciso di allineare, tramite opportuni servizi sul web, le coordinate della rete IGM95 al nuovo contesto ETRF2000(2008.0).

L'OGS, in linea con le direttive IGM, ha deciso di inquadrare le proprie stazioni anche nel sistema ETRF2000(2008.0) (oltre che nell'ITRF00). Per fare ciò sono state seguite tre metodologie:

- inquadramento tramite le direttive europee (*Boucher and Altamimi, 2008*) con rototraslazione da ITRF00 a ETRF2000 (e trasporto nel tempo fino all'epoca 2008.0);

- inquadramento diretto tramite l'utilizzo del software GAMIT/GLOBK. In questo caso le operazioni sono state svolte senza l'utilizzo di dati di campagna, vincolando direttamente le coordinate delle stazioni FReDNet rispetto alla tabella delle coordinate ETRF2000;
- acquisizione di dati di campagna sui punti IGM95 e calcolo delle coordinate delle stazioni di FReDNet inquadrate rispetto ai siti IGM95 (le monografie dei siti sono state corrette grazie ai servizi messi a disposizione dall'IGM). Questa scelta è considerata uno standard da chi opera nel settore del rilievo sul territorio (professionisti, catasto, etc).

La tripla elaborazione, nel contesto della precisione centimetrica dichiarata, ha dato risultati congruenti tra di loro. Sono stati fatti inoltre dei confronti con le coordinate calcolate da altri centri di calcolo che usano le stazioni di FReDNet nei loro sistemi. In particolare il confronto è stato fatto con:

- il centro di calcolo dell'Università di Padova UNIPD (centro di calcolo secondario per EUREF) che elabora e pubblica in autonomo tutte le coordinate ETRS89 della rete FReDNet (a parte la più recente stazione NOVE);
- il centro di calcolo dell'IGM che ha incluso solo quattro siti di FReDNet (ACOM, TRIE, UDI1 e ZOUF) nel calcolo della rete RDN. Le coordinate dei quattro siti sono quindi pubblicate nel bollettino IGM e sono disponibili in rete nel sistema di riferimento ETRS89 (realizzazione ETRF2000(2008.0)).

La soluzione OGS utilizzata per il confronto è quella ottenuta dall'inquadramento tramite le direttive europee. Tale soluzione risulta infatti, rispetto a quella ottenuta tramite il metodo diretto con l'utilizzo del software GAMIT/GLOBK, riproducibile a partire da una soluzione ITRF00 calcolata da un qualsiasi software e da un metodo reso pubblico (*Boucher and Altamimi, 2008*) di facile applicazione. Inoltre essa è decisamente più affidabile di quella ottenuta con campagne sui punti IGM95 (imprecise soprattutto a causa delle brevi sessioni utilizzate).

Poiché le soluzioni comuni ai tre centri di calcolo (IGM, UNIPD e OGS) sono solo le quattro già elaborate da IGM, si riportano le tabelle delle relative coordinate (piane e quota) dei rispettivi centri (Tabella 8, Tabella 9 e Tabella 10). Sono inoltre disponibili le tabelle che indicano la differenza delle soluzioni IGM-UNIPD (Tabella 11) e IGM-OGS (Tabella 12). Si nota una differenza minore di 10mm tra le soluzioni IGM e quelle OGS, questo indica che il procedimento di calcolo delle coordinate realizzato da OGS è, nei limiti della precisione dichiarata, equivalente a quello usato dall'IGM. La differenza più marcata tra la soluzione UNIPD e quella IGM è da imputarsi al fatto che le due non si riferiscono alla stessa epoca (2008.0 per IGM e 2008.2 per UNIPD). Purtroppo la soluzione UNIPD all'epoca 2008.0 non conteneva tutte le stazioni comprese nella soluzione IGM per la stessa epoca e quindi si è scelta la soluzione UNIPD più vicina che le contenesse tutte (epoca 2008.2).

SITE	UTM N[m]	UTM E[m]	Quota Ell.[m]
ACOM	5156000,678	386145,942	1774,687
TRIE	5062543,439	403756,990	323,417
UDI1	5099695,002	364819,027	149,298
ZOUF	5157956,000	344671,414	1946,509

Tabella 8: tabella delle coordinate ETRS89 (ETRF2000(2008.0)) pubblicate dall'IGM nel bollettino per la RDN. Il set di dati utilizzato si basa su alcune settimane di dati acquisite tra fine 2007 e inizio 2008. La prima colonna si riferisce al nome del sito. Le ultime tre colonne sono rispettivamente le coordinate Nord ed Est nella proiezione UTM e la quota ellissoidica.

SITE	UTM N[m]	UTM E[m]	Quota Ell.[m]
ACOM	5156000,677	386145,909	1774,696
TRIE	5062543,440	403756,955	323,429
UDI1	5099695,003	364818,996	149,308
ZOUF	5157955,999	344671,382	1946,522

Tabella 9: tabella delle coordinate ETRS89 fornite dall'Università di Padova. La soluzione si basa su un set di dati settimanale pubblicato nel "bollettino stazioni italiane e austriache_bolwk1523" dall'Università di Padova, la soluzione si considera inquadrata nel Reference Frame ETRF2000(2008.2). La prima colonna si riferisce al nome del sito. Le ultime tre colonne sono rispettivamente le coordinate Nord ed Est nella proiezione UTM e la quota ellissoidica.

SITE	UTM N[m]	UTM E[m]	Quota Ell.[m]
ACOM	5156000,675	386145,943	1774,677
TRIE	5062543,436	403756,990	323,408
UDI1	5099694,999	364819,028	149,290
ZOUF	5157955,996	344671,415	1946,501

Tabella 10: la tabella rappresenta la soluzione fornita dal centro di calcolo dell'OGS nel sistema di riferimento ETRS89, Reference Frame ETRF2000(2008.0)). La prima colonna si riferisce al nome del sito. Le ultime tre colonne sono rispettivamente le coordinate Nord ed Est nella proiezione UTM e la quota ellissoidica.

SITE	Delta UTM N[m]	Delta UTM E[m]	Delta Quota Ell.[m]
ACOM	0,001	0,033	-0,009
TRIE	-0,001	0,035	-0,012
UDI1	-0,001	0,031	-0,010
ZOUF	0,001	0,032	-0,013

Tabella 11: differenza di coordinate (piane e quota) tra la soluzione IGM e quella UNIPD. Si nota che per la coordinata Est il valore si attesta su alcuni centimetri, questo è da imputare al fatto che le due soluzioni si riferiscono ad epoche non perfettamente coincidenti: 2008.0 per la soluzione IGM e 2008.2 per la soluzione UNIPD.

SITE	Delta UTM N[m]	Delta UTM E[m]	Delta Quota Ell.[m]
ACOM	0,003	-0,001	0,010
TRIE	0,003	0,000	0,009
UDI1	0,003	-0,001	0,008
ZOUF	0,004	-0,001	0,008

Tabella 12: differenza di coordinate (piane e quota) tra la soluzione IGM e quella OGS. Le differenze sono molto piccole sia per le componenti piane che per la quota, questo dimostra l'ottima congruenza tra le soluzioni OGS e quelle IGM.

Quanto riscontrato ci permette di affermare con un buon margine di sicurezza che tutte le coordinate dei siti di FReDNet calcolate dall'OGS sono congruenti con quelle stimate dalle soluzioni dell'IGM (riferimento nazionale tramite l'RDN) e correttamente inquadrature nel *Reference Frame* ETRF2000(2008.0).

Inquadramento tramite direttive europee

Consideriamo il metodo d'inquadramento tramite le direttive europee (*Boucher and Altamimi, 2008*) con rototraslazione da ITRF00 a ETRF2000. Esso è stato scelto come metodo di riferimento ufficiale per il calcolo dell'OGS perché è un metodo ufficialmente riconosciuto (pubblicato dallo staff di EUREF) ed è facilmente riproducibile da qualsiasi agenzia o ente in quanto i dettagli sono di liberamente fruibili in rete (vedi a <http://etrs89.ensg.ign.fr/>).

Per il calcolo si parte da una soluzione di GAMIT/GLOBK inquadrata in ITRF00. La soluzione GAMIT/GLOBK si basa su un set di dati GPS, di tutta la rete FReDNet, raccolti durante il primo mese del 2008. La soluzione, seguendo la guida *Boucher and Altamimi, 2008* (cfr ALL. 1) è rototraslata dal *Reference Frame* ITRF00 al suo equivalente ETRF2000 tramite le tabelle pubblicate nella stessa guida. Oltre alle coordinate anche le velocità di deformazione sono traslate da un sistema all'altro. Infine le coordinate così riferite all'anno di definizione del *Reference Frame* ITRF00 (cioè 1997.0) sono trasportate (usando le velocità così calcolate) all'anno di riferimento utilizzato per l'RDN (cioè il 2008.0 infatti il riferimento è ETRF2000(2008.0)). Tutto il procedimento è realizzato tramite uno script matlab sviluppato dall'OGS con il supporto dell'Università La Sapienza di Roma.

I dati ottenuti sono poi proiettati nella consueta proiezione UTM per la verifica dei risultati (vedi Tabella 13).

SITE	UTM N[m]	UTM E[m]	Quota Ell.[m]
ACOM	5156000,675	386145,943	1774,677
AFAL	5156498,071	283307,444	2284,078
CANV	5098167,656	301419,298	965,915
CODR	5091425,386	343400,519	91,874
FUSE	5142005,377	346384,073	581,907
JOAN	5115706,129	377759,284	1190,455
NOVE	5060037,639	312154,229	47,867
MDEA	5086844,999	378703,128	165,698
MPRA	5122765,154	344859,825	808,563
PAZO	5074306,144	348678,088	50,072
TRIE	5062543,436	403756,990	323,408
UDI1	5099694,999	364819,028	149,290
ZOUF	5157955,996	344671,415	1946,501

Tabella 13: coordinate ETRS89 UTM inquadrature nel *Reference Frame* ETRF2000(2008.0) calcolate dall'OGS a partire da una soluzione ITRF00 mensile (Gennaio 2008) di GAMIT/GLOBK.

Per completezza, per la soluzione OGS, sono presenti anche la tabella delle coordinate geocentriche (Tabella 14) e quella delle coordinate ellissoidiche (Tabella 15, Latitudine, Longitudine e quota rispetto all'ellissoide definito nel WGS84).

NAME	X	Y	Z
ACOM	4273811,050	1027226,419	4608634,767
AFAL	4298653,295	927400,279	4607414,177
CANV	4334208,651	955714,847	4566582,598
CODR	4328222,575	997585,373	4562110,283
FUSE	4292559,014	991105,406	4597527,667
JOAN	4303674,607	1026554,489	4580286,889
NOVE	4357459,598	973082,426	4539604,836
MDEA	4322832,631	1032685,370	4559530,502
MPRA	4306530,482	993265,482	4584380,277
PAZO	4338790,191	1005880,809	4550256,558
TRIE	4333582,017	1061504,347	4543010,412
UDI1	4317298,509	1016828,674	4568247,645
ZOUF	4282710,330	986659,201	4609469,577

Tabella 14: coordinate geocentriche (ECEF) cartesiane calcolate all'OGS e relative alla soluzione ETRF2000(2008.0).

NAME	LAT	LON	H. ELL.[m]
ACOM	46°32'52,55384"	13°30'53,62223"	1774,677
AFAL	46°31'37,70543"	12°10'28,24278"	2284,078
CANV	46°00'29,84854"	12°26'06,05877"	965,915
CODR	45°57'30,70229"	12°58'44,72787"	91,874
FUSE	46°24'50,93971"	13°00'04,10903"	581,907
JOAN	46°11'02,24703"	13°24'57,80268"	1190,455
NOVE	45°40'06,35352"	12°35'18,28725"	47,867
MDEA	45°55'28,07787"	13°26'08,27617"	165,698
MPRA	46°14'26,70084"	12°59'15,64335"	808,563
PAZO	45°48'20,58976"	13°03'09,16932"	50,072
TRIE	45°42'35,11496"	13°45'48,65819"	323,408
UDI1	46°02'14,91420"	13°15'10,85562"	149,290

Tabella 15: coordinate ellissoidiche (Latitudine, Longitudine e quota) calcolate all'OGS e relative alla soluzione ETRF2000(2008.0).

Inquadramento diretto tramite l'utilizzo del software GAMIT/GLOBK.

L'inquadramento in questa modalità parte da una soluzione debolmente vincolata a ITRF00 e calcolata con il software di ricerca GAMIT/GLOBK. Questo software è distribuito gratuitamente ai soli enti di ricerca e normalmente non è utilizzato dagli studi privati del settore. La soluzione ITRF00 di partenza è utilizzata dall'OGS per lo studio della deformazione crostale ed è disponibile come soluzione giornaliera, settimanale e mensile. Per l'inquadramento ETRF2000(2008.0) si è scelta una soluzione mensile (gennaio 2008). Tale soluzione è stata poi vincolata rigidamente al *Reference Frame* ufficiale ETRF2000 (<http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/ETRF2000.SSC>) tramite il modulo GLORG del pacchetto GAMIT/GLOBK. La soluzione (in Tabella 16) ha uno scostamento minimo (vedi le coordinate piane e la quota di Tabella 17) rispetto alla soluzione ufficiale scelta da OGS (vedi Tabella 13). Questa soluzione non è stata presa come riferimento perché sfrutta un

modulo particolare (GLORG) di un software che non è facilmente reperibile da tutta l'utenza che non può verificarne la bontà.

Nella lista dei siti manca, per questo metodo, la stazione di NOVE in quanto di recente installazione (non sono disponibili serie mensili complete e quindi il metodo non è applicabile).

