
La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati

Gino DARDANELLI
Vincenzo FRANCO
Mauro LO BRUTTO
DIRAP
Dipartimento di Rappresentazione
Università di Palermo
Viale delle Scienze
90133 Palermo
t 0917028731
f 0917028740
e gino.dardanelli@unipa.it
vifranco@unipa.it
lobrutto@unipa.it

Key words > GNSS, stazione permanente, NRTK, VRS, FKP

Riassunto > Le reti di stazioni permanenti GNSS (Global Navigational Satellite System) per il tempo reale (NRTK - Network Real Time Kinematic) rappresentano un argomento di grande interesse per la comunità scientifica per le potenziali ricadute sulle applicazioni tecnico scientifiche del posizionamento satellitare.

L'articolo descrive e affronta le problematiche riscontrate nel corso dell'attività di ricerca svolta dall'Unità Operativa di Palermo nell'ambito del progetto PRIN2005 dal titolo: "Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza".

La ricerca è stata finalizzata alla progettazione e realizzazione di una rete di stazioni permanenti GNSS NRTK nella Sicilia centro-occidentale, costituita da otto stazioni permanenti dislocate nelle province di Agrigento, Caltanissetta, Palermo e Trapani. L'attività svolta ha riguardato lo studio preliminare, la scelta dei siti, la materializzazione delle stazioni, il funzionamento delle strumentazioni hardware e software, la trasmissione dei dati, l'inquadramento geodetico e le prime applicazioni.

Abstract > In this paper are presented the methodological criteria for the institution of a GNSS (*Global Navigational Satellite System*) real time NRTK (*Network Real Time Kinematic*) permanent stations sub-network in Sicily, with particular regard to the last year activity. Eight stations has been already set up and is currently working, under supervision of research group of University of Palermo in Agrigento, Caltanissetta, Palermo and Trapani provinces. The network will be able to supply effective positioning services over the whole territory of part of Sicily, with different operating levels in post-processing and real-time (VRS, FKP, Code). After an overview on the situation of the permanent networks in Italy, in the paper are summarized the activity involved the preliminary study, the choice of sites, the materialization of the GNSS stations, equipment hardware and software, data transmission, the geodetic framework and the first applications.

Articolo ricevuto in redazione nel mese di Marzo 2008. Articolo accettato nel mese di Novembre 2008

1. Introduzione

Negli ultimi anni sono state svolte, sia a livello nazionale che internazionale, numerose ricerche finalizzate al posizionamento in tempo reale di precisione. I risultati ottenuti consistono in metodologie di calcolo, sia in post-elaborazione che in tempo reale, che consentono di ottenere la necessaria precisione e affidabilità utilizzando non una singola stazione base ma una intera rete di stazioni permanenti. Avendo a disposizione una rete di stazioni permanenti è possibile infatti effettuare una stima più precisa dei ritardi ionosferico e troposferico e degli errori d'orbita; l'interpolazione di tali valori in tutta l'area servita a partire dai valori misurati dalle singole stazioni consente di incrementare l'interdistanza fino a tre volte riducendo in modo significativo il numero delle stazioni permanenti necessarie con notevoli vantaggi sia dal punto di vista economico sia per la gestione delle stazioni permanenti stesse.

In questo lavoro, dopo una breve panoramica dello stato attuale delle reti GNSS per il posizionamento in tempo reale (NRTK) in Italia, viene trattata la situazione nella regione Sicilia con particolare riferimento alla nuova rete GNSS NRTK progettata e realizzata dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo, nell'ambito delle attività del PRIN2005 dal titolo: "Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza". La rete rappresenta la prima infrastruttura realizzata in Sicilia da un Ente Pubblico finalizzata principalmente all'attività di ricerca ma utilizzabile anche dall'utenza tecnica per applicazioni cartografiche e topografiche.

2. Stato attuale delle Reti GNSS per il posizionamento in tempo reale in Italia

La situazione delle reti GNSS per il posizionamento in tempo reale in Italia è in continua evoluzione per la presenza di diverse iniziative, sia pubbliche che private che hanno consentito negli ultimi anni la realizzazione di numerose infrastrutture. La maggior parte di queste iniziative sono principalmente limitate al territorio di singole regioni e vengono condotte in maniera autonoma a causa della mancanza di un organismo a livello nazionale preposto al coordinamento e alla gestione dei problemi geodetici-cartografici. Le operazioni di progettazione, impianto e gestione sono infatti prevalentemente effettuate da Enti Pubblici come le Università, le Regioni, le Province o i Collegi dei Geometri.

Le principali esperienze di reti GNSS per il tempo reale condotte e gestite da Enti Pubblici, attualmente operative in Italia, sono sinteticamente riportate di seguito. La rassegna non è esaustiva di tutte le reti di stazioni permanenti effettivamente presenti sul territorio italiano; infatti, non comprende le reti finalizzate per studi geodinamici e sismici o eventuali reti private.

In Lombardia è presente la rete denominata GPSLombardia gestita in maniera congiunta dalla Regione, dall'Istituto di Ricerca per l'Ecologia e l'Economia Applicate alle aree alpine (IREALP) e dal Politecnico di Milano. La rete è costituita da 18 stazioni permanenti ed è stata realizzata per creare il primo

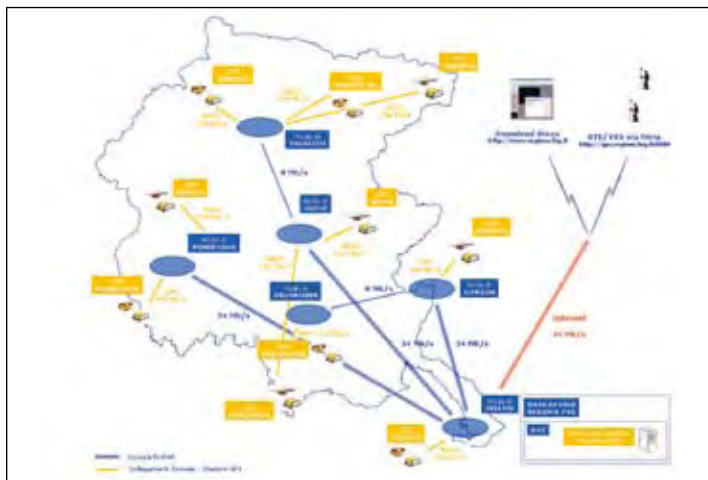
servizio regionale di posizionamento GNSS su tutto il territorio lombardo. La rete fornisce i dati in tempo reale, che garantiscono un'elevata accuratezza in modalità NRTK, e i dati in formato RINEX per il posizionamento in post-elaborazione. La rete GPSLombardia fornisce il servizio a pagamento e garantisce alti standard qualitativi con costi comunque molto contenuti; viene utilizzata soprattutto per lavori catastali e topo-cartografici (Figura 1).

