

I servizi di posizionamento satellitare

Domenico Sguerso

Facoltà di Ingegneria - Università degli Studi di Genova - Via Montallegro 1 – 16145 Genova
e-mail: domenico.sguerso@unige.it

La cartografia in Italia: nuovi metodi e nuovi strumenti dal Settecento ad oggi
pp. 205-211, mostra e convegno omonimi tenuti al
Palazzo Ducale, Genova 18-24 giugno 2007
a cura di Andrea Cantile
- Istituto Geografico Militare, Firenze 2007 -

Introduzione

L'avvento dei sistemi di posizionamento con tecnologia satellitare ha rivoluzionato le metodologie di rilevamento e navigazione, offrendo strumenti utili ad una gestione sempre più esigente del territorio.

La possibilità di effettuare rilevamenti in modo agevole e veloce va infatti a vantaggio di una maggiore conoscenza del territorio, permettendo così analisi estese ma allo stesso tempo puntuali di un territorio in continua evoluzione.

Il posizionamento tramite metodologia di rilievo satellitare si è sviluppato a partire dal lancio del primo satellite artificiale della costellazione denominata NAVSTAR GPS, acronimo di *NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*, messo in orbita dagli Stati Uniti d'America il 22 febbraio 1978, ma è in questi ultimi anni che gli sviluppi effettuati dalla ricerca sia nel campo tecnologico che di analisi ed elaborazione dei dati stanno notevolmente agevolando le tecniche e metodologie di rilievo, portando il loro impiego nella vita quotidiana di un numero sempre maggiore di utenti.

La costellazione GPS ha raggiunto la sua completa operatività nel marzo del 1994 ed è attualmente (luglio 2007) costituita da 31 satelliti; a questa si è affiancata sin dal 1982 la costellazione russa GLONASS, ad oggi costituita da 17 satelliti, che dovrebbe giungere alla configurazione completa di 21 satelliti più 3 di scorta entro il 2010. L'integrazione di differenti costellazioni fornisce all'utente una maggiore disponibilità satellitare, particolarmente vantaggiosa in aree difficili quali territori orograficamente complessi o centri abitati.

Più recente è il lancio del primo satellite europeo (dicembre 2005), la cui costellazione GALILEO si auspica possa essere completamente operativa negli

anni 2010-2012, data per la quale sembra essere prevista anche la costellazione cinese COMPASS, il cui primo satellite non geostazionario, perciò utile ad un servizio globale come per le altre costellazioni, è stato messo in orbita nell'aprile del 2007.

L'insieme di tali metodologie di posizionamento, usualmente riassunto dall'acronimo GNSS (Global Navigation Satellite Systems), permette posizionamenti di varia natura, da quello di elevata precisione anche sub-centimetriche a quello navigazionale con precisioni metriche, a seconda del metodo di rilievo, del ricevitore e delle strategie di elaborazione in post-processing o in tempo reale. Quest'ultima tipologia di rilievo, solitamente detta Real Time Kinematik (RTK), coniuga precisione con semplicità operativa, attraverso la ricezione di correzioni differenziali oggi per lo più via GSM ottenute in appoggio a reti di Stazioni Permanenti (SP), da cui l'acronimo NRTK (Network RTK).

I servizi di posizionamento satellitare assumono sempre maggiore diffusione offrendo all'utente strumenti utili sia in fase di pianificazione, che di esecuzione ed elaborazione del rilievo stesso.

Metodologie di posizionamento satellitare GNSS

Le misure GNSS portano alla determinazione della distanza percorsa dal segnale emesso dal satellite e ricevuto dallo strumento ricevente dell'utente, sia esso fermo od in movimento.

I segnali utilizzati per le osservazioni sono sostanzialmente di due tipi: onde portanti di differenti frequenze appartenenti alla banda L, sulle quali si operano misure di sfasamento rispetto a segnali campione generati all'interno di ogni strumento ricevente; opportuni codici cosiddetti pseudocasuali che modulano le onde portanti, sui quali si operano invece misure di correlazione. Le stime sui codici sono più agevoli ma di minor precisione, mentre le misure di fase sulle portanti permettono di giungere a precisioni elevate.