Inquadramento GAMIT/GLOBK/GLORG			
SITE	UTM N [m]	UTM E[m]	Quota Ell.[m]
ACOM	5156000,672	386145,941	1774,670
AFAL	5156498,068	283307,442	2284,071
CANV	5098167,653	301419,296	965,908
CODR	5091425,383	343400,518	91,866
FUSE	5142005,375	346384,071	581,899
JOAN	5115706,125	377759,282	1190,447
MDEA	5086844,996	378703,127	165,690
MPRA	5122765,151	344859,823	808,555
PAZO	5074306,141	348678,087	50,065
TRIE	5062543,433	403756,989	323,400
UDI1	5099694,996	364819,027	149,282
ZOUF	5157955,993	344671,413	1946,494

Tabella 16: tabella delle coordinate dei siti FReDNet inquadrate in ETRF2000(2008.0) con il software GAMIT/GLOBK/GLORG.

SITE	Delta UTM N [m]	Delta UTM E[m]	Delta Quota Ell.[m]
ACOM	0,003	0,002	0,007
AFAL	0,003	0,002	0,007
CANV	0,003	0,002	0,007
CODR	0,003	0,001	0,008
FUSE	0,002	0,002	0,008
JOAN	0,004	0,002	0,008
MDEA	0,003	0,001	0,008
MPRA	0,003	0,002	0,008
PAZO	0,003	0,001	0,007
TRIE	0,003	0,001	0,008
UDI1	0,003	0,001	0,008
ZOUF	0,003	0,002	0,007

Tabella 17: tabella delle differenze tra la soluzione ufficiale di OGS di Tabella 13 e quella ricavata tramite GAMIT/GLOBK/GLORG di Tabella 16.

Acquisizione di dati GPS sui punti IGM95 ed inquadramento rispetto ad essi

La procedura seguita impone il calcolo delle *baseline*, tra le Stazioni Permanenti di FReDNet da inquadrare e un set di caposaldi IGM posti nelle vicinanze del punto in questione. Il passo finale del calcolo stabilizza tale soluzione rispetto alle coordinate (o vincoli) dei punti IGM pubblicate

nelle rispettive monografie. Le monografie utilizzate sono quelle relative al sistema di riferimento ETRF2000(2008.0).

Per il corretto inquadramento di ogni stazione di FReDNet si è cercato di acquisire, per ciascuna di esse, almeno tre punti IGM95 non lontani dai siti stessi. Non è sempre stato possibile seguire tale regola ad esempio a causa del fatto che alcuni punti IGM95 erano stati rimossi o proprio perché troppo lontani dalla Stazione Permanente. L'elaborazione è stata eseguita con diversi software commerciali:

- Topcon Tools di Topcon;
- Pinnacle di Topcon;
- Ashtech Solution di Magellan;
- Trimble Total Control di Trimble.

Grazie all'utilizzo di sistemi diversi è stato possibile individuare un set di stazioni di FReDNet in cui il risultato di tutti i software convergeva univocamente, cioè tutti i software fornivano coordinate ETRF2000 i cui valori si discostavano di poco (al massimo qualche cm). Questo sottoinsieme di siti è stato quindi utilizzato (con coordinate compatibili con IGM95) per inquadrare le rimanenti stazioni che, per diversi problemi, non venivano inquadrare correttamente (sessioni troppo corte o fortemente influenzate da pessime acquisizioni dai satelliti GPS).



Figura 23: acquisizione del caposaldo IGM N. 14A702 in località Ugovizza.

UGOVIZZA (Cabina metano)		14A702	003 sec IV	14A IVSD
Località: UGOVIZZA Provincia: UTRIUM Comune: FALCUGNOLA (F. CO. VALDURUNA) Carabinieri: TARVISIO		Proprietà: Indirizzo: Via F.lli Rossini, 52 Comune: TARVISIO Cap: 32044 Tel: Fax: Provincia: TREVISO		
Materializzazione: Ossatura in ferro. C.T. fissato al centro della soletta di sovrapposizione del cassero (in cemento armato), adotto a stampa di riduzione del metallo, posto alla periferia del paese di UGOVIZZA, adiacente alla S.S. 13.		Geografiche (Roma40) Plane (Stuss-Beagni) Geograf. (ETRF2000) Plane (UTM-ETRF2000) E: N: E: N: E: N: E: N: E: Quota s.l.m.: 220,950 Quota ell.: La quota s.l.m. è riferita al datum IGM95. La quota ell. è riferita al datum ETRF2000.		
Accesso: Informazioni ausiliarie: Per accedere al punto è necessario l'uso di una scala.				
Vertici collegati: N. 0004701 met. c. 0100 - UGOVIZZA (cassa) - DIST. = 0,20		Punto di acquisizione (questo, ecc.): Con quota definita da caposaldo di riferimento (Met. For.) (vedi nota 000)		
Stazioni astronomiche:		Stazioni astronomiche:		
Descrizione: 150x120x80 60-1500 Cass. UGOVIZZA (cassa) Numero nazionale: 1200120002 C.T. 2 2002 Cass. UGOVIZZA (cassa)		Descrizione: 150x120x80 60-1500 Cass. UGOVIZZA (cassa) Numero nazionale: 1200120002 C.T. 2 2002 Cass. UGOVIZZA (cassa)		
⚠ Questo schema è di proprietà del IRTMUTO GEOGRAFICO MILITARE. È vietata la copia e la divulgazione non autorizzata.		2002-2009, www.istitutogeografico.it		

Figura 24: monografia IGM relativa al punto N.14A702 inquadrata nel nuovo sistema ETRF2000(2008.0).

Le coordinate inquadrare con i programmi software commerciali si basano su un set di dati acquisiti in campagna (sono stati acquisiti circa 27 caposaldi IGM); si è cercato di inquadrare ciascun sito di FReDNet con sessioni contemporanee di almeno tre caposaldi IGM. Le sessioni hanno una durata media di un'ora e per la verifica della ripetibilità sono state fatte due volte per ogni caposaldo IGM cambiando di volta in volta l'intera strumentazione di acquisizione (ricevitore, antenna e treppiede) e facendo fare il lavoro di installazione ad un operatore diverso. In Figura 23

una fase di acquisizione del caposaldo IGM N. 14A702 di Ugovizza per l'inquadramento del sito ACOM di FRedNet, in Figura 24 la relativa monografia IGM ETRF2000(2008.0) e in Figura 25 uno dei software commerciali durante la fase di elaborazione.

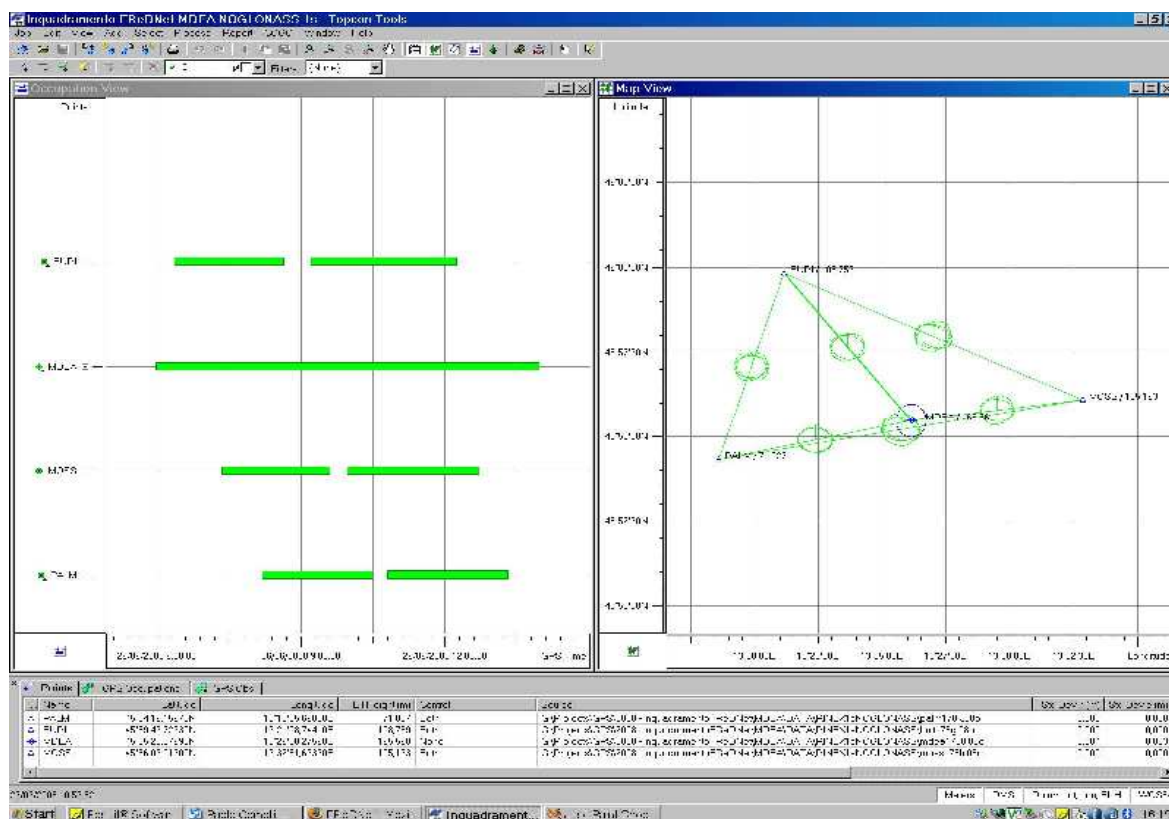


Figura 25: Uno dei software commerciali utilizzato. In questo caso è visualizzato l'inquadramento del sito FRedNet MDEA.

I risultati ottenuti si trovano riassunti, come di seguito riportato:

- Tabella 18: coordinate plane UTM della componente Nord calcolata con i diversi software commerciali per ogni caposaldo della rete FRedNet. Sulle ultime quattro colonne sono riportate le differenze tra i risultati di ogni software commerciale e la coordinata di riferimento calcolata con il metodo "Inquadramento tramite direttive europee". In rosso sono riportate, per ciascun software, le differenze massime con la soluzione di riferimento;
- Tabella 19: la descrizione è equivalente a quella del punto precedente riferita però alle coordinate plane UTM della componente Est;
- Tabella 20: la descrizione è equivalente a quella del punto precedente riferita però alle quote ellissoidiche;
- Figura 26, Figura 27, Figura 28 grafici delle tre tabelle precedenti.

Da quest'insieme di risultati si possono trarre alcune conclusioni:

- il software Ashtech è quello che fornisce i risultati peggiori per la quota. Questo accade perché è l'unico dei programmi a non gestire il ritardo troposferico (non riesce a stimarlo)

né a modellarlo). In effetti, è il più datato dei software utilizzati e al momento non è più disponibile alcun upgrade per esso;

- per la stazione AFAL esiste qualche problema di stima sulla componente N, è probabile che qualche sessione di acquisizione abbia dei problemi, si ritiene che la stima delle coordinate e della quota sia comunque accettabile;
- pur essendo questo il metodo più utilizzato per chi lavora sul territorio dimostra chiaramente i suoi limiti, in particolare:
 - le sessioni sono più brevi (due ore) rispetto a quelle del metodo ufficiale (un mese di dati) anche se le tempistiche rispecchiano perfettamente la disponibilità operativa dei professionisti che devono presentare dei risultati in tempi brevi e non possono permettersi di lasciare la strumentazione in campagna senza protezione e con batterie di alimentazione dall'autonomia limitata (lavorando con siti permanenti la protezione e l'alimentazione sono perfettamente garantite per tutto l'anno 24H);
 - i software commerciali, pur facendo ampio uso delle ultime ricerche nel campo del posizionamento, tendono a valutare alcuni parametri del sistema di calcolo (tipo il ritardo troposferico) attraverso dei modelli matematici (poco precisi su piccola scala) piuttosto che stimarli direttamente dal set di dati a disposizione (come fanno i software di ricerca tipo GAMIT/GLOBK). I risultati ottenuti con i software commerciali sono comunque adeguati per scopi cartografici e topografici purché si presti particolare attenzione alla valutazione della quota fortemente influenzata dal modello di calcolo e dal set di dati utilizzato.

SITE	SOLUZIONE ETRF2000(2008.0) N UTM [m]					DIFFERENZE N UTM [m]			
	ASHTECH	PINNACLE	TOPCON T.	TRIMBLE	PUBB	PUBB-ASH	PUBB-PINN	PUBB-TT	PUBB-TRIM
ACOM	5156000,675	5156000,674	5156000,673	5156000,686	5156000,675	0,000	0,001	0,002	-0,011
AFAL	5156498,128	5156498,114	5156498,111	5156498,132	5156498,071	-0,057	-0,043	-0,040	-0,061
CANV	5098167,601	5098167,670	5098167,655	5098167,649	5098167,656	0,055	-0,014	0,001	0,007
CODR	5091425,383	5091425,384	5091425,385	5091425,375	5091425,386	0,003	0,002	0,001	0,011
FUSE	5142005,383	5142005,388	5142005,383	5142005,383	5142005,377	-0,006	-0,011	-0,006	-0,006
JOAN	5115706,100	5115706,127	5115706,134	5115706,134	5115706,129	0,029	0,002	-0,005	-0,005
MDEA	5086844,993	5086844,998	5086844,994	5086844,998	5086844,999	0,006	0,001	0,005	0,001
MPRA	5122765,162	5122765,149	5122765,151	5122765,160	5122765,154	-0,008	0,005	0,003	-0,006
PAZO	5074306,150	5074306,146	5074306,146	5074306,145	5074306,144	-0,006	-0,002	-0,002	-0,001
TRIE	5062543,413	5062543,421	5062543,419	5062543,413	5062543,436	0,023	0,015	0,017	0,023
UDI1	5099695,000	5099694,997	5099694,995	5099694,973	5099694,999	-0,001	0,002	0,004	0,026
ZOUF	5157955,992	5157955,990	5157955,990	5157955,997	5157955,996	0,004	0,006	0,006	-0,001

Tabella 18: coordinate UTM N ETRF2000(2008.0) di ciascun sito di FReDNet, ricavate con software commerciali di diverse marche (Magellan, Trimble, Topcon). Le ultime tre colonne indicano quanto ciascuna delle soluzioni si discosta da quella di riferimento (PUBB) pubblicata in Tabella 13.