Figura 1 - Rete GPSLombardia

Figura 2 - Rete regionale del Friuli Venezia-Giulia



Nel nord-est è attiva la rete regionale del Friuli Venezia-Giulia, composta da dieci stazioni permanenti; le singole stazioni GPS sono ubicate presso sedi periferiche degli uffici regionali, al fine di garantire l'accessibilità diretta alla strumentazione, la continuità di alimentazione elettrica e il collegamento alla Rete Unitaria Pubblica Amministrazione Regionale (RUPAR) (Figura 2). La rete del Friuli Venezia-Giulia fornisce dati in modalità gratuita per il posizionamento in tempo reale attraverso la tecnica VRS e dati in formato RINEX per la post-elaborazione.



In Trentino Alto-Adige è presente una rete GNSS gestita dal Servizio Catasto della Provincia Autonoma di Trento denominata Trentino Positioning Service (TPOS). La rete è costituita da 8 stazioni permanenti e rappresenta una infrastruttura fondamentale per il posizionamento di precisione sul territorio provinciale (Figura 3); fornisce servizi per il tempo reale e la post-elaborazione in forma gratuita a professionisti e tecnici degli enti pubblici.

Figura 3 - Rete TPOS della Provincia di Trento



In Veneto è operativa una rete regionale, nata dalla collaborazione tra la Regione e l'Università di Padova, costituita da 11 stazioni permanenti che coprono il 60% del territorio regionale. È previsto che in breve tempo possano essere inserite altre stazioni permanenti per arrivare a coprire il 90% del territorio e che la nuova rete possa interagire con le reti regionali limitrofe (Lombardia, Trentino, Friuli Venezia-Giulia).

Sempre in ambito regionale, bisogna ricordare la rete messa a punto nella Regione Umbria, gestita dalla Regione e dall'Università di Perugia, costituita da 9 stazioni permanenti (Figura 4). Il servizio di posizionamento fornisce dati in formato RINEX per la post-elaborazione, attraverso file orari archiviati a differenti frequenze di campionamento (1", 5", 30"). Dal 2006 è attivo il servizio per il posizionamento in tempo reale in modalità DGPS e NRTK (VRS e FKP), con trasmissione dei dati mediante telefonia GSM o internet (protocollo Ntrip).

Tra le regioni del sud, la Puglia ha recentemente presentato la propria rete regionale composta da 12 stazioni permanenti (Figura 6) e realizzata nell'ambito del progetto per il Sistema Informativo Territoriale Regionale (SIT). La rete è finalizzata alla definizione di un'infrastruttura geodetica e alla fornitura di un servizio di correzione differenziale dei dati. Il progetto per la realizzazione della rete ha visto tra gli altri la collaborazione anche dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

Figura 6 - Rete della Regione Puglia



I Collegi dei Geometri dell'Emilia-Romagna, hanno costituito una società denominata So.G.E.R (Società dei Geometri dell'Emilia Romagna) con il compito di realizzare e gestire una rete di 15 stazioni permanenti per servire l'intera regione; la rete è finalizzata soprattutto ad applicazioni per l'aggiornamento catastale e per le procedure nell'integrazione geografica di dati catastali con altri dati di interesse comunale.

Analogamente il Comitato Regionale Toscano Geometri, in collaborazione con la Regione Toscana, e le società LammaCres e Ibimet, hanno messo a punto una rete di 22 stazioni permanenti sul territorio regionale. La rete è finalizzata alla realizzazione di un servizio gratuito di posizionamento regionale, sia in tempo reale sia in post-elaborazione. Tale rete è già interconnessa con alcune stazioni dell'Emilia Romagna.

In ambito universitario si ritrovano le reti nel Piemonte e nel Lazio, gestite rispettivamente dal Politecnico di Torino e dall'Università di Roma "La Sapienza".

La rete Multi Reference Station (MRS) gestita dal Politecnico di Torino è costituita da 15 stazioni permanenti ubicate in Piemonte e Lombardia; le stazioni appartengono a diversi Enti come l'Università, scuole superiori e pubbliche amministrazioni, dalle quali sono state realizzate e mantenute. Il Politecnico di Torino si occupa della gestione della rete. I dati delle stazioni sono disponibili attraverso un sito FTP con frequenza di campionamento differente (1", 5", 30").

Con caratteristiche simili alla rete del Politecnico di Torino è stata sviluppata la REte Sperimentale regionale di stazioni GNSS per il Posizionamento e la NAVigazione (RESNAP-GPS), attiva in una parte del Lazio e gestita dall'Università di Roma "La Sapienza". La rete è costituita da 10 stazioni GNSS, con dati reperibili gratuitamente via FTP; a questa rete partecipano anche alcuni Collegi dei Geometri del Lazio e dell'Umbria, oltre ad alcuni consorzi di bonifica.

Sono ancora in fase di progettazione e di impianto la rete regionale della Campania (13 stazioni permanenti) e la rete regionale della Calabria (17 stazioni permanenti).

2. La Rete GNSS NRTK dell'Università di Palermo

La realizzazione di una rete di stazioni permanenti GNSS per il tempo reale comporta un notevole impegno sotto molti aspetti, da quelli progettuali e organizzativi (studi di fattibilità, sopralluoghi) a quelli economici (strumentazioni, personale). Come già evidenziato, queste strutture, nella maggior parte dei casi, sono realizzate principalmente da Enti Pubblici, che hanno le risorse finanziarie per sostenere tali iniziative, in collaborazione con Enti di ricerca che forniscono un supporto scientifico.

L'attività di ricerca, intrapresa nel 2006 dall'Unità di Palermo con il progetto PRIN2005 dal titolo: "Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza", ha posto il problema della totale assenza in Sicilia di infrastrutture realizzate da soggetti pubblici per il posizionamento GPS in tempo reale e finalizzate ad erogare servizi per una utenza tecnica. Le uniche stazioni permanenti esistenti, nella zona della Sicilia orientale, erano, infatti, finalizzate esclusivamente al monitoraggio geodetico del territorio (stazioni permanenti della rete RING dell'INGV e della rete GPS SIORNET dell'APAT). Per tali motivi, il Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo si è impegnato nella realizzazione della prima rete GNSS NRTK gestita da un ente pubblico finalizzata prioritariamente a svolgere sperimentazioni nel campo del posizionamento GPS in tempo reale con soluzioni di rete ma utilizzabile anche per applicazioni topografiche e cartografiche in generale.