E' opportuno sottolineare che la trasmissione del segnale è impedita da strutture sia naturali che artificiali, quali l'edificato e l'orografia, mentre può essere alterata dalla presenza di intensi campi magnetici o da superfici riflettenti il segnale stesso.

Un'elevata disponibilità satellitare nelle diverse costellazioni offre un'effettiva maggior visibilità satellitare, favorendo così rilevamenti anche in luoghi impervi e complessi, oltre che permettendo un maggior controllo delle misure effettuate.

Principale pregio della metodologia di posizionamento satellitare è la non necessaria intervisibilità tra i punti oggetto di rilievo, permettendo così di velocizzare notevolmente le campagne di misura.

Posizionamento single-point

Il posizionamento di un punto si basa essenzialmente sulle distanze tra antenna ricevente e satelliti osservati, le cui posizioni sono note attraverso le posizioni dei satelliti, dette effemeridi. La determinazione delle effemeridi dei satelliti (sia quelle valutate a priori e fornite all'utente con il segnale trasmesso dai satelliti, che quelle stimate a posteriori e rese pubbliche attraverso internet) si basa essenzialmente su osservazioni effettuate con continuità da ricevitori dislocati sull'intero globo in postazioni permanenti, dette appunto Stazioni Permanenti.

Visto che le osservazioni effettuate (siano esse di fase o di codice) dipendono dalla scala temporale secondo la quale i segnali vengono trasmessi dai satelliti, alle coordinate tridimensionali incognite del ricevitore si aggiunge la necessità di determinare il cosiddetto difetto di sincronizzazione tra gli orologi dei satelliti e quello del ricevitore; per giungere istantaneamente alla posizione sarà necessario avere un numero di misure almeno pari al numero di incognite, da cui la necessità di osservare almeno quattro satelliti in contemporanea.

Per ricondurre le misure effettuate alla distanza geometrica satellite-ricevitore, occorre non trascurare gli effetti sulla propagazione del segnale indotti dall'atmosfera, solitamente schematizzata nelle due componenti con differente comportamento, la ionosfera e la troposfera.

Il posizionamento single-point risente di differenti effetti che portano a determinare la posizione del punto con precisione metriche – decametriche; le precisioni, tipicamente inferiori in altimetria, sono soggette a variazioni anche significative in funzione delle condizioni esterne, specie in presenza di elevata copertura boschiva.

Posizionamento in relativo

Per ottenere una maggiore precisione rispetto al rilevamento cosiddetto in assoluto, o stand alone, il rilievo viene effettuato generalmente in relativo, effettuando cioè le misure con più apparati riceventi operanti in contemporanea. Questo modo di procedere richiede un'opportuna fase di elaborazione (procedura di differenziazione) da effettuarsi a posteriori della campagna di misure, da cui il termine post-processing o post-processamento; tale procedura permette di elidere o ridurre fortemente effetti comuni alle osservazioni trattate, per determinare posizioni relative tra i punti oggetto di rilievo. Il vettore congiungente due punti rilevati in relativo viene detto base o baseline; note che siano le coordinate di un estremo, attraverso le componenti della base ottenute dal rilevamento, si può così giungere alle coordinate dell'altro estremo del vettore.

Le precisioni ottenibili sono ovviamente funzione dei ricevitori, ma anche della lunghezza della baseline; per misure di fase le precisioni ottenibili sono centimetriche o sub-centimetriche, sub-metriche per le misure di codice.

Posizionamento in tempo reale

Il posizionamento in tempo reale sfrutta la posizione relativa del ricevitore-utente, detto rover, rispetto ad un ricevitore cui riferirsi, detto master; la contemporaneità delle osservazioni porta quest'ultimo a poter stimare i principali effetti sul segnale che, per zone di raggio dell'ordine dei 15 - 20 km, possono essere considerati rappresentativi degli stessi effetti agenti sul segnale ricevuto dall'utente. La ricezione in tempo reale di tali correzioni, dette correzioni differenziali, permette all'utente di ottenere ottime precisioni sub-metriche se con ricevitori per misure di codice, centimetriche o sub-decimetriche se con strumentazione per misure di fase. La trasmissione generalmente avviene tramite radio/modem, modem GSM o GPRS.