SITE	SOLUZIONE ETRF2000(2008.0) E UTM [m]					DIFFERENZE E UTM [m]			
	ASHTECH	PINNACLE	TOPCON T.	TRIMBLE	PUBB	PUBB-ASH	PUBB-PINN	PUBB-TT	PUB-TRIM
ACOM	386145,956	386145,944	386145,945	386145,965	386145,943	-0,013	-0,001	-0,002	-0,022
AFAL	283307,457	283307,446	283307,444	283307,449	283307,444	-0,013	-0,002	0,000	-0,005
CANV	301419,241	301419,263	301419,300	301419,300	301419,298	0,057	0,035	-0,002	-0,002
CODR	343400,517	343400,517	343400,515	343400,530	343400,519	0,002	0,002	0,004	-0,011
FUSE	346384,085	346384,076	346384,077	346384,072	346384,073	-0,012	-0,003	-0,004	0,001
JOAN	377759,263	377759,284	377759,274	377759,282	377759,284	0,021	0,000	0,010	0,002
MDEA	378703,135	378703,136	378703,138	378703,140	378703,128	-0,007	-0,008	-0,010	-0,012
MPRA	344859,825	344859,823	344859,823	344859,825	344859,825	0,000	0,002	0,002	0,000
PAZO	348678,084	348678,087	348678,088	348678,085	348678,088	0,004	0,001	0,000	0,003
TRIE	403756,999	403756,998	403757,002	403756,994	403756,990	-0,009	-0,008	-0,012	-0,004
UDI1	364819,041	364819,041	364819,041	364819,047	364819,028	-0,013	-0,013	-0,013	-0,019
ZOUF	344671,421	344671,416	344671,416	344671,408	344671,415	-0,006	-0,001	-0,001	0,007

Tabella 19: coordinate UTM E ETRF2000(2008.0) di ciascun sito di FReDNet, ricavate con software commerciali provenienti da diverse marche (Magellan, Trimble, Topcon). Le ultime tre colonne indicano quanto ciascuna delle soluzioni si discosta da quella di riferimento(PUBB) pubblicata in Tabella 13.

SITE	SOLUZIONE Quota Ell.[m]					DIFFERENZE Quota Ell. [m]			
	ASHTECH	PINNACLE	TOPCON T.	TRIMBLE	PUBB	PUBB-ASH	PUBB-PINN	PUBB-TT	PUB-TRIM
ACOM	1774,533	1774,645	1774,651	1774,652	1774,677	0,144	0,032	0,026	0,025
AFAL	2283,876	2284,086	2284,046	2284,081	2284,078	0,202	-0,008	0,032	-0,003
CANV	965,997	965,985	965,929	966,009	965,915	-0,082	-0,070	-0,014	-0,094
CODR	91,990	91,918	91,949	91,913	91,874	-0,116	-0,044	-0,075	-0,039
FUSE	582,127	581,912	581,917	581,939	581,907	-0,220	-0,005	-0,010	-0,032
JOAN	1190,489	1190,466	1190,513	1190,376	1190,455	-0,034	-0,011	-0,058	0,079
MDEA	165,751	165,727	165,731	165,693	165,698	-0,053	-0,029	-0,033	0,005
MPRA	808,551	808,572	808,574	808,538	808,563	0,012	-0,009	-0,011	0,025
PAZO	50,186	50,101	50,093	50,121	50,072	-0,114	-0,029	-0,021	-0,049
TRIE	323,371	323,381	323,418	323,459	323,408	0,037	0,027	-0,010	-0,051
UDI1	149,297	149,290	149,301	149,346	149,290	-0,007	0,000	-0,011	-0,056
ZOUF	1946,445	1946,477	1946,496	1946,400	1946,501	0,056	0,024	0,005	0,101

Tabella 20: quota ellissoidica ETRF2000(2008.0) di ciascun sito di FReDNet, ricavate con software commerciali provenienti da diverse marche (Magellan, Trimble, Topcon). Le ultime tre colonne indicano quanto ciascuna delle soluzioni si discosta da quella di riferimento(PUBB) pubblicata in Tabella 13.

Differenze sulla coordinata UTM N

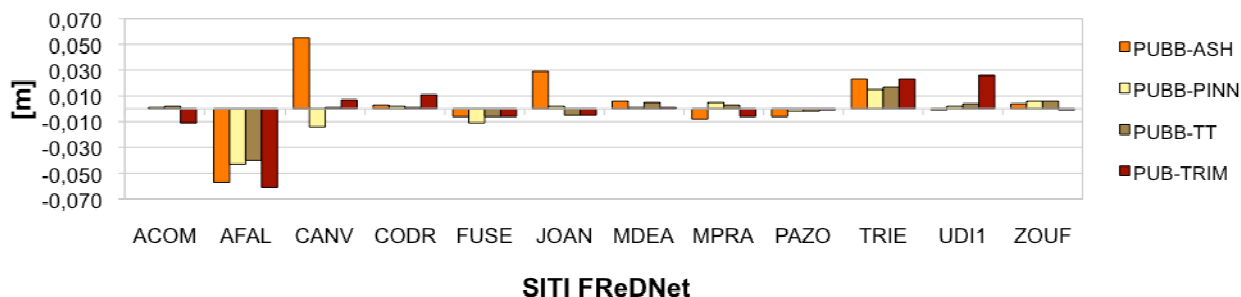


Figura 26: grafico relativo ai dati di Tabella 18.

Differenze sulla coordinata UTM E

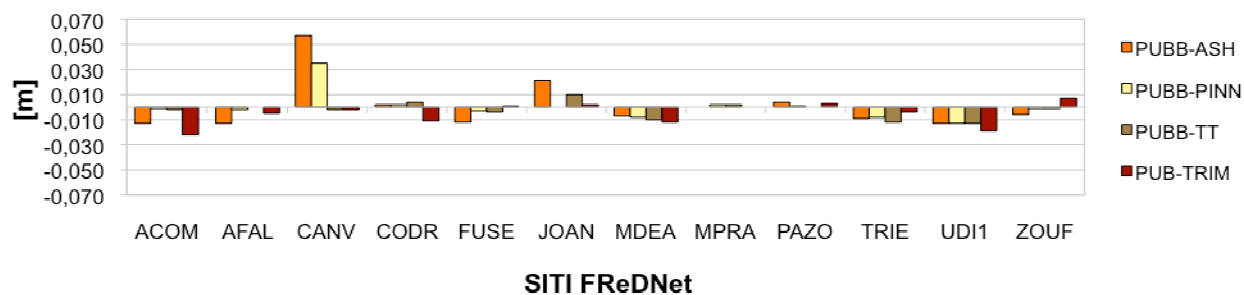


Figura 27: grafico relativo ai dati di Tabella 19.

Differenze sulla Quota Ellissoidica

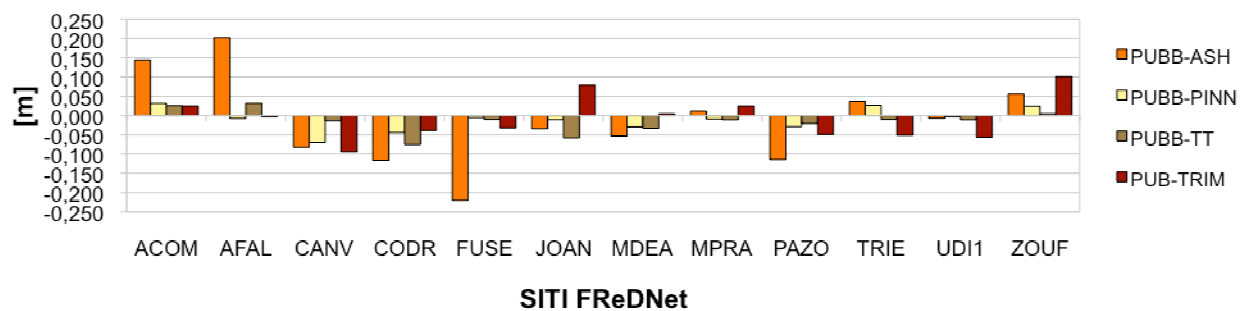


Figura 28: grafico relativo ai dati di Tabella 20.

5. Modellazione dei dati GPS continui (CGPS)

5.1 Modello per la correzione del carico marino (OTL) e atmosferico (ATML) delle misure CGPS.

Per determinare le velocità di deformazione sono stati utilizzati i dati: delle 8 stazioni della rete FReDNet, di 4 stazioni della rete regionale della Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia (RAFVG) e di 42 stazioni intorno alla regione Adriatica. In totale sono stati processati circa sette anni di dati, dal 2001 a settembre del 2008, con il pacchetto software GAMIT/GLOBK versione 10.34 sviluppato dal Massachusetts Institute of Technology (<http://web.mit.edu>), dall'Harvard-Smithsonian Center of Astrophysics (CfA) e dallo Scripps Institution of Oceanography (SIO).

E' stata studiata anche l'applicazione del carico marino (OTL) e atmosferico (ATML) alle misure GPS per poter migliorare la dispersione delle misure nella stima delle velocità di deformazione. I risultati ottenuti indicano che l'applicazione dell'ATML senza l'OTL determina un miglioramento dell'errore sulla componente verticale del 3%. L'Ocean loading determina invece una dispersione maggiore del 20 %. Nell'elaborazione la rms dei residui delle velocità delle stazioni di riferimento è stato pari a 1.27 mm/yr per l'ITRF00, 1.29 mm/yr per il sistema di riferimento di Altamimi et al. (2002), 0.24 mm/yr per McClusky et al. (2000) e 0.16 mm/yr per il sistema rispetto al Friuli settentrionale. Nelle serie temporali (Figura 29) le variazioni annuali hanno tipicamente valori di 2 mm nelle componenti orizzontali e 4 mm nelle componenti verticali (Blewit et Lavallée, 2002). Nelle serie temporali dell'elaborazione si ha una media delle variazioni annuali nelle componenti orizzontali di 2 mm con la maggior variazione annuale nella componente E della stazione di AFAL e nella componente N di UDIN, in cui si misurano rispettivamente 6 e 4 mm di variazione.

Le soluzioni del campo di velocità rispetto ad Eurasia è elaborata secondo due sistemi di riferimento, essendo non ancora stato sviluppato un sistema di riferimento univoco Europeo. Nel sistema di riferimento europeo di Altamimi et al. (2002) si osservano due campi di velocità distinti: le stazioni delle Alpi Meridionali (ACOM, AFAL, ZOUF, AMPO) presentano vettori di velocità con direzioni da W a WSW e valori massimi di spostamento pari a 1.26 mm/yr; le stazioni della piana friulana presentano invece velocità da 1.44 ± 0.32 fino a 1.92 ± 0.49 mm/yr con direzione NNW (Figura 30).

Anche nel sistema di riferimento di McClusky et al. (2000), si osservano nettamente i due campi di velocità. In questo caso però i siti della dorsale Alpina presentano velocità trascurabili mentre i siti della piana presentano velocità da 0.99 ± 0.3 mm/yr a 1.99 ± 0.86 mm/yr (UDI0) con direzioni circa N (Figura 31).