È evidente che il primo grosso problema che è stato

affrontato era relativo alle risorse finanziarie disponibili per la realizzazione del progetto. Gli unici fondi a disposizione erano legati al finanziamento del progetto PRIN2005 che era totalmente insufficiente a coprire tutte le spese. Sono state quindi cercate delle soluzioni che consentissero di portare avanti la ricerca senza eccessivi impegni finanziari. In particolare, è stata stipulata una convenzione con una ditta del settore, la Geotop s.r.l. di Ancona, che ha previsto la concessione in comodato d'uso gratuito della strumentazione GPS (antenne e ricevitori), delle attrezzature per l'impianto delle stazioni permanenti (pali metallici) e dei software per la gestione della rete. Inoltre, sono stati individuati e contattati gli Enti Pubblici presenti sul territorio potenzialmente interessati alle applicazioni del progetto di ricerca per ospitare e mantenere le singole stazioni permanenti.

2.1 Studio preliminare e progetto della rete

La realizzazione di una rete GNSS di stazioni permanenti è, in generale, condizionata dalle finalità della rete stessa e dall'estensione del territorio da coprire. Generalmente, con la definizione di "rete di stazioni permanenti di servizio" viene indicata una rete che si pone come obiettivo primario quello di erogare dati, prodotti derivati e supporto all'utenza per il rilevamento con metodo GNSS (Manzino, 2002). In maniera sintetica, una rete di stazioni permanenti di servizio si compone di un insieme di stazioni permanenti, di una rete di trasmissione dati fra le stazioni permanenti e il centro di controllo e, appunto, di un centro di controllo. Sono di solito presenti anche infrastrutture dedicate alla distribuzione dei dati e dei servizi agli utenti (Benciolini et al., 2007). Il progetto della Rete GNSS NRTK dell'Università di Palermo nasce con la finalità di creare una rete di stazioni permanenti di servizio per la Sicilia centro-occidentale.

Per quanto riguarda la configurazione geometrica della rete si è considerata la forma del territorio da coprire, pressappoco triangolare, e si è ipotizzato di posizionare delle stazioni in prossimità del perimetro con particolare riferimento ai capoluoghi di provincia. Considerate però le elevate interdistanze tra queste stazioni (maggiori di 100 km) è stato necessario individuare almeno una stazione nell'entroter-

ra, pressappoco in posizione baricentrica rispetto al disegno di progetto della rete.

Sul numero minimo e sull'interdistanza tra le stazioni permanenti non esistono delle specifiche condivise dalla comunità scientifica ma soltanto delle indicazioni che derivano dalle sperimentazioni condotte con differenti software di gestione di reti NRTK. Alcune prove sperimentali sono state condotte in reti NRTK con interdistanze anche di 200 km tra le singole stazioni; è evidente che tale situazione rappresenta una condizione limite e risulta invece consigliabile mantenersi entro valori compresi tra 50 e 80 km, per evitare che nel caso venga a mancare una stazione intermedia l'interdistanza non arrivi fino ai valori massimi (Wubbena et al., 2001).

Nel progetto della rete si è tenuto conto dell'esistenza di una stazione permanente GNSS del Dipartimento di Rappresentazione presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo e di una seconda stazione presso l'Istituto di Istruzione Superiore "Stenio" di Termini Imerese (PA). A queste sono state aggiunte le stazioni permanenti di Trapani, Agrigento e Caltanissetta ubicate rispettivamente presso l'Istituto di Istruzione Superiore "G.B. Amico" di Trapani, il Consorzio Universitario della Provincia di Agrigento (CUPA) e l'Ufficio del Genio Civile di Caltanissetta e, in posizioni intermedie le stazioni permanenti di Partinico (PA) presso l'Istituto Tecnico Statale Commerciale per Geometri "A. Dalla Chiesa", di Campobello di Mazara (TP), presso l'Istituto di Istruzione Superiore "V. Accardi", di Prizzi (PA), presso l'Istituto di Istruzione Superiore "Mauro Picone" di Lercara Friddi sede distaccata di Prizzi. Attualmente si è raggiunta una configurazione che comprende otto stazioni permanenti, con interdistanze comprese tra 22 e 80 chilometri (Figura 7).

Figura 7 - Ubicazioni delle stazioni permanenti della rete dell'Università di Palermo



È evidente che lo schema geometrico e l'interdistanza sono risultate in parte condizionate dalle posizioni delle Scuole e degli Enti che hanno dato la disponibilità a partecipare alla ricerca; attualmente è in programma di inserire una nona stazione permanente per coprire la zona più nord-orientale dell'area di interesse.

Presso il Dipartimento di Rappresentazione è risultato agevole realizzare il centro di controllo, che assolve il compito di gestione, elaborazione e fornitura delle correzioni e dei dati.

2.2 Materializzazioni e impianto delle stazioni

Presso le strutture coinvolte nella ricerca sono stati individuati i siti ritenuti più idonei all'installazione delle stazioni permanenti. In particolare sono stati considerati alcuni requisiti minimi come l'assenza di ostacoli che limitano la "visibilità" dei satelliti per angoli di cut-off superiori a 5°, l'assenza di superfici riflettenti che possono provocare effetti di multipath e la lontananza da ripetitori televisivi o per telefonia mobile che potrebbero produrre fenomeni di interferenze elettromagnetiche sul segnale. Inoltre, si è cercato di investigare e di analizzare preventivamente la qualità del segnale con alcune acquisizioni prolungate per sessioni di alcune ore.

Per quanto riguarda la materializzazione si è scelto di ricorrere a realizzazioni relativamente semplici e senza particolari accorgimenti tecnici. La materializzazione delle stazioni permanenti potrebbe, infatti, essere effettuata secondo diverse modalità in base soprattutto alle finalità della stazione stessa. Differenti istituzioni in ambito GNSS hanno predisposto degli standard per la materializzazione, e tra questi si ricordano l'International GNSS Service (IGS), l'UNAVCO e il National Geodetic Survey (NGS). Le principali materializzazioni possono essere fatte direttamente sul terreno, prevalentemente per un impiego geodinamico, o su edifici per le applicazioni tecniche; la "monumentazione" può essere eseguita utilizzando pilastri in cemento armato, pilastri in acciaio, telai tridimensionali, aste in invar o in acciaio (Sanna, 2001). Recentemente è stata condotta una ricerca sulla frequenza delle tipologie di monumentazione adottate nell'ambito delle realizzazioni delle reti di stazioni permanenti presenti sul territorio nazionale, ed è risultato che la maggior parte sono realizzate su edifici, circa il 57%, mentre il restante 43% è costituito da stazioni monumentale direttamente sul terreno prevalentemente tramite pilastro in cemento armato (De Agostino et alii, 2007).