Sebbene questa metodologia di rilievo RTK possa essere effettuata con una coppia di ricevitori abilitati a tale uso, sono sorte negli anni molteplici iniziative che hanno indotto Istituti Tecnici, Università, amministrazioni territoriali ed aziende private a dotarsi di Stazioni Permanenti per fornire correzioni differenziali in tempo reale come servizio.

Reti di Stazioni Permanenti per il posizionamento in tempo reale

La distribuzione sul territorio di diverse Stazioni Permanenti permette di modellare effetti spazialmente correlati e di valutare così delle correzioni differenziali dedicate per il singolo utente. Le Stazioni Permanenti infatti acquisiscono ed inviano in tempo reale le proprie osservazioni al centro di raccolta, elaborazione ed analisi il quale, attraverso la stima delle correzioni di ciascuna stazione, valuta i parametri di un modello che bene interpreti gli effetti spazialmente correlati sull'intera area interessata, quali ad esempio quelli atmosferici; il modello verrà quindi interpolato per la posizione del generico utente, ottenendo pertanto in tempo reale delle correzioni differenziali a lui dedicate.

La distanza tra le SP può essere dell'ordine della centinaia di chilometri a seconda della scala e delle aree, mentre le reti su territori regionali hanno solitamente una interdistanza inferiore, dell'ordine dei 50 km; per una maggiore ridondanza e quindi per ottenere un maggior controllo anche in presenza di orografia complessa, sono usuali inter-distanze tra le SP inferiori.

Applicazioni dei Servizi di Posizionamento

I possibili utilizzi delle reti di Stazioni Permanenti interessano un ampio spettro di discipline scientifiche, oltre che applicazioni per la gestione del territorio.

Una breve panoramica delle possibili applicazioni che un Servizio di Posizionamento può offrire, è riportata in funzione dei differenti livelli di precisione richiesta:

a) applicazioni di elevata precisione (centimetrica o sub-centimetrica) per la realizzazione e il mantenimento del sistema di riferimento, il monitoraggio geodinamico per il controllo delle deformazioni crostali come importante contributo alla conoscenza del rischio sismico oltre che per il monitoraggio dei fenomeni franosi.

Particolare attenzione è richiesta anche dalle applicazioni per la meteorologia, per le quali le osservazioni GNSS forniscono un utile contributo atto ad integrare a media scala i rilevamenti provenienti dai radar meteorologici, particolarmente

efficaci per le previsioni meteorologiche a breve termine di precipitazione rilevanti a scala locale.

b) Applicazioni di precisione (sub-decimetrica) per il posizionamento in tempo reale quali: rilevamento tecnico per scopi cartografici, catastali, per la salvaguardia idrogeologica, per il tracciamento di strade, reti tecnologiche e così via.

c) Applicazioni di precisione metrica o sub-metrica, in particolare per scopi navigazionali quali il posizionamento di mezzi in movimento (terrestri, marini, aerei), nelle molteplici applicazioni per la gestione delle emergenze (centralino unico 118, vigili del fuoco, protezione civile, ecc.)

I Servizi Regionali di Posizionamento devono essere visti come un servizio offerto al territorio nelle sue molteplici attività istituzionali, di supporto alle molteplici categorie che oggi sempre più si appoggiano e necessitano di un posizionamento tecnico, tra i quali: organi cartografici, amministrazioni territoriali nei diversi settori del rilievo del territorio, della protezione civile (prevenzione e gestione del rischio e delle emergenze), della pianificazione sia urbana che territoriale con particolare attenzione ai trasporti, al turismo, ed ai servizi catastali, dell'ambiente e dell'energia, amministrazioni territoriali quali Autorità di Bacino e Comunità Montane, ordini professionali oltre che aziende pubbliche e private nel campo della gestione dei trasporti (flotte terrestri, aeree e marine).

In sintesi, il Servizio di Posizionamento deve fornire agli utenti locali gli strumenti necessari per rendere le tecniche di rilevamento satellitari maggiormente economiche e semplici, fornendo assistenza competente all'utente, oltre che studiando e proponendo nuove applicazioni dedicate alle esigenze territoriali.

Si riportano alcuni esempi di applicazioni per differenti livelli di precisione.