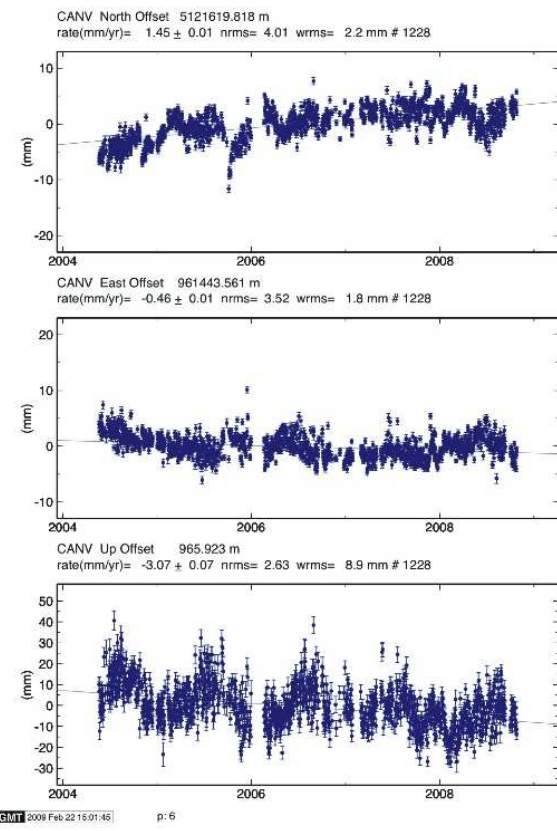
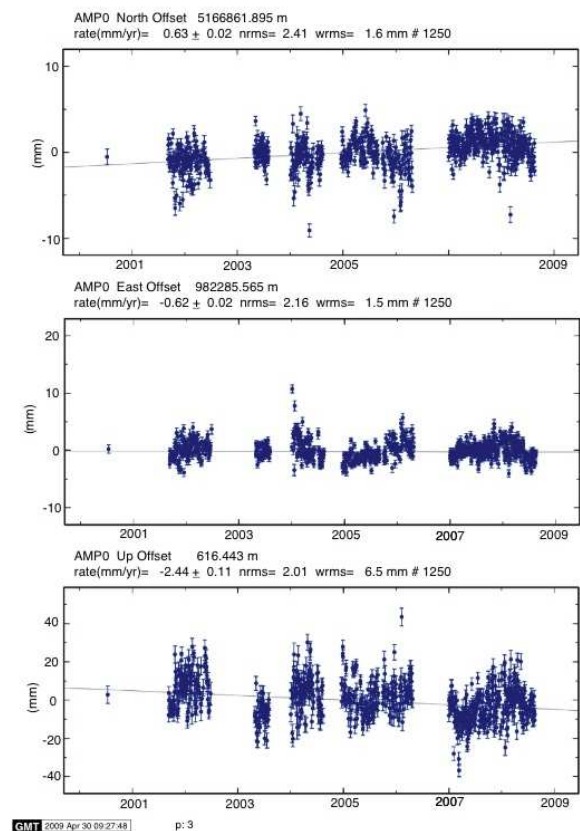
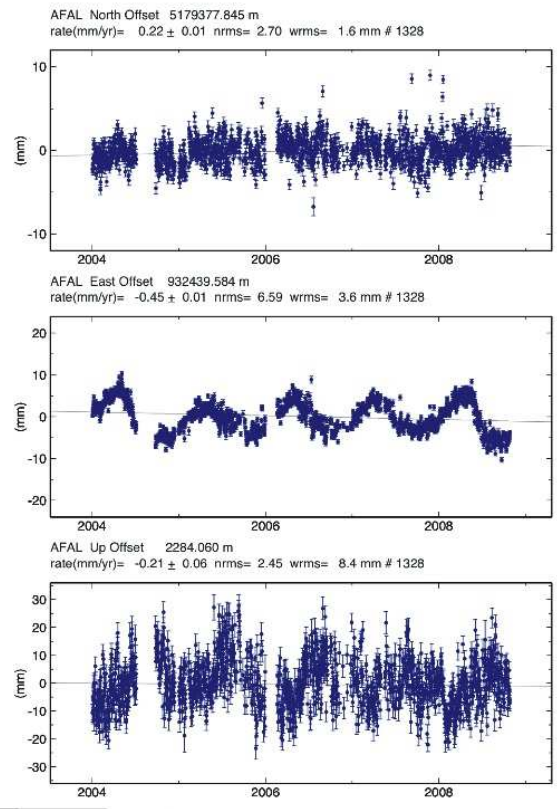
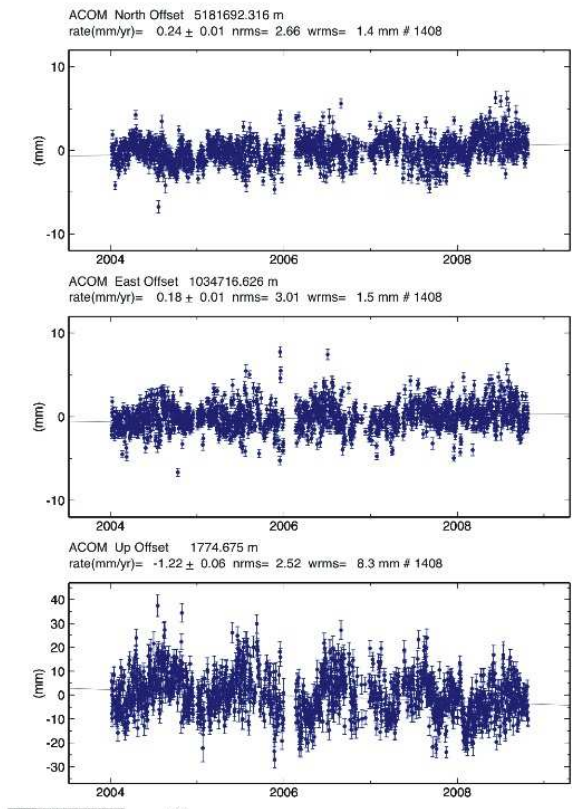


Figura 29: serie temporali annuali delle stazioni della rete FRdNet.

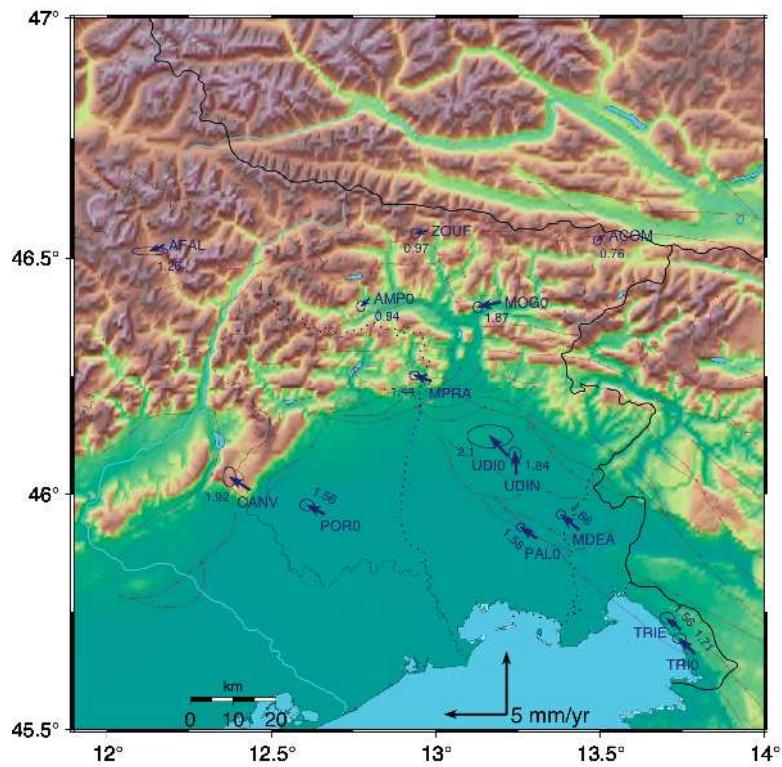


Figura 30: soluzione del campo di velocità rispetto ad Eurasia calcolata rispetto al sistema di riferimento di Altamimi et al. (2002).

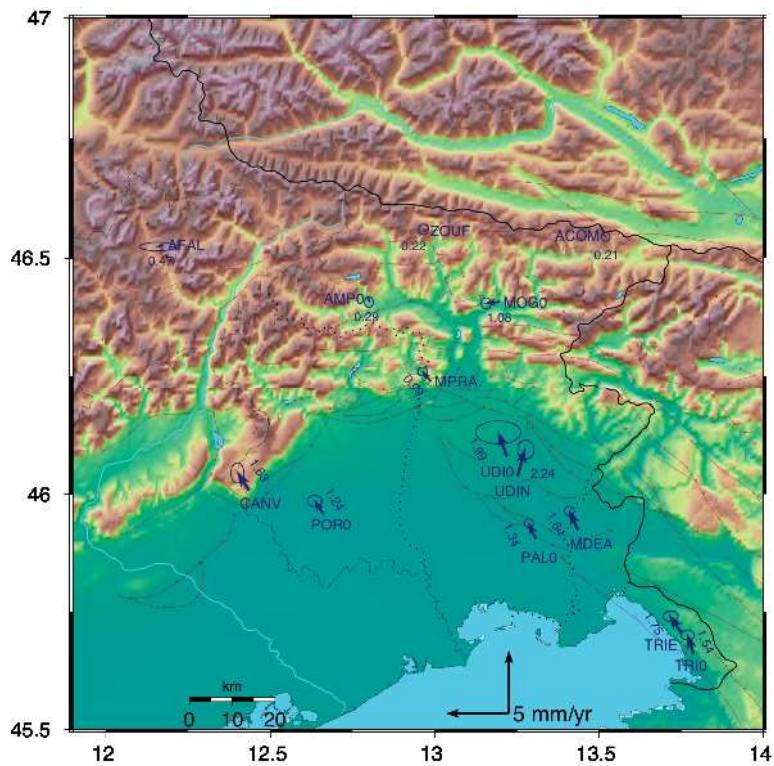


Figura 31: soluzione del campo di velocità rispetto ad Eurasia calcolata rispetto al sistema di riferimento di McClusky et al. (2000).

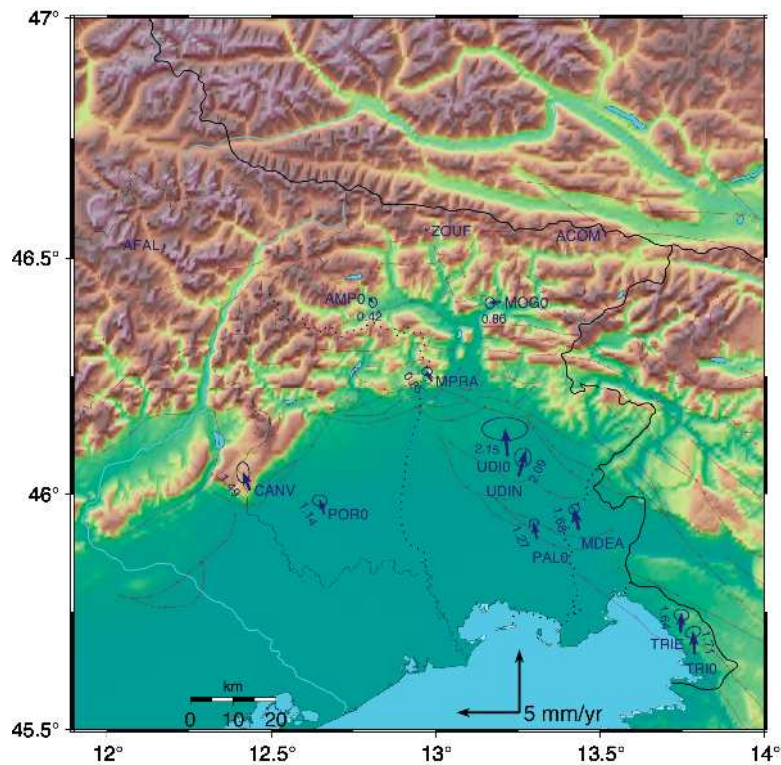


Figura 32: soluzione del campo di velocità stabilizzata per le stazioni del Friuli settentrionale (ACOM, AFAL e ZOUF).

L'angolo di collisione tra la piana del Friuli e la dorsale delle Alpi Meridionali può essere determinato dalla soluzione stabilizzata per le stazioni del Friuli settentrionale (ACOM, AFAL e ZOUF) (Figura 32). Bisogna inoltre considerare che le stazioni che presentano velocità discordanti con il campo di velocità hanno monumentazioni costruite su tetti di edifici (UDIN, UDIO, TRIE, TRIO) o su comignoli di tetti (MOGO).

Le velocità verticali, risolte per il sistema di riferimento di Altamimi et al. (2002), indicano una generale subsidenza dell'area in accordo con altri studi tettonici (e.g. Carminati et al., 2003) dovuta alla flessurazione della placca Adriatica legata alla subduzione appenninica. Il valore medio della subsidenza, non includendo i valori anomali delle stazioni UDIN e UDIO (Figura 33), è di 2.0 ± 0.8 mm/yr.

Il campo di velocità indica un accorciamento dell'area del Friuli di 1.7 ± 0.4 mm/yr assorbito essenzialmente dal fronte delle Alpi meridionali attraverso sovrascorrimenti ed inspessimento crostale.

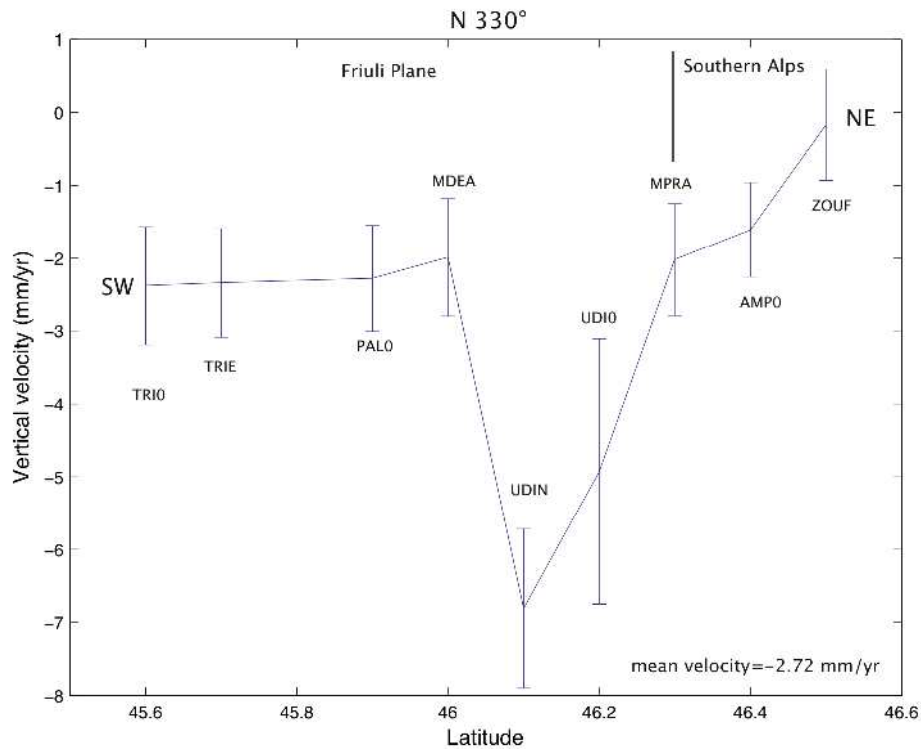


Figura 33: soluzione del campo di velocità verticale lungo una sezione orientata 330°N nel sistema di riferimento Altamimi et al. (2002).