Per la materializzazione delle stazioni permanenti della Rete GNSS NRTK dell'Università di Palermo sono stati impiegati appositi pilastri in acciaio inox fissati secondo due differenti modalità, in funzione del diverso stato dei luoghi, in corrispondenza dei terrazzi di copertura delle parti più alte degli edifici. In alcuni casi i pilastri sono stati collocati su una idonea base in cemento armato (Università di Palermo, Istituto Superiore di Trapani, Istituto Superiore di Prizzi), negli altri casi, sono

stati ancorati a parete per mezzo di staffe e flangie in acciaio (Istituto Superiore di Termini Imerese, Istituto Tecnico di Partinico, Istituto Superiore di Campobello di Mazara, Polo Universitario di Agrigento, Ufficio del Genio Civile di Caltanissetta) (Figura 8). Entrambe le modalità garantiscono solidità delle strutture nel tempo e resistenza alle vibrazioni (Benciolini et al., 2007).

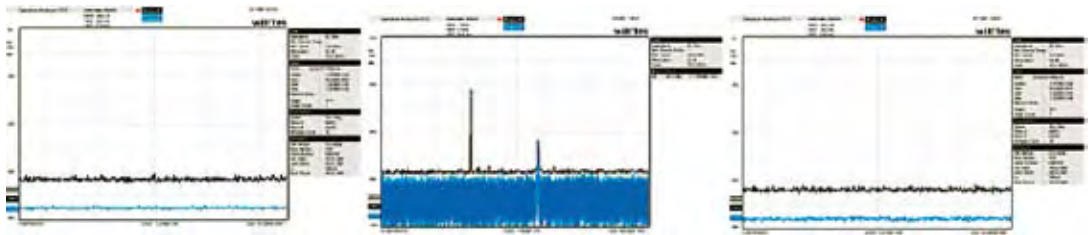
Figura 8 - Installazioni delle singole SP



Nel corso della sperimentazione si è riscontrato un problema per la stazione permanente di Palermo, relativamente ad un'interferenza elettromagnetica nel campo di acquisizione delle frequenze del GPS. Prima dell'installazione della stazione permanente, era stato condotto da ARPA Sicilia un controllo sulle frequenze comprese tra 1 e 40 GHz, all'interno dell'intervallo in cui sono comprese le frequenze GPS, con un sistema di monitoraggio distribuito di campo elettromagnetico ambientale PMM 8055S per un periodo di tre settimane. Questo studio era stato previsto poiché si temevano eventuali interferenze sull'acquisizioni GPS per la vicinanza di ripetitori GSM sui tetti di due edifici limitrofi (distanti circa 1 km). I risultati dell'analisi garantivano l'assenza di eventuali interferenze sul segnale GPS. Durante le prime

fasi di funzionamento della rete si è però riscontrato un forte disturbo sulla portante L2. Per tale motivo è stato ripetuto il controllo sulle frequenze che, questa volta, evidenziava la presenza di un segnale emesso da un stazione emittente non identificata sulle frequenze prossime alla portante L2. Tale situazione è stata riscontrata per un periodo di tempo limitato, circa cinque mesi, considerato che un ulteriore controllo effettuato recentemente non evidenziava la presenza dell'interferenza (Figura 9). Questa situazione dimostra come anche effettuando uno studio preliminare sul sito non è possibile prevedere eventuali interferenze in tempi successivi e per periodi limitati. Ulteriori analisi consentiranno di valutare una effettiva ciclicità del disturbo ed eventualmente di prevedere gli opportuni accorgimenti per schermare l'antenna.

Figura 9 - Andamento della potenza del segnale in funzione dell'impedenza sul sito di Palermo: (a) prima dell'impianto della SP, (b) giugno 2007, (c) novembre 2007



2.3 Caratteristiche ricevitori ed antenne

Per quanto riguarda la strumentazione sono stati adottati, per tutte le stazioni permanenti, ricevitori GNSS Topcon modello NET-G3. Tali ricevitori, di ultima generazione, sono progettati per essere utilizzati appositamente come stazioni permanenti e sono caratterizzati dal fatto di ricevere i segnali provenienti dalle costellazioni GPS e GLONASS, oltre ad essere predisposti per ricevere le frequenze della costellazione europea Galileo. Come tutti i ricevitori moderni sono dotati di una porta ethernet per la gestione in remoto del ricevitore e dei dati tramite il protocollo TCP/IP; sono inoltre provvisti di schede di memorie che consentono la memorizzazione di due settimane di dati con frequenza di campionamento di 1 secondo.

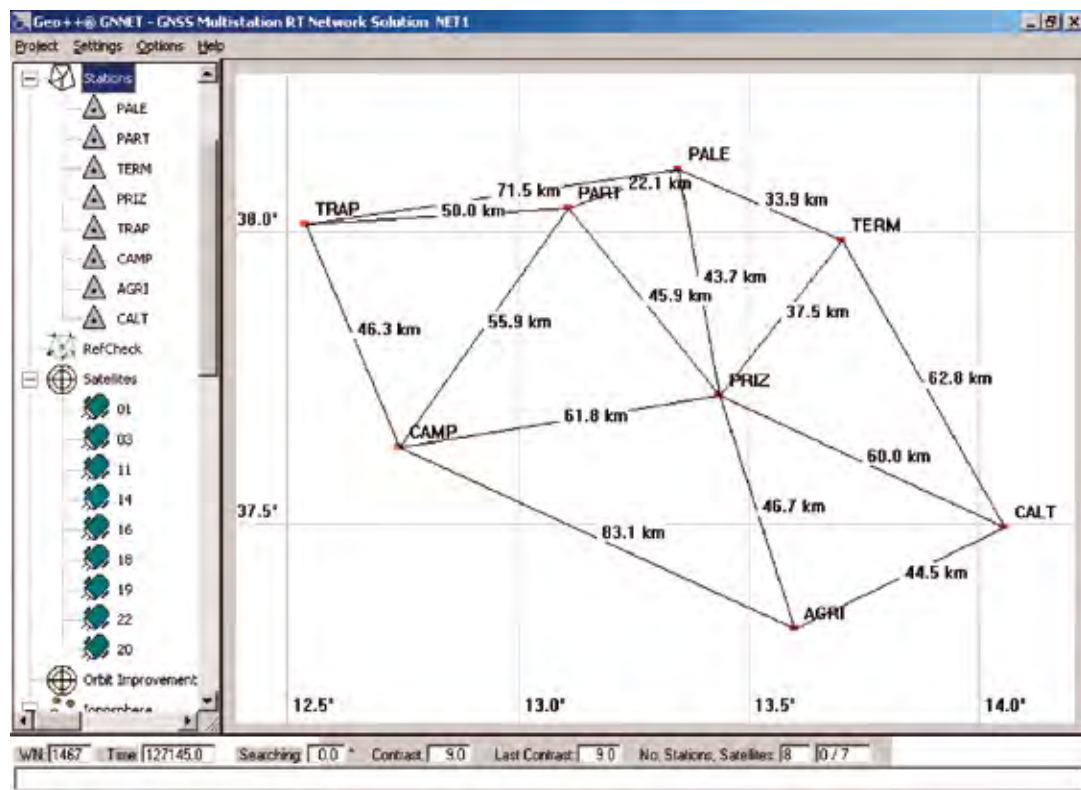
I ricevitori sono stati collocati all'interno di armadi rack in plastica con serrature di sicurezza e alloggiati presso aule o stanze che potessero garantire una accessibilità controllata; inoltre, sono stati collegati a batterie tampone di lunga durata in caso di mancanza di energia elettrica. Le antenne sono del tipo TOPCON G3-A1 dotate di plate-ground e radome di protezione sferico, ad eccezione dell'antenna della stazione permanente dell'Università di Palermo, che è una antenna choke-ring Topcon CR-3 e di quella di Termini Imerese, che disponeva già di un'antenna choke-ring GPS-GLONASS Leica AT504. Le antenne e i ricevitori sono stati collegati con cavi del tipo RG-58 con lunghezza inferiori a 30 metri, passanti all'interno di apposite tubazioni esterne in PVC.

2.4 Architettura della rete e trasmissione dei dati

La gestione della rete viene effettuata tramite un server collocato presso il laboratorio di Geomatica del Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo sul quale sono installati due applicativi GNSMART della Geo++ e Meridiana Sat Enterprise della Geotop di Ancona, che hanno lo scopo di monitorare in continuo il sistema, registrare e memorizzare i dati GPS, calcolare e inviare le correzioni differenziali attraverso un approccio areale (FKP) o uno virtuale (VRS), in modo da poter garantire all'utente finale una precisione centimetrica nel posizionamento in tempo reale.

Il modulo GNSMART (Wubbena et alii, 2001) rappresenta l'applicativo più importante per la gestione della rete; permette, infatti, di acquisire i messaggi in formato RTCM da tutte le stazioni permanenti, di monitorare le stazioni per quanto riguarda la qualità dei dati e l'integrità degli stessi, di stimare in tempo reale le ambiguità di fase e di compensare in continuo la rete di stazioni permanenti, oltre ad effettuare le necessarie stime per i disturbi e per gli errori delle osservazioni di fase e di codice (Figure 10 e 11).

Figura 10- Schema della rete con le interdistanze da GNSMART Geo++



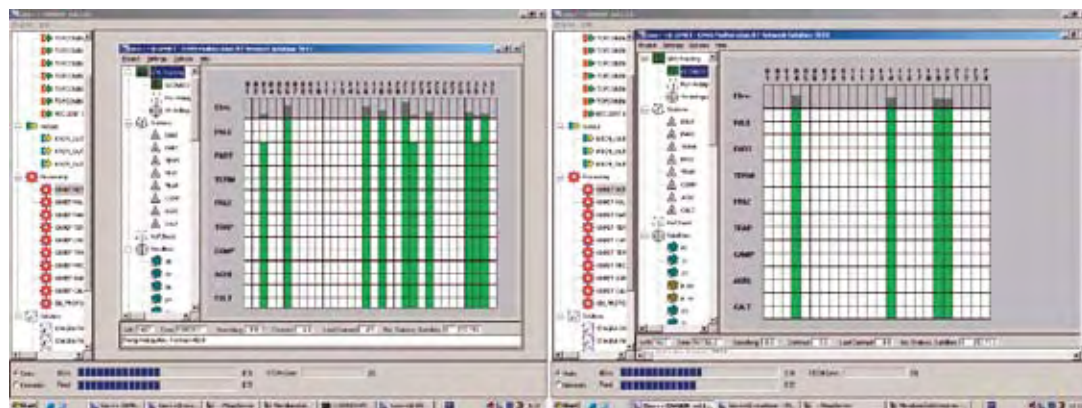


Figura 11- Satelliti utilizzati per il calcolo della soluzione di rete da GNSMART Geo++: (a) GPS (b) GLONASS

Il software Meridian Sat Enterprise, implementato con il modulo Megaserver, svolge invece i compiti di registrazione, trasferimento, archiviazione dei dati esclusivamente per le operazioni di posizionamento in post-elaborazione. Inoltre, consente di verificare il puntuale funzionamento per l'alimentazione elettrica e modificare i parametri di acquisizione del ricevitore (tempi di campionamento, angolo di cut-off, tipologia di sistema satellitare).

La struttura di trasmissione dei dati in una rete di stazioni permanenti NRTK è unidirezionale: dai ricevitori verso il centro di controllo. Quest'ultimo, quindi, si presenta in costante downstream dai ricevitori (Barbarella et al., 2004). Sia le osservazioni delle singole stazioni inviate al centro di controllo che le correzioni da trasmettere agli utenti devono però essere inviate in tempi generalmente limitati al secondo. I mezzi necessari per la trasmissione sono differenti in funzione del tipo di trasferimento (da singole stazioni a centro di controllo e da questo all'utenza) anche se, allo stato attuale, tutte le trasmissioni avvengono via internet.

Nella rete NRTK dell'Università di Palermo si è adottata una infrastruttura in cui tutte le singole stazioni collegate in remoto potessero inviare dati attraverso delle normali linee ADSL, appositamente installate e dedicate esclusivamente al progetto di ricerca. Si è fatta questa scelta perché la tecnologia ADSL permette l'utilizzo delle normali linee telefoniche per un accesso ad Internet ad elevata velocità e rappresenta un sistema ottimale (poco costoso e di facile realizzazione) se non si vuole realizzare un'infrastruttura telematica ex-novo. In particolare, le linee installate sono del tipo 20 Mb, realizzate dalla Telecom Italia (Alice Business) e configurate con un indirizzo pubblico IP (Internet Protocol) di tipo statico. Le uniche eccezioni a tale schema di collegamento si hanno per la stazione permanente di Palermo, collegata direttamente tramite rete ethernet, e per la stazione permanente di Agrigento che sfrutta la rete GARR (Gruppo di Armonizzazione delle Reti della Ricerca) tipica delle trasmissioni dati degli enti di ricerca.

Il convogliamento dei dati (routing), cioè il meccanismo di selezione del percorso dei dati nella rete informatica, avviene dalla singola stazione in remoto ai server del Centro Universitario di Calcolo (CUC) dell'Università di Palermo, che provvedono a correlarli all'indirizzo IP del server presente al centro di controllo attraverso una assegnazione unidirezionale.

L'impegno complessivo per raggiungere la completa operatività è risultato più problematico rispetto a quanto preventivato nella fase progettuale, soprattutto a causa dei ritardi nelle installazioni delle linee dedicate o di difficoltà dovute a imprevisti e non segnalati cambi nelle impostazioni per il collegamento. In tal senso sono abbastanza significative l'esperienza di Prizzi dove si è dovuto attendere sei mesi per l'installazione della linea ADSL o di Trapani, dove, senza nessun preavviso, l'ente gestore ha modificato l'indirizzo IP precedentemente fornito.