5.2 Modello elasto-plastico 3D della geodinamica del FVG

Sono stati sviluppati modelli elastoplastici in tre dimensioni dei fronti delle Alpi Meridionali e delle Dinaridi con il software COMSOL Multiphysics. Sono state utilizzate informazioni da sezioni geologiche, dati sulla distribuzione della sismicità e sulle faglie attive e dati di elevazione topografica per costruire un modello di 151 km x 160 km e 40 km di profondità. Al fine di validare il modello numerico, sono stati confrontati i risultati del modello con misure geofisiche dello stato di sforzo dell'area in esame. Considerando una convergenza di 1.5 m in direzione NNW su 1000 anni ricavata da misure GPS, si osserva in primo luogo un accumulo degli sforzi nell'area centrale del Friuli, in accordo con la distribuzione dei terremoti e con le zone epicentrali dell'evento del 1976 (Figura 34). Si hanno anche accumuli di sforzo al fronte delle Alpi Meridionali e accumuli minori al fronte delle Dinaridi. In particolare nell'area di intersezione tra i due fronti, lo sforzo di taglio raggiunge valori sufficienti a generare un evento sismico (0.5-1 bar) in cento anni in accordo con i tempi di ritorno dei terremoti in quell'area (Perniola et al., 2004) (Figura 35).

Gli assi dello sforzo principale subiscono una rotazione, avendo direzioni rispettivamente N-S nelle Alpi Meridionali, E-W nelle Dinaridi e una posizione intermedia nella zona di intersezione tra le due catene in accordo con misurazioni di sforzo disponibili (Montone et al., 2004; Bressan et al., 2003) (Figura 36). I meccanismi prevalenti sono compressivi in accordo con quanto ci si aspetta da altri dati geofisici.

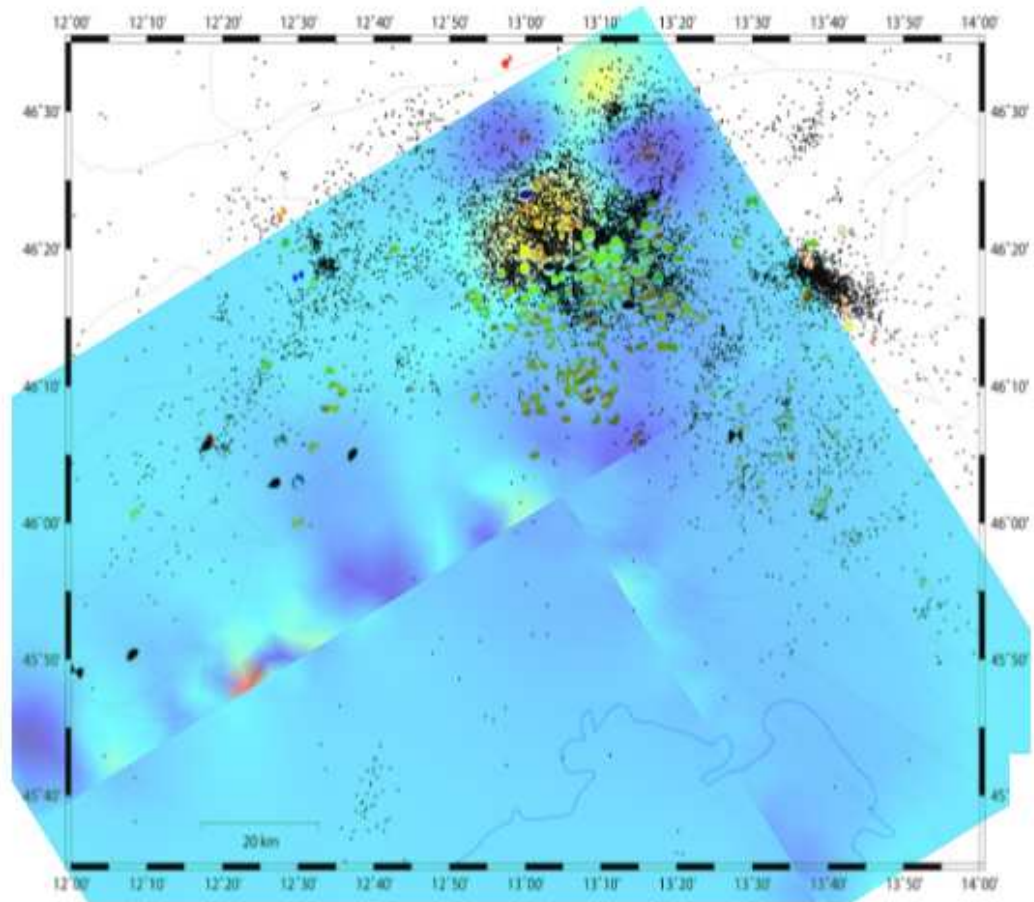


Figura 34: campo degli sforzi (componente xy) calcolato con modellazione. I punti indicano la sismicità strumentale registrata dalle reti dell'OGS.

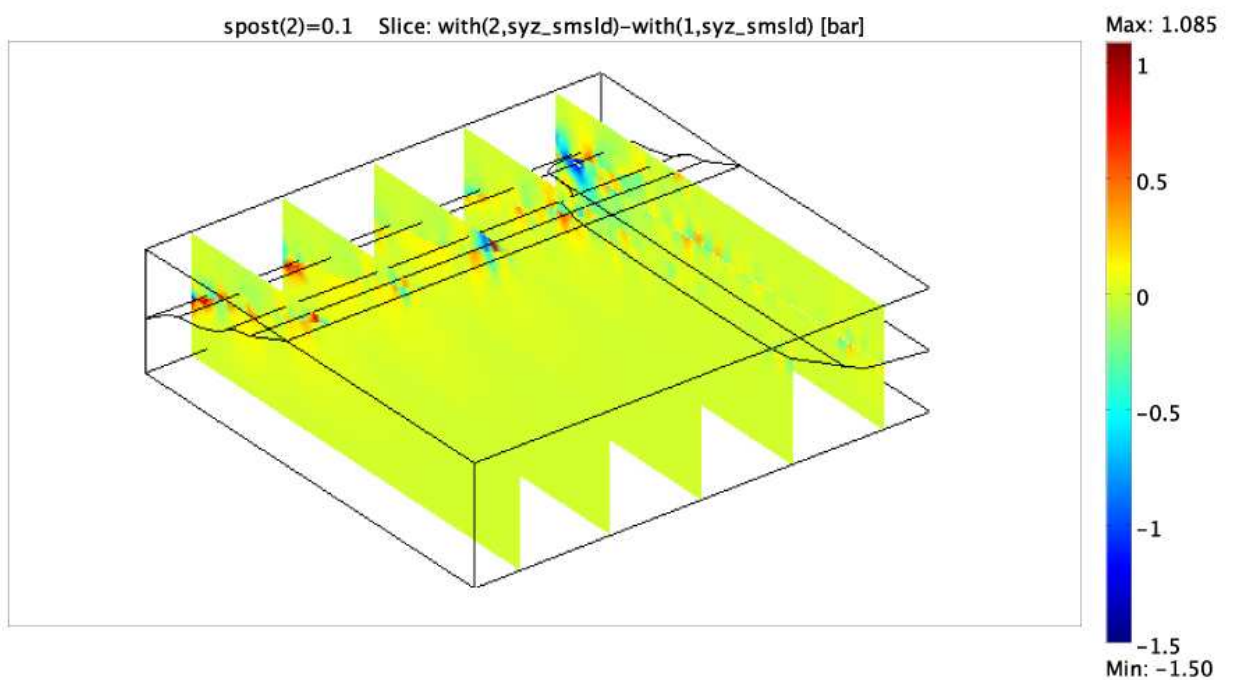


Figura 35: campo degli sforzi lungo cinque transetti verticali. Si riconoscono i contorni delle superfici delle superfici di faglia definite nel modello.

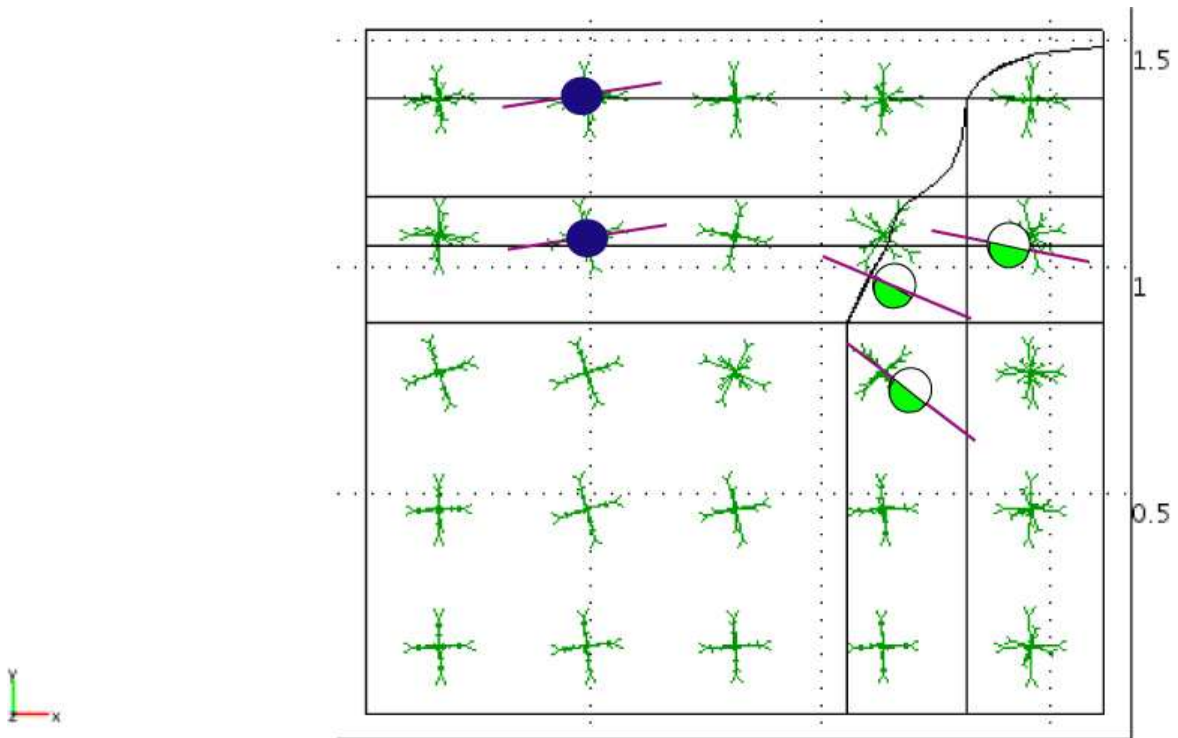


Figura 36: assi principali del campo di sforzi (vista dall'alto). Altri dettagli come nella Figura 34 e nella Figura 35.

6. Campagne di misurazioni temporanee

6.1 Area A (Tolmezzo-M. Sernio)

Nel corso della prima fase del progetto *“Progetto GPS-RTK: una rete GPS per il posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia” (Fase 1)* si è svolta, nell’anno 2006, nella zona centrale alpina comprendente la città di Tolmezzo ed il M.te Sernio (Area A Figura 37 e Figura 38), una prima campagna di misura per lo studio delle deformazioni crostali. L’area soggetta alla misura di campagna è considerata di possibile lacuna sismica e quindi dotata di elevato potenziale sismogenico. Le misure sono state effettuate su 20 caposaldi precedentemente individuati e monumentati su affioramenti rocciosi e soggetti ai soli movimenti geodinamici dell’area.

L’elaborazione dei dati ottenuti è stata effettuata indipendentemente dal personale del CRS, dal *Dept of Earth & Environmental Science New Mexico Tech* e dall’*Università di Roma “La Sapienza”*. Per l’elaborazione dei dati si è utilizzato il software GAMIT/GLOBK sviluppato dal *Department of Earth Atmosphere and Planetary Sciences del Massachusetts Institute of Technology, USA*.

La prima misura di campagna ha consentito di calcolare in maniera precisa (ordine del millimetro) la posizione dei caposaldi nei mesi di giugno e luglio dell’anno 2006 (Figura 39); questi dati hanno costituito una base di partenza per le successive misure di campagna. L’obiettivo ultimo delle campagne di acquisizione dati è, infatti, quello di poter determinare con precisione la direzione degli spostamenti e le velocità di spostamento dei singoli punti al fine di ottenere una visione d’insieme dei movimenti crostali che caratterizzano una zona di elevata sismicità come quella dell’area di Tolmezzo (Area A). Gli spostamenti della crosta terrestre, congiunti con l’intensità dei movimenti, consentono di capire quali sono le zone della crosta terrestre maggiormente soggette a stress e che presentano maggiore potenziale energetico che viene liberato sotto forma di eventi sismici.

Per determinare la direzione degli spostamenti e le rispettive velocità è stata effettuata, nei mesi di settembre e ottobre 2008, una seconda campagna di misura sulla stessa rete di caposaldi. Le strumentazioni utilizzate e le modalità di acquisizione dati sono state le medesime adottate nel 2006:



Figura 37: ubicazione delle stazioni GPS nell'Area A.

■ Stazioni soggette a campagne periodiche. ■ Stazioni permanenti della Rete FRedNet.

- o strumentazione:
 - § n° 4 ricevitori doppia frequenza L1, L2 e doppia costellazione GPS+GLONASS, modello Topcon GB-1000;
 - § n°4 antenne geodetiche Topcon PGA1+GP;
 - § n°4 treppiedi in legno;
- o modalità di acquisizione:
 - § su ciascun punto sono state fatte due sessioni di acquisizione dati;
 - § ciascuna sessione è durata 8 ore;
 - § la pianificazione dell'intera campagna è stata preparata in maniera tale che le 2 acquisizioni di ciascun punto sono state eseguite in giorni immediatamente successivi.