Per quanto riguarda la distribuzione dei dati per il posizionamento in tempo reale nel formato RTCM si utilizza la connessione internet fornita dal protocollo NTrip (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), sviluppato dall'EUREF allo scopo di promuovere e facilitare la diffusione dei dati GNSS via internet.

2.5 Inquadramento geodetico

Nella realizzazione di una rete di stazioni permanenti è di grande interesse scientifico la fase relativa all'inquadramento geodetico in quanto le reti di stazioni permanenti di servizio materializzano un Sistema di Riferimento (SR) e lo distribuiscono alla propria utenza; infatti ogni utente che utilizzi i dati e le coordinate distribuite dalla rete (in tempo reale o in post-elaborazione) implicitamente si posiziona nel sistema materializzato dalla rete stessa (Benciolini et al., 2007). Il problema dell'inquadramento geodetico è soprattutto legato alla presenza di diversi sistemi di riferimento globali e alle loro variazioni nel tempo. L'argomento è stato affrontato e trattato con esaustività dalla comunità scientifica nazionale, e, allo stato attuale, la scelta più ragionevole nell'inquadramento di una rete stazioni permanenti di servizio è quella di utilizzare il SR IGS e di stimare periodicamente i parametri per passare al sistema statico ETRF89-IGM95 (Benazzo et al., 2006; Benciolini et al., 2007).

Per quanto riguarda la determinazione delle coordinate della rete, si fa riferimento al sistema di riferimento IGS05 calcolato e mantenuto dall'IGS attraverso esclusivamente le misure di stazioni permanenti selezionate sulla base di criteri di qualità (prestazioni, "monumentazione", collocazione geografica) (Benazzo et al., 2006). Il sistema IGS05 è un sistema "dinamico" in quanto i valori delle coordinate variano nel tempo in funzione delle deformazioni della crosta terrestre e sono associate a un campo di velocità; la determinazione delle coordinate in questo sistema devono quindi essere riferite a un preciso istante temporale (Radicioni et al., 2006; Ray et al., 2004).

Per un primo calcolo delle coordinate nel sistema IGS05 della rete GNSS NRTK dell'Università di Palermo sono stati presi come riferimento i dati relativi al mese di ottobre 2007 e sono state considerate soltanto sei stazioni (Palermo, Termini Imerese, Prizzi, Campobello di Mazara, Trapani e Partinico), in quanto non si disponeva di dati sufficienti dalle stazioni di Agrigento e Caltanissetta perché installate successivamente. Il calcolo è stato eseguito dall'Unità di Ricerca dell'Università di Cagliari utilizzando il software scientifico Bernese versione 5.0, ed elaborando i dati mensili relativi alle settimane GPS dalla 1447 alla 1451. Per l'inquadramento sono state prese come riferimento le stazioni permanenti IGS di Noto, Cagliari, Matera e Lampedusa. Per queste stazioni si è stabilito una precisione a priori differente per la planimetria e per l'altimetria, rispettivamente di 2 mm e di 4 mm. I dati ottenuti dal calcolo sono stati considerati in accordo con quanto stabilito dalle prescrizioni standard dell'IGS, ottenendo i risultati settimanali partendo dalle soluzioni giornaliere, per le quali è possibile effettuare delle compensazioni di rete alle doppie differenze. In particolare, come parametri, sono stati considerati, per ogni singola stazione permanente e per ogni soluzione giornaliera, gli indicatori della qualità dei dati, il numero dei cycle slip, il numero finale di ambiguità iniziali, gli s.q.m. delle soluzioni float, la percentuale di ambiguità fissate e la qualità del fissaggio, nonché gli s.q.m. delle soluzioni finali. Le coordinate delle sei stazioni e i relativi sqm sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1 - Coordinate delle sei stazioni permanenti nel sistema IGS054 con i relativi sqm.

Stazioni	X (m)	Y (m)	Z (m)	SQM X (mm)	SQM Y (mm)	SQM Z (mm)
CAMP	4933160,640	1115797,477	3873025,139	0,7	0,2	0,4
PALE	4889534,164	1160203,926	3914738,891	6,5	2,8	3,9
PART	4898768,541	1140863,110	3909130,693	2,9	1,0	2,0
PRIZ	4914033,044	1174032,102	3881406,106	2,3	0,6	0,8
TRAP	4911562,977	1092566,697	3906586,062	0,9	0,3	0,6
TERM	4890360,965	1192337,292	3904013,365	1,4	0,2	0,4

Con la sigla ETRF89-IGM95 si intende fare riferimento a quel sistema di riferimento statico che viene utilizzato per le applicazioni topo-cartografiche in Italia che è in contrapposizione alla realtà dinamica rappresentata dal sistema IGS. Allo stato attuale il problema di determinare le coordinate della rete nel SR ETRS89-IGM95 è stato affrontato stimando localmente un set di parametri della trasformazione di similarità tra IGS05 e ETRS89-IGM95.

Per il calcolo dei parametri è stato necessario eseguire una campagna di misure su sette vertici IGM95 presenti all'interno della zona relativa alla rete di stazioni permanenti; anche in questo caso sono state considerate le sei stazioni di Palermo, Termini Imerese, Prizzi, Campobello di Mazara, Trapani e Partinico (Figura 11).

In assenza di disposizioni specifiche per il collegamento con la rete IGM95, si è preferito fare riferimento ad alcune indicazioni dell'Istituto Geografico Militare, relative alla progettazione della stessa rete. Partendo da queste prescrizioni, si è stabilito di collegare, con acquisizioni contemporanee, ogni stazione permanente a tre vertici della rete IGM95; per quanto riguarda i parametri per il rilievo statico si è fatto riferimento alla lunghezza della baseline e, considerato che queste sono comprese tra 10-40 km, si è assunta come durata delle sessioni circa quattro ore, con intervalli di campionamento di 15 secondi (Suraçe, 1993). L'elaborazione dei dati è stata condotta con il software commerciale Topcon Tools considerando il modello troposferico di Goad & Goadman, stimando il ritardo dello zenith troposferico per lunghezze di baseline maggiori di 50 km; le coordinate delle sei stazioni e i relativi sqm sono riportati nella tabella 2.

Questa prima procedura di inquadramento è da considerarsi preliminare ad una successiva determinazione effettuata con riferimento a tutte le otto stazioni che costituiscono la rete. Si prevede infatti di dotarsi del software scientifico Bernese versione 5.0 per il calcolo delle coordinate riferite al sistema IGS05 con soluzioni settimanali e di integrare il rilievo GPS sui vertici IGM95 per collegare anche le stazioni di Agrigento e Caltanissetta. I risultati di tale sperimentazione saranno oggetto di successivi lavori.

Figura 12 - Posizione delle SP e dei vertici IGM95 utilizzati per l'inquadramento in ETRF89-IGM95



Nell'ambito delle problematiche di inquadramento geodetico un discorso a parte merita invece la nuova Rete Dinamica Nazionale (RDN) dell'IGM. Il sistema ETRF89-IGM95, pur essendo il riferimento comunemente utilizzato in tutte le applicazioni tecniche, risulta inadeguato a supportare i servizi di posizionamento in tempo reale, sia per le sue caratteristiche di precisione intrinseca (limitata a qualche centimetro), sia per il disallineamento accumulato rispetto alla realtà fisica. Per dotare il Paese di un Sistema di Riferimento il linea con i tempi ed adeguato alle moderne tecnologie, l'IGM ha approntato nel 2006 il progetto per la definizione di un nuovo Sistema di riferimento "allineato" alla realizzazione più recente del sistema ETRF. Tale sistema sarà materializzato dalla Rete Dinamica Nazionale (RDN), interamente costituita da stazioni permanenti GPS. Per potere sfruttare le risorse esistenti (circa 300 stazioni permanenti GPS), ed evitare di dovere effettuare nuove installazioni, molto gravose sul piano tecnico-logistico, l'IGM ha stipulato accordi con i proprietari delle stazioni per ricevere via web le osservazioni giornaliere in formato RINEX con frequenze di campionamento di 30 secondi.

Tabella 2- Coordinate delle sei stazioni permanenti nel sistema ETRF89-IGM95 con i relativi sqm.

Stazioni	X (m)	Y (m)	Z (m)	SQM X (mm)	SQM Y (mm)	SQM Z (mm)
CAMP	4933161,054	1115797,238	3873024,868	4	3	13
PALE	4889534,473	1160203,648	3914738,514	2	2	14
PART	4898768,970	1140862,867	3909130,415	3	3	14
PRIZ	4914033,464	1174031,855	3881405,827	3	2	14
TRAP	4911563,389	1092566,455	3906585,782	4	3	16
TERM	4890361,337	1192337,028	3904013,032	3	3	10

La rete è costituita da 100 stazioni permanenti attualmente operative e omogeneamente distribuite sul territorio nazionale; le stazioni sono state scelte con interdistanze variabili tra i 100 e 150 chilometri con particolare riguardo alle località ubicate all'estremità del territorio. Sono state incluse nella rete 13 stazioni già calcolate in EUREF, indispensabili per l'allineamento dell'intero Sistema; fra queste la stazione dell'IGM ufficialmente riconosciuta dall'EUREF dal marzo 2007, le stazioni dell'ASI (Agenzia Spaziale Italiana), una parte di quelle dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), oltre ad alcune stazioni per ciascuna Regione. L'IGM, attraverso il Servizio Geodetico, si occuperà direttamente di calcolare periodicamente le coordinate delle stazioni permanenti. Tali calcoli permetteranno un adeguamento dei dati geodetici relativi alla rete statica IGM95 ma soprattutto consentiranno di disporre su tutto il territorio nazionale di un significativo numero di stazioni permanenti inquadrate coerentemente nello stesso sistema di riferimento. È probabile ipotizzare che tale condizione comporterà anche un adeguamento delle strategie di calcolo ed inquadramento di reti di stazioni permanenti locali. Relativamente alla rete NRTK dell'Università di Palermo si evidenzia che tre stazioni permanenti, rispettivamente quelle di Palermo, Campobello di Mazara e Termini Imerese, sono state inserite nella Rete Dinamica Nazionale dell'IGM.

2.6 Prodotti e servizi erogabili

La rete GNSS RTK dell'Università di Palermo è operativa ed è in grado di fornire, in forma sperimentale, servizi per il posizionamento GPS in tempo reale e per la post-elaborazione. I servizi di posizionamento in tempo reale, di gran lunga preferiti dagli utenti per la notevole riduzione di tempi e costi del rilievo e per il controllo direttamente in campagna del rilievo stesso, consistono principalmente nella fornitura della correzione di rete secondo differenti tipologie. È possibile creare connessioni con la rete per ricevere la correzione secondo differenti modalità: da singola stazione, scelta dall'utente o in base alla distanza (stazione permanente più vicina) in modalità DGPS e RTK, con correzione di rete in modalità VRS e FKP.

Per quanto riguarda la modalità VRS la trasmissione può avvenire sia con il protocollo RTCM 2.3 che con il

protocollo RTCM 3.0; per quanto attiene la modalità FKP la trasmissione viene effettuata secondo il protocollo RTCM 2.3. L'utente pertanto, una volta connesso con il centro di controllo, può scegliere via software come eseguire il rilievo considerato che la trasmissione del dato in tempo reale avviene tramite il sistema Ntrip che consente l'accesso simultaneo a più utenti.

Per quanto riguarda i servizi per il posizionamento in post-elaborazione, le acquisizioni delle singole stazioni permanenti sono attualmente registrati con una frequenza di campionamento di 1 secondo in file orari. Tali dati sono archiviati sul server e disponibili solo su richiesta. È stato anche predisposto un sito ftp pubblico dal quale scaricare i file giornalieri in formato RINEX campionati a 30 secondi delle singole stazioni (ftp.dirapftp.unipa.it). Per le informazioni generali sulla rete è stato inoltre predisposto un apposito sito web (www.dirap.unipa.it/lobrutto/index_retegps.html).

3. Conclusioni

L'esperienza condotta nell'ambito dell'attività di ricerca, indipendentemente dalla realizzazione della infrastruttura, ha permesso di creare i presupposti per il coinvolgimento nelle problematiche del posizionamento satellitare di enti di diversa natura (università, scuole, uffici pubblici). È stato, infatti, grazie alla collaborazione di questi enti che si è potuto concretizzare il progetto previsto per il PRIN2005.

L'attività di ricerca condotta per la realizzazione della rete di stazioni permanenti GNSS per il tempo reale ha permesso di installare otto stazioni permanenti in una porzione di territorio pari a poco meno del 50% dell'intero territorio siciliano (circa 12.000 Km²) relativa alle province di Palermo, Trapani, Caltanissetta ed Agrigento. La rete è stata progettata prevedendo un centro di controllo per l'elaborazione, la conservazione e la trasmissione dei dati, ubicato presso il laboratorio di Geomatica del Dipartimento di Rappresentazione dell'Università di Palermo. Inoltre, è stato affrontato il problema dell'inquadramento geodetico nei sistemi di riferimento IGS05 e ETRS89-IGM95. Restano come problemi ancora aperti la determinazione delle coordinate delle stazioni di Agrigento e Caltanissetta e soprattutto le verifiche e i controlli di qualità della distribuzione della correzione differenziale in modalità VRS o FKP. A tal proposito, in accordo con il protocollo spe-

rimentale messo a punto in precedenti esperienze universitarie, sono previste alcune campagne di misura su set di punti già materializzati e presenti all'interno dell'area coperta dalla rete. È auspicabile che questa infrastruttura possa costituire il primo passo per la realizzazione di un sistema di posizionamento in ambito regionale.