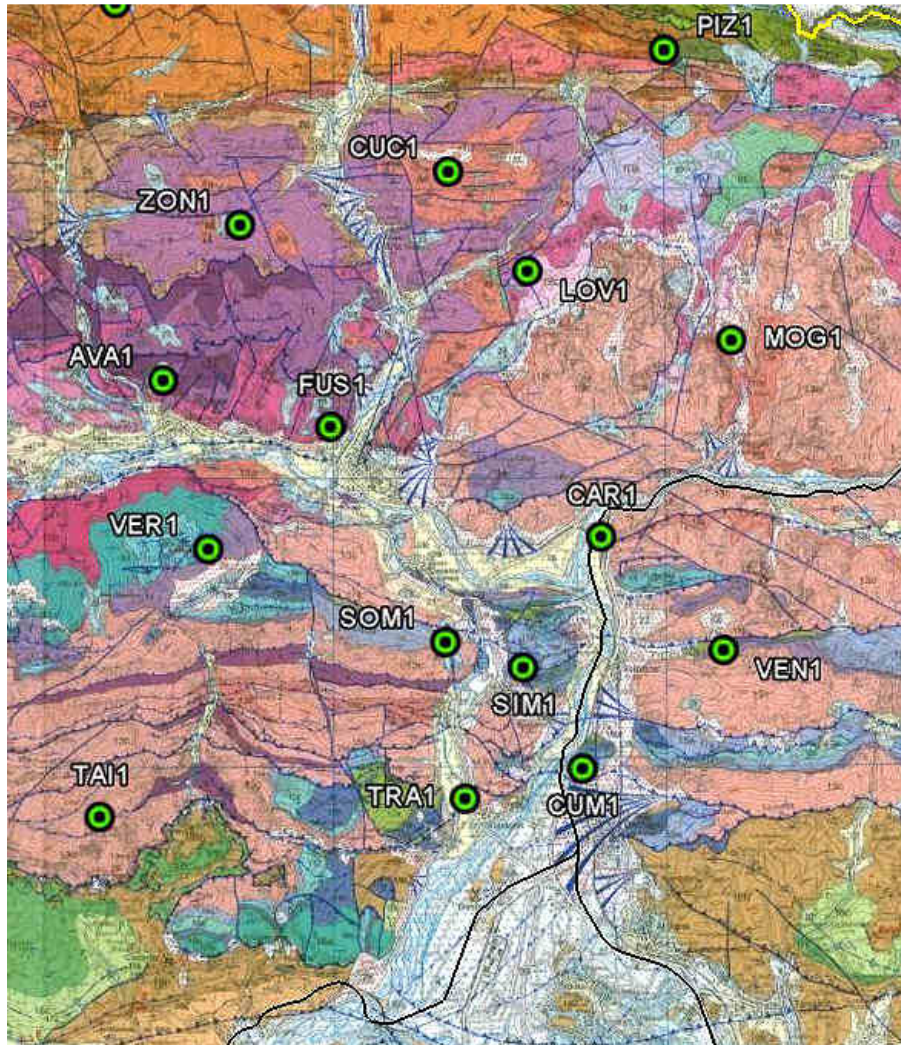


Figura 38: la zona di Tolmezzo si presenta geologicamente molto complessa. I 20 caposaldi GPS sono stati posti su un'area di grandezza 20x20 km.



Figura 39: fase di acquisizione dati GPS durante la campagna dell'anno 2006. La misura si riferisce al caposaldo situato nei pressi di Malga Pizzul (codice caposaldo PIZ1).

La Figura 40, la Figura 41 e la Figura 42 mostrano alcune fasi delle attività di misurazione. Una volta acquisiti i dati è stata fatta l'elaborazione degli stessi tramite il software GAMIT/GLOBK. Nell'elaborazione sono stati inclusi anche i dati acquisiti nella campagna 2006 al fine di ottenere delle direzioni e delle velocità di spostamento su un arco temporale di due anni. Il calcolo ha permesso inoltre, per ciascun caposaldo, di ottenere una prima stima delle velocità basata sull'interpolazione pesata delle 4 posizioni (2 acquisizioni campagna 2006 più 2 acquisizioni campagna 2008) per ciascun punto misurato (serie temporali, Figura 43).



Figura 40: controllo della messa in bolla dell'antenna GPS.



Figura 41: caposaldo SOM1 in località Somplago



Figura 42: controllo dell'allineamento del centro dell'antenna GPS con il caposaldo a terra.

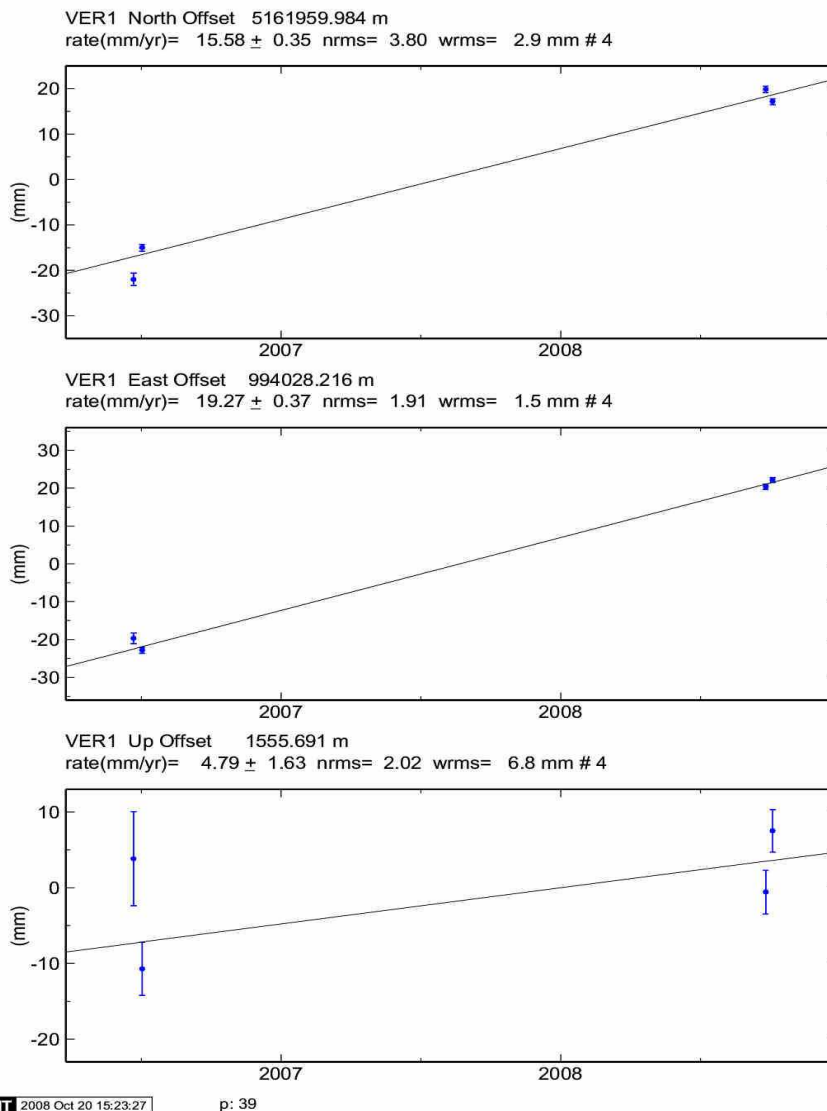


Figura 43: serie temporale calcolata con il software GAMIT/GLOBK per il sito VER1 (M.te Verzegnis). La serie temporale si riferisce alle coordinate Nord Est Up relative a 2 acquisizioni dell'anno 2006 e 2 acquisizioni dell'anno 2008.

Nel calcolo delle coordinate orizzontali si ottengono degli errori (wrms) piuttosto contenuti con valori accettabili rispetto allo spostamento totale dei punti. Per quanto riguarda la coordinata verticale, la stima degli errori è invece piuttosto alta rispetto allo spostamento effettivo. Per migliorare questa stima si è introdotto, nel software GAMIT/GLOBK, il modello del carico atmosferico. La metodologia utilizzata per questo tipo di elaborazione è descritta nel successivo capitolo 7. In Figura 44 e in Figura 45 è rappresentata la serie temporale delle coordinate verticali della stazione ACOM su un arco temporale di 2 anni rispettivamente prima e dopo l'introduzione del carico atmosferico all'interno dell'elaborazione.

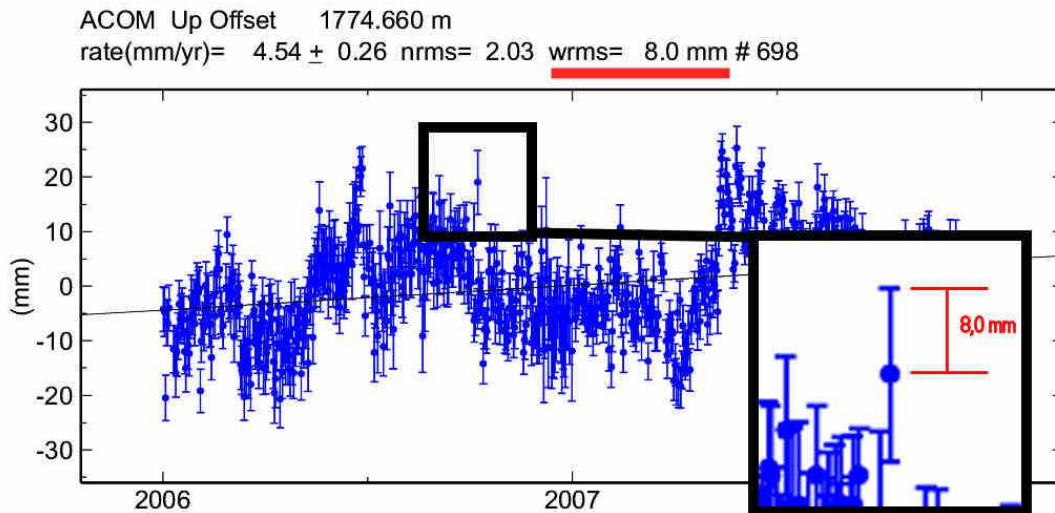


Figura 44: serie temporale coordinata UP della stazione ACOM calcolata senza il modello del carico atmosferico.

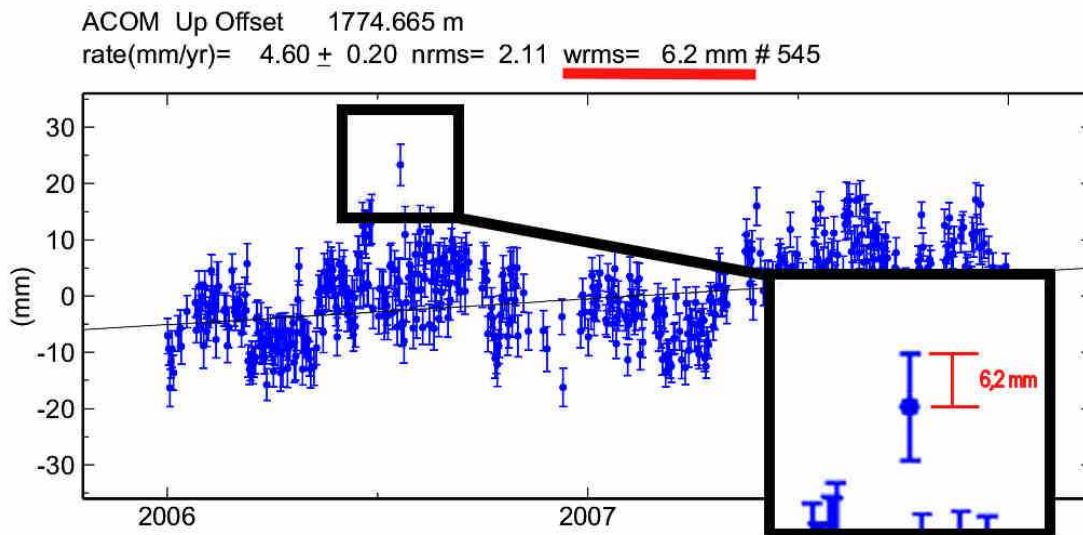


Figura 45: serie temporale coordinata UP della stazione ACOM calcolata introducendo il modello del carico atmosferico.

La seconda campagna di misura e le successive elaborazioni portano a delle considerazioni riguardanti l'utilizzo della tecnologia GPS applicata al monitoraggio degli spostamenti crostali in zone, come ad esempio l'area di Tolmezzo, dove i tassi di deformazione sono dell'ordine del millimetro annuo:

- le velocità stimate sui 20 caposaldi rispecchiano il quadro indicato dalle stazioni permanenti circostanti (FUSE, MPRA, ZOUF);
- le velocità di deformazione, nonostante la riduzione degli errori (wrms) dovuta all'introduzione del carico atmosferico, sono ancora troppo piccole per poter essere stimate con precisione soprattutto per quel che concerne la coordinata verticale. Per ottenere dei valori attendibili è necessaria un'altra campagna di acquisizione a non meno

di tre anni dalla seconda; in questo modo, lo spostamento totale, a partire del 2006, risulterà maggiore dell'errore sulla verticale;

- i dati acquisiti sono di estremo valore in quanto costituiscono una base importante in caso di un evento sismico considerevole. In tale eventualità, una campagna di acquisizione immediatamente successiva all'evento consentirebbe di calcolare gli spostamenti avvenuti a causa del fenomeno tellurico e quindi di stimare la quantità di energia liberata dal sisma.

6.2 Area B (Maniago-Ragogna-Sequals)

Attraverso un accordo stabilito tra alcuni dei partecipanti al progetto (UNITS, POLIMI, ICTP), si è deciso di provvedere all'installazione di 3 nuovi caposaldi nella zona Maniago-Ragogna-Sequals (Area B, Figura 46), che viene considerata come area di possibile lacuna sismica caratterizzata da elevato potenziale sismogenico. E' stato così identificato un transetto ideale orientato da sud-est verso nord-ovest sulla cui traccia sono stati installati i seguenti tre caposaldi (Figura 47 e Figura 48):

- Malnisio (Montereale Valcellina, PN, Figura 50);
- C.ra Pradut (Claut, PN, Figura 51);
- M.te Rite (Cibiana di Cadore, BL, Figura 52).