Ringraziamenti

Si ringraziano i dirigenti scolastici e i docenti delle scuole superiori, gli ingegneri Antonio Castiglione e Giuseppe Morreale dell'Ufficio del Genio Civile di Caltanissetta per aver aderito alla ricerca, il dott. Antonio Sansone Santamaria dell'ARPA Sicilia per le misure del campo elettromagnetico sul sito di Palermo, l'Unità di Ricerca dell'Università di Cagliari per l'elaborazione dei dati. Infine, un ringraziamento particolare all'ing. Giovanni Giordano del Laboratorio di Ateneo di Conoscenza, Gestione e Fruizione di Beni Culturali con Tecnologia Informatiche Avanzate dell'Università di Palermo per la collaborazione durante le fasi inquadramento delle stazioni permanenti. Questo lavoro è stato effettuato nell'ambito delle attività del progetto di ricerca PRIN2005 dal titolo: "Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza" (Coordinatore scientifico: prof. Maurizio Barbarella - Responsabile scientifico dell'Unità di Ricerca dell'Università di Palermo: prof. Vincenzo Franco).

Bibliografia

- BAIOCCHI V., PIETRANTONIO G., 2004. La rete di stazioni permanenti dell'Università di Roma "La Sapienza", Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, 14-17 dicembre 2004, Roma.
- BARBARELLA M., BEDIN A., GANDOLFI S., VITTUARI L., 2004. La trasmissione dei dati nelle reti di stazioni permanenti GNSS per il posizionamento real time. Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, 14-17 dicembre 2004, Roma.
- BARBARELLA M., DOMINICI D., PINTO L., 2005. Progetto di una rete di stazioni permanenti GPS nella regione Abruzzo. Atti del Convegno Nazionale SIFET "Integrazione tra le tecniche innovative del rilievo del territorio e dei beni culturali", 29-30 giugno e 1 luglio 2007, Palermo.
- BENAZZO E., BIAGI L., MANZINO A., PESENTI M., ROGGERO M., 2006. Reti GPS permanenti su scala regionale in Piemonte: inquadramento geodetico e strategie di analisi. Bollettino SIFET, n.1/2006, pp. 93-107.
- BENCIOLINI B., BIAGI L., CRESPI M., MANZINO A.M., ROGGERO M., 2006. Definizione delle strategie di progettazione di una rete permanente. In I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government, Geomatics Workbooks, volume 7, Biagi L. & Sansò F. editori, pp. 1-15.
- BENCIOLINI B., BIAGI L., CRESPI M., MANZINO A.M., ROGGERO M., SANSÒ F., 2006. Materializzazione dei sistemi di riferimento mediante i servizi di posizionamento satellitare. In I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government, Geomatics Workbooks, volume 7, Biagi L. & Sansò F. editori, pp. 17-31.
- BIAGI L., SANSÒ F., et alii, 2006. Il servizio di posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi in rete in tempo reale. Bollettino SIFET, n.3/2006, pp. 71-90.
- BIAGI L., CAPRA A., CASTAGNETTI C., CAROPPO T., MUSCHITIELLO M., BELLANOVA A., GALEANDRO A., 2007. Il servizio di posizionamento GNSS per la regione Puglia. Atti 11° Conferenza Nazionale ASITA, 6-9 novembre 2007, Torino.
- CHIARANDINI A., TOMMASONI L., GHIAINI M., 2005. La rete di stazioni permanenti GPS della regione Friuli Venezia Giulia. Atti 9° Conferenza Nazionale ASITA, 15-18 novembre 2005, Catania.
- CINA A., MANZINO A., PIRAS M., ROGGERO M., 2004. Rete test in Piemonte, impianto e risultati. Bollettino SIFET, n.2/2004, pp. 77-94.
- DARDANELLI G., FRANCO V., LO BRUTTO M., (2007). La rete sperimentale di stazioni permanenti GNSS della Sicilia occidentale per il posizionamento in tempo reale. Atti del Convegno Nazionale SIFET "Dal rilevamento fotogrammetrico ai database topografici", 27-29 Giugno 2007, Arezzo.
- DE AGOSTINO M., MANZINO A. M., ROGGERO M., 2007. Repertorio delle stazioni GNSS in Italia, controllo di qualità e monitoraggio dei dati. Atti del Convegno Nazionale SIFET "Dal rilevamento fotogrammetrico ai database topografici", 27-29 Giugno 2007, Arezzo.
- MANZINO A. M., 2002. Stazioni permanenti in Italia: scopi, usi e prospettive. Atti 6° Conferenza Nazionale ASITA, 5-8 novembre 2002, Perugia, Italia.
- RADICIONI F., STOPPINI A., FASTELLINI G., 2006. Reti di Stazioni Permanenti GNSS e servizi di posizionamento su scala regionale. Cartographica, Supplemento n. 56 della rivista MondoGIS, pp. 3-7.
- RAY J., DONG D., ALTAMINI Z., 2004. IGS Reference Frames: Status and Future Improvements. In: Position paper for "Other Reference Frame Issues" session at the IGS 2004 Workshop in Berne, Berne, Switzerland.
- SANNA G., 2001. Indagine sugli standards per le stazioni permanenti. Atti 5° Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 ottobre 2001, Rimini.
- WUBBENA G., BAGGE A., SCHMITZ M., 2001. Network-Based Techniques for RTK Applications. In: GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, Tokyo, Japan.
- ZATELLI P., VITTI A., RIVOLTI R., BUFFONI D., 2005. Realizzazione di una rete di stazioni permanenti GPS per il nuovo "Ufficio per il posizionamento" della Provincia Autonoma di Trento. Atti 9° Conferenza Nazionale ASITA, 15-18 novembre 2005, Catania.
- SURACE L., 1993. Il progetto IGM95. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, n. 3, 1995, Istituto Geografico Militare, Firenze.
- <http://www.gpslombardia.it/> (Regione Lombardia) - <http://www.gpsumbria.it/> (Regione Umbria)
- <http://www.regione.fvg.it/asp/gps/gps.htm> (Regione Friuli Venezia Giulia) - <http://www.regione.abruzzo.it/cartografiaNew/> (Regione Abruzzo)
- <http://www.catasto.provincia.tn.it/> (Provincia di Trento) - <http://w3.uniroma1.it/resnap-gps/index.asp> (Università di Roma La Sapienza)
- <http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0103.htm> (Politecnico di Torino) - <http://gps.sit.puglia.it/> (Regione Puglia)
- <http://www.igmi.org> (Istituto Geografico Militare)