Per terminare il transetto verrà anche utilizzata la stazione GPS permanente della Rete FReDNet situata sul Monte Faloria (AFAL, visibile in Figura 47, Figura 48 e Figura 53).

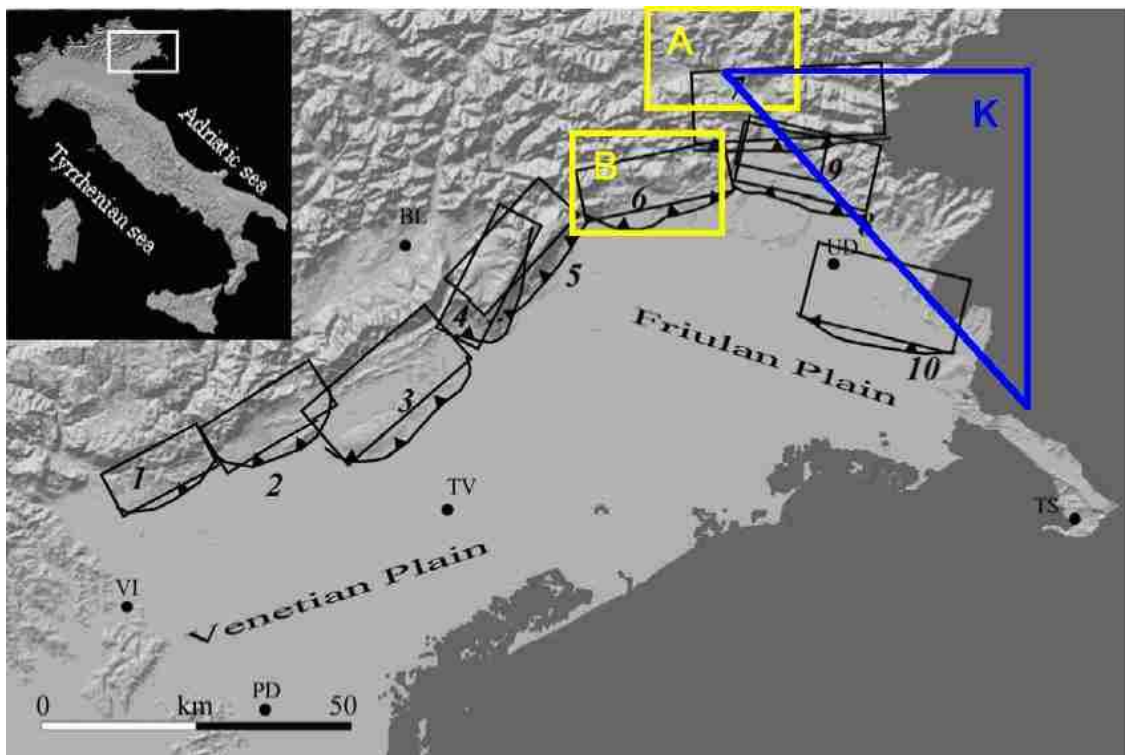


Figura 46: zone interessate dalle reti a carattere locale per campagne di misure periodiche. Si evidenziano l'area A (in giallo) del progetto GPS-RTK e l'area K (in blu) del progetto Alps-GPS Quake Net. Figura modificata da Galadini et al. (2005).



Figura 47: transetto costituito dai caposaldi della seconda zona d'interesse per la caratterizzazione dei processi tettonici regionali. Il transetto si chiude a Nord-Ovest con la stazione permanente AFAL.

Citiamo qui, tra i nuovi siti che sono stati creati anche il caposaldo di Val Resia (RESI, loc. Prato di Resia, UD visibile in Figura 48 e Figura 49), il cui scopo è quello di permettere il collegamento delle Aree A e B con l'Area K. La misurazione di quest'ultima area era stata avviata in passato nell'ambito del progetto europeo Alps GPS Quakenet (<http://www.alps-gps.units.it>). La funzione dei punti di collegamento tra aree diverse e le misurazioni effettuate in un'area complessiva più ampia saranno trattate nella sezione successiva.

Le monumentazioni di questi nuovi caposaldi sono state tutte effettuate seguendo una tecnica sviluppata dall'UR POLIMI-DIAR, i cui dettagli saranno forniti nel capitolo successivo.

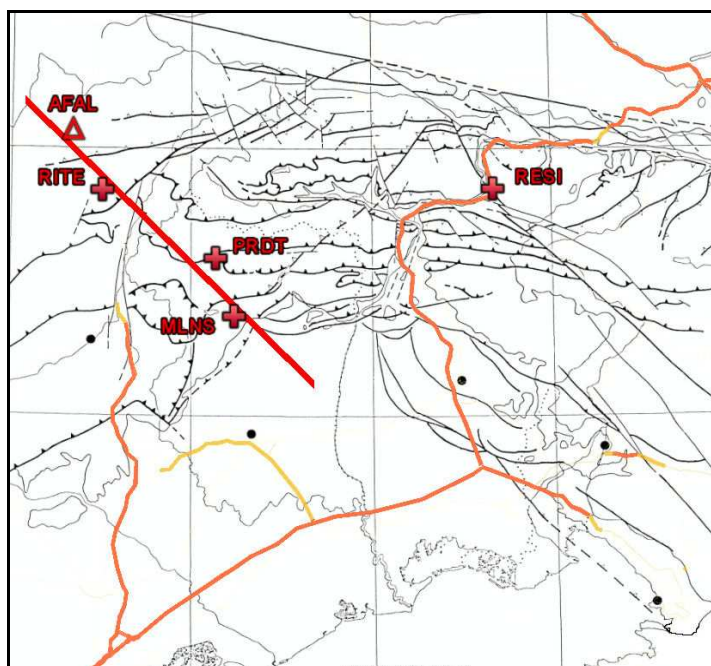


Figura 48: i nuovi caposaldi installati: RESI di collegamento fra la zona di Caporetto e la rete di Tolmezzo; RITE, PRDT, MLNS insieme ad AFAL a formare il segmento Maniago-Ragona-Sequals.



Figura 49: Val Resia (RESI).



Figura 50: Malnisio (MLNS).



Figura 51: C.ra Pradut (PRDT).



Figura 52: M.te Rite (RITE).



Figura 53: la stazione GPS permanente di Alpe Faloria (AFAL).

6.3 Area di collegamento tra Friuli e Slovenia

Nel luglio del 2009, si è condotta la quinta campagna GPS sui punti di una rete non permanente. Tale rete è costituita da 15 punti così come riportato in Figura 54. I punti della rete sono stati materializzati tutti su roccia e vengono stazionati utilizzando un sistema di centramento forzato che garantisce la stabilità dell'antenna ed errori sub-millimetrici nel centramento. In Figura 55

viene riportata un'immagine di un'antenna in stazione su uno dei punti della rete.

La campagna 2009, similmente alle altre già realizzate, è stata condotta su un arco di quattro giorni. Le misure sono state effettuate solo sui nove punti della parte italiana. In ogni giornata, i nove ricevitori hanno operato contemporaneamente per otto ore, con frequenza di campionamento di 15". I dati così raccolti serviranno a meglio dettagliare la complessa struttura del sistema di faglie presenti nell'area.

L'efficacia di queste misure, integrate con quelle delle stazioni della rete FReDNet, è stata di recente provata da una pubblicazione scientifica (Borghi et al., 2009) nella quale si è illustrato l'uso di questi dati nell'analisi del terremoto centrato nell'area del Monte Krn, in Slovenia.

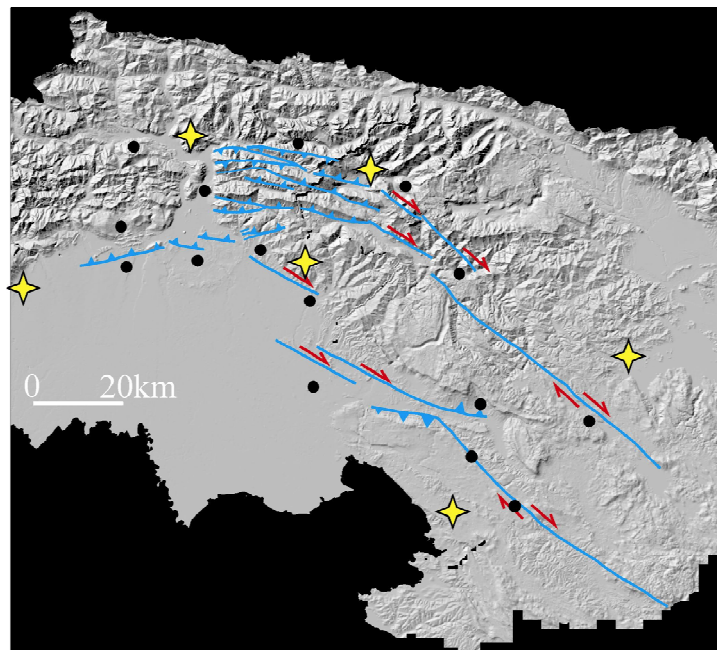


Figura 54: i punti della rete non permanente (in nero) e le stazioni della FReDNet (in giallo).



Figura 55: il pilastro per lo stazionamento dei punti della rete GPS non permanente.

7. Monumentazione di caposaldi GPS

7.1 Metodologia OSU (TECH2000) per caposaldi temporanei

Durante la prima fase del progetto lo staff del dipartimento CRS ha acquisito, dagli esperti dell'OSU, nuove tecniche e metodologie per l'installazione e l'utilizzo di strumentazione e monumenti per rilievi GPS.

In particolare sono state acquistati quattro nuovi monumenti per campagne GPS semipermanenti denominati TECH2000, utilizzati dal consorzio mondiale UNAVCO e sviluppato in collaborazione con i colleghi dell'OSU. Sono state realizzate delle sessioni di prova sull'utilizzo di tale sistema. In Figura 56, Figura 57, Figura 58 e in Figura 59 le varie fasi di montaggio del TECH2000.

Le monumentazioni di tipo *TECH2000* hanno dei vantaggi fondamentali rispetto all'installazione con treppiede topografico:

- il sistema è autocentrante, purché il sistema sia messo correttamente in bolla, e si trova ad altezza fissa da terra per qualsiasi installazione, questo riduce gli errori dell'operatore;



Figura 56: parti del kit del monumento *TECH2000*.



Figura 57: fase di montaggio del monumento. La messa in bolla è l'unica regolazione permessa all'operatore.



Figura 58: ancoraggio a terra delle catene di tiraggio.



Figura 59: *TECH2000* in opera, è stata fissata anche l'antenna GPS all'interno della cupola bianca.

- il kit è estremamente leggero e quindi facile da trasportare;
- il sistema di tiranti a catene rende il monumento decisamente più stabile del cavalletto classico, inoltre, è previsto l'utilizzo di tre tiranti di backup per una maggiore sicurezza dell'installazione;
- i *TECH2000* sono retro compatibili cioè possono essere utilizzati sui vecchi caposaldi misurati con il treppiede;
- si può effettuare l'installazione su qualsiasi tipo di terreno (roccia o sedimenti soffici).

7.2 Metodologia OSU (*GPS MAST*) per siti permanenti

Oltre alla monumentazione da campagna sono state acquisite tutte le informazioni e le tecniche per la realizzazione di nuovi monumenti, denominati *GPS MAST* (vedi Figura 62 e Figura 63) per siti GPS permanenti. I monumenti in questione sono fatti in alluminio, composti da poche parti e preparati completamente in officina (Figura 60). Il vantaggio rispetto ai monumenti classici in cemento è quello della semplicità e della rapida d'installazione. Il sistema richiede un preciso metodo di ancoraggio attuabile con un trapano a percussione e una guida particolare chiamata JIG riportata in Figura 61.

Sono stati installati, nell'ambito della consulenza OSU, nuovi caposaldi su roccia di più semplice installazione rispetto a quelli usati nelle campagne precedenti denominati *BEVIS PIN*. Di seguito una breve descrizione illustrata (vedi Figura 64) di un caposaldo *BEVIS PIN* fatta su roccia affiorante per l'installazione di una rete GPS per misurazioni periodiche di campagna. L'installazione proposta è stata effettuata nei pressi della C.ra Lodin Alta nei pressi del passo Cason Di Lanza (Paularo) il 13/07/2009 dagli operatori Mike Bevis, Bruna Della Vedova, David Zuliani e Paolo Fabris.



Figura 60: parti del monumento *GPS MAST*, il sistema comprende pochissime parti.



Figura 61: guida per i fori su roccia da realizzare per l'installazione del *GPS MAST*.



Figura 62: *GPS MAST* installato.



Figura 63: il *GPS MAST* può avere diverse altezze: in figura un modello da 2m, sulla base è presente l'alloggio per un ricevitore GPS.



1

Per prima cosa si procede alla ricerca di un punto che presenti le caratteristiche di:

- roccia affiorante;
- buona visibilità del cielo;
- facilità di accesso;

Per trovare la roccia dura è stato necessario scavare ed asportare uno strato di terra di circa 30 cm con l'ausilio del piccone e della pala.



2

Si è quindi proceduto ad eliminare dalla roccia compatta, piccole scaglie e frammenti rocciosi instabili fino a trovare un pezzo di roccia consistente. Per fare ciò ci si è aiutati con una mazza.



3

Con l'ausilio di uno scalpello si è creato un piccolo piano roccioso nella zona che successivamente verrà forata per l'inserimento del caposaldo. In presenza di roccia particolarmente dura è necessario avere un martello pneumatico.



4

Dopo aver ripulito per bene la roccia con una spazzola a setole dure si è passati alla foratura tramite un trapano a martello e ad una punta di diametro leggermente più grande (1 mm) rispetto al diametro del caposaldo stesso.

Durante questa operazione è necessario fare il foro in maniera tale che risulti il più verticale possibile.

Il foro deve essere di profondità tale che il caposaldo completamente inserito sporga al massimo di 1 cm dalla roccia.

Al termine è necessario ripulire il foro dalla polvere soffiando tramite una cannuccia lunga e stretta all'interno del foro stesso.



5

Dopo aver ripulito il foro, tramite una pistola, si riempie il foro stesso di una resina bicomponente (resina bicomponente a base di poliestere senza stirene) in grado di avere una presa elevata sulla roccia e sul caposaldo in maniera tale da renderli solidali uno all'altro. La resina inoltre ha la capacità di asciugarsi in pochi minuti.

La resina deve essere inserita fino a riempire quasi completamente il foro, successivamente il materiale eccedente verrà utilizzato per creare un cordolo attorno al caposaldo stesso.



6

Una volta riempito il foro si procede all'inserimento del caposaldo che viene spinto fino quasi a battuta. Se l'inserimento risulta difficoltoso è necessario ruotare sempre nello stesso senso il caposaldo al fine di arrivare a battuta e far fuoriuscire la resina eccedente.



7

Se la resina fuoriuscita non è abbastanza per la creazione del cordolo, ne viene aggiunta altra per proteggere il caposaldo.



8

Con l'ausilio di un pezzo di plastica si procede alla rifinitura con la creazione del cordolo necessario al fine di far scolare l'eventuale acqua dovuta alla pioggia.



9

Successivamente si pulisce bene la testa del caposaldo stando attenti che la resina non finisca sopra il minuscolo foro centrale sul quale verrà appoggiato il treppiede durante le misure di campagna. Dopo una decina di minuti il caposaldo risulta già solidale con la roccia.

Figura 64: sequenza di operazioni eseguite per l'installazione del *BEVIS PIN*.

7.3 Metodologia POLIMI-DIAR per caposaldi temporanei

Per l'installazione dei nuovi caposaldi di cui alla Sezione 6.2 ci si è avvalsi delle nuove tecniche già collaudate del DIAR del Politecnico di Milano che prevedono un caposaldo più grande rispetto a quelli precedentemente installati nell'Area A ed una diversa metodologia di installazione di seguito esplicitata. Qui di seguito illustreremo in dettagli di questa tecnica.

Al fine di rendere il dato geodetico soggetto ai soli movimenti geodinamici dell'area, il caposaldo viene materializzato su affioramenti rocciosi. Il luogo dell'installazione deve soddisfare i seguenti requisiti:

- presenza di un affioramento roccioso;
- elevata visibilità della volta celeste in particolar modo in direzione sud;
- assenza di impedimenti naturali (alberi, montagne) e artificiali (case, edifici, antenne) che pregiudicano la visibilità;
- facile raggiungibilità.

Il materiale utilizzato è il seguente:

- n° 1 caposaldo per monumentazioni su roccia tipo "POLIMI" (Figura 65);
- n°1-2 tubi di colla bicomponente a base poliestere senza stirene (Figura 67);
- sabbia, cemento e acqua. (Figura 66);



Figura 65: il caposaldo del DIAR.



Figura 66: sacco di sabbia e cemento.



Figura 67: colla bicomponente e pistola per l'iniezione.

Gli strumenti utilizzati durante l'installazione sono:

- n° 1 piccone;
- n° 1 badile;
- n° 1 martello;
- n° 1 scalpello;
- n° 1 spazzola a setole dure;
- n° 1 pistola per colla bicomponente;
- n° 2 beccucci a spirale per iniettare la colla bicomponente;
- n° 1 martello pneumatico;
- n° 1 punta per cemento;
- n° 1 svasatore per cemento;
- n° 1 generatore;

- n° 1 aspiratore per rimuovere polvere di roccia dal foro;
- n° 1 prolunga elettrica;
- n°1 secchio;
- n°1 cazzuola;
- n°1 tombino in cemento;
- n°1 livello a bolla.

La sequenza di immagini sotto riportata (Figura 68) illustra le modalità d'installazione (le immagini si riferiscono alla monumentazione del caposaldo RITE situato in cima al Monte Rite (Cibiana di Cadore):



Preparazione del sito

La prima fase prevede la preparazione del sito sul quale si è installato il caposaldo. In figura ci si è serviti di un martello pneumatico con scalpello al fine di ottenere una superficie quasi piana sulla quale lavorare in seguito. In altri siti in cui la roccia è coperta da uno strato di terra ed erba è necessario l'utilizzo del piccone e del badile. Infine per ripulire la superficie dalle impurità più grossolane si è reso necessario l'utilizzo di una spatola a setole dure.



Scavo dell'incavo testa caposaldo

Dopo aver reso la superficie liscia si effettua lo scavo nella roccia che consiste nel creare un incavo di grandezza tale da contenere la parte superiore del caposaldo su cui poi andrà appoggiato lo strumento di misura. Per effettuare questa operazione ci si è serviti di un martello pneumatico.



Foratura roccia

Successivamente, utilizzando un trapano, si è praticato il foro nella roccia prestando attenzione alla verticalità dello stesso. Il foro deve essere di lunghezza tale da permettere all'intero gambo del caposaldo di entrare nella roccia.



Controllo lunghezza foratura

Per controllare la correttezza delle operazioni di scavo e foratura il caposaldo viene inserito nel foro. La superficie superiore di esso deve risultare quasi coincidente con il piano roccioso.



Pulizia scavo

Per consentire alla colla bicomponente di consolidarsi al meglio si pulisce lo scavo dalla polvere di roccia aiutandosi con un tubo per eliminare anche le impurità dentro al foro.



Iniezione colla bicomponente

Dopo le operazioni di pulizia si inietta, con l'appropriata pistola, la colla bicomponente all'interno del cavo fino a riempire completamente il foro. Dopo, repentinamente, si inserisce il caposaldo fino a battuta controllando la sua verticalità tramite una livella. La colla a presa rapida si asciuga in pochi minuti.



Rifinitura

Il risultato in figura si ottiene una volta che la colla si è asciugata. La colla è stata utilizzata non solo per riempire il foro ma anche per occupare i volumi liberi nei fianchi in maniera tale da impedire all'acqua di penetrarvi.



Malta a base di cemento

Successivamente si passa alla fase di protezione della monumentazione utilizzando un tombino protettivo di cemento. Viene quindi eseguito un getto con sabbia e cemento.



Rifinitura caposaldo

Con l'aiuto di una cazzuola si proteggono ulteriormente i lati del caposaldo cercando di creare attorno ad esso una superficie piana.



Preparazione messa in posa tombino in cemento.

Per la posa del tombino viene posto il cemento ai lati del caposaldo.



Posa del tombino

La posa del tombino viene fatta utilizzando una livella per inclinare leggermente il tombino su un lato in maniera da permettere il deflusso dell'acqua piovana.



Rifinitura tombino

Anche all'esterno del tombino con il cemento vengono realizzati dei cordoli per fare meglio defluire l'acqua.



Installazione completa

Una volta chiuso il tombino con l'apposito coperchio, l'installazione risulta completata.

Figura 68: sequenza di operazioni eseguite per l'installazione del caposaldo per monumentazioni su roccia tipo "POLIMI".

8. Visite, seminari e convegni

8.1 Visite e seminari

Visita dell'Ing. D. Zuliani a Columbus (Ohio)

Durante il periodo 1-20 aprile 2009 l'Ing. D. Zuliani, dell'UR OGS, ha effettuato una visita presso l'Ohio State University (Columbus, Ohio, USA) dove sono state acquisite, grazie agli esperti dell'OSU, nuove tecniche e metodologie per l'installazione e l'utilizzo di strumentazione e monumenti per rilievi GPS. Maggiori dettagli sono riportati nel testo.

Visita del Prof. M. Bevis in FVG

Durante il mese di luglio 2009 il Prof. M. Bevis ha effettuato una visita di circa una settimana in Friuli. Nel corso della visita, il Prof. Bevis ha addestrato, in campagna, il personale di alcune UR sulla tecnica di monumentazione di siti temporanei sviluppata dall'OSU.

Il giorno 15 luglio 2009, al termine della sua visita, è stato organizzato un seminario in cui sono state tenute le seguenti presentazioni:

- M. Bevis, "The Friuli corner area: present deformation and GPS network design";
- D. Zuliani, "GNSS Technology: activity and applications at the OGS";
- B. Della Vedova, "Deformation in the Friuli area in the frame work of past and future earthquakes".

8.2 Convegno di metà progetto

Il giorno 7 ottobre 2009 si è tenuto, presso il Salone del Parlamento del Castello di Udine, il convegno di metà progetto dal titolo "*GPS-RTK: un servizio di posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia*".

Durante il convegno sono stati illustrati i risultati raggiunti alla fine della prima fase di progetto e sono state discusse le ricadute scientifiche e tecnologiche dell'intero programma di lavoro. L'interesse dei partecipanti si è focalizzato sull'integrazione delle reti e dei servizi di posizionamento regionali, nazionali ed europei e ha toccato le problematiche relative agli inquadramenti nei sistemi di riferimento, alle modalità di erogazione dei servizi e alle precisioni dei risultati ottenibili e alla certificazione del dato. Dal punto di vista scientifico sono stati esposti alcuni degli studi sulla deformazione crostale regionale ed è stato spiegato il loro legame con l'accumulo degli sforzi e l'attività sismica sul territorio. Si è infine evidenziata la ricaduta scientifica

sull'attività produttiva attraverso lo sviluppo dei software di ricerca che, attraverso modelli sempre più precisi, permettono di definire sempre meglio e con più rapidità le coordinate e la quota di un rilievo.

Dal convegno è emersa la necessità di una maggiore integrazione tra i gestori di reti GPS a tutti i livelli. I rappresentanti delle diverse realtà regionali hanno inoltre trovato il modo di potersi scambiare idee ed opinioni su come procedere nel futuro, prendendo spunto dal percorso che l'OGS e il SIT della Regione Friuli Venezia Giulia hanno intrapreso assieme. I partecipanti, e fra questi i professionisti del settore (geometri, personale del catasto, ingegneri), hanno confermato la necessità di corsi di formazione specifici per l'utilizzo dei servizi proposti; sarà cura dell'OGS organizzare eventi nella fase terminale del progetto. Va infine ricordato l'impegno nell'attività scientifica che, sfruttando le competenze sviluppate in ambito internazionale e nazionale, sta migliorando il livello di conoscenza delle modalità di accumulo degli sforzi e dell'evoluzione delle deformazioni in un'area, dal punto di vista geologico e tettonico, molto complessa e che è stata teatro di numerosi terremoti distruttivi.

I dettagli del convegno sono disponibili al sito web: <http://www2.ogs.trieste.it/gps-rtk/>
L'ALL. 2 mostra il volantino del convegno, che contiene il dettaglio del programma e degli interventi.

9. Presentazioni e pubblicazioni

Pubblicazioni

Bechtold, M., M. Battaglia, D. C. Tanner, and D. Zuliani (2009). Constraints on the active tectonics of the Friuli/NW Slovenia area from CGPS measurements and three-dimensional kinematic modeling, *J. Geophys. Res.*, 114, B03408, doi:10.1029/2008JB005638.

Bechtold, M., Zuliani, D. Fabris, P., Tanner, D. and M. Battaglia (in press). Global Positioning System constraints on plate kinematics in the Southern Alps at the Nubia-Eurasia boundary, Nova Publishers (invited paper), 2008. Versione elettronica in: https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=9383

Presentazioni

Cassola, T.; Battaglia, M.; Doglioni, C.; Zuliani, D.: FEM modelling of stress accumulation in the Friuli Venezia Giulia area, (talk) *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-00778, 2008 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-00778, EGU European Geosciences Union, General Assembly 2008, Vienna, Austria, 13 – 18 April 2008.

Zuliani D., Fabris P., Palmieri F. & Priolo E. (2009). FReDNet: un sistema per il monitoraggio delle deformazioni crostali e per il posizionamento di precisione in tempo reale in Friuli-V. G., (poster presentation). *Convegno annuale Gruppo Italiano di Geologia* (Udine, 25-28 Febbraio 2009).

Bevis M, The Friuli corner area: present deformation and GPS network design (2009). *Workshop on “The Friuli Corner Problem”*, Sala atti di ingegneria dell’Università degli Studi di Trieste, 15 luglio 2009.

Della Vedova B. (2009). Deformation in the Friuli area in the frame work of past and future earthquakes. *Workshop on “The Friuli Corner Problem”*, Sala atti di ingegneria dell’Università degli Studi di Trieste, 15 luglio 2009;

Zuliani D. (2009). GNSS Technology: activity and applications at the OGS (2009). *Workshop on “The Friuli Corner Problem”*, Sala atti di ingegneria dell’Università degli Studi di Trieste, 15 luglio 2009;

- Barzaghi R. (2009). Metodologie di utilizzo dei servizi RTK e il problema della quota (2009). Convegno "Progetto GPS-RTK: un servizio di posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia". Salone del Parlamento del Castello di Udine, 7 ottobre 2009.
- Priolo E. (2009). Inquadramento generale del progetto GPS-RTK e sue finalità (2009). Convegno "Progetto GPS-RTK: un servizio di posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia". Salone del Parlamento del Castello di Udine, 7 ottobre 2009.
- Zuliani D.: Aspetti tecnici del servizio RTK dell'OGS (2009). Convegno "Progetto GPS-RTK: un servizio di posizionamento in tempo reale nel Friuli-Venezia Giulia". Salone del Parlamento del Castello di Udine, 7 ottobre 2009.
- Coccia M., E. Carminati, F. Rolandone, M. Battaglia, D. Zuliani and P. Fabris (2009). Elastoplastic Models of the Interaction between Active Fronts of the Southern Alps and Dinarides (NE Italy and NW Slovenia) (2009). European COMSOL Conference, Milano, October 14-16, 2009.