Applicazioni scientifiche di elevata precisione

La precisione delle misure GPS è influenzata da differenti effetti agenti sul segnale osservato; uno di questi è la rifrazione troposferica. Lo studio della variabilità spazio/temporale di tale effetto, se da un lato consente di migliorare la precisione del posizionamento, dall'altro offre importanti informazioni per la previsione di

eventi meteorici rilevanti. Dalle osservazioni GPS è possibile infatti stimare il contenuto d'acqua precipitabile PWV (Precipitable Water Vapor), definito come quantità d'acqua che si otterrebbe condensando il vapore acqueo contenuto in un'immaginaria colonna d'aria con superficie di base unitaria che si estende dalla stazione GPS fino al limite della troposfera. Tale grandezza rappresenta pertanto il limite superiore del quantitativo di vapore acqueo che potenzialmente potrebbe precipitare.

Molteplici sono gli studi presenti in letteratura che per lo più analizzano serie storiche dei valori di PWV, eventualmente correlate con informazioni al suolo dell'umidità relativa per valutare il possibile verificarsi delle condizioni di pioggia; tali approcci tengono generalmente conto del contenuto di vapore acqueo complessivamente presente in atmosfera. Ad una prima indagine conoscitiva dei dati meteorologici presenti sull'intero territorio ligure, in PICCARDO D., SGUERSO D. (2007) è stata analizzata la possibilità di considerare separatamente i singoli strati atmosferici interessati da saturazione, per valutare il quantitativo di vapore acqueo coinvolto alle differenti quote ed ottenere così una stima del vapore acqueo effettivamente precipitabile.

Campo di indagine per l'applicazione oggetto di studio è stata pertanto la città di Genova nel trimestre settembre – novembre 1999, periodo per il quale si ha avuto la disponibilità dei dati provenienti da radiosondaggi effettuati nell'ambito del progetto Mesoscale Alpine Programme (MAP) in differenti momenti particolarmente significativi, ossia precedenti, contemporanei e successivi ad eventi meteorici di particolare intensità. A questi è stato possibile associare le osservazioni GPS della stazione permanente situata presso l'Istituto Idrografico della Marina, facente parte della rete GPS nazionale gestita dall'Agenzia Spaziale Italiana, oltre ai dati meteorologici al suolo rilevati dall'Osservatorio Meteorologico del DIPTERIS, sito in Via Balbi e pertanto non lontano dalla stazione permanente GPS.

I risultati ottenuti sono stato validati con osservazioni effettuate tramite radiosondaggi, ottenendo buoni risultati, con un comportamento tanto migliore quanto maggiori sono le intensità di pioggia. L'evento significativo del 25

settembre 1999, ad esempio, è stato previsto con un anticipo di 5 ore, stimando un'altezza d'acqua al suolo di 37 mm contro i 31 mm osservati.

Le analisi sono state effettuate a partire da misure strettamente locali; sarà perciò estremamente interessante valutare le potenzialità che tale metodo potrà avere una volta applicato a reti di Stazioni Permanenti GPS dislocate sull'intero territorio regionale, tali da permettere stime dei gradienti orizzontali oltre che dei profili verticali.

Applicazioni tecniche di precisione

Nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale PRIN 2004 sulle tematiche dei servizi di posizionamento satellitari per l'e-Government, coordinato dal prof. F. Sansò, diversi gruppi di ricerca di diverse università italiane sono stati impegnati in estese campagne di posizionamento in tempo reale, svolte in appoggio alla rete di Stazioni Permanenti della Lombardia.

Su oltre 100 vertici di raffittimento della rete IGM95 posti anche a grande distanza dalla stazione permanente più vicina o in area montuosa, sono state effettuate campagne di misura NRTK in differenti condizioni satellitari.

Gli esiti da un punto di vista della precisione sono stati molto soddisfacenti; su più di quattrocento risultati ottenuti, solo tre hanno presentato errori grossolani, dell'ordine di due decimetri. I restanti risultati sono caratterizzati da dispersioni pari a: 2 cm in planimetria e 4.5 cm in altimetria nel confronto con le coordinate monografate, con tempi di rilievo che nel 90% dei casi sono risultati inferiori ai tre minuti dall'accensione strumentale (BIAGI L., SANSÒ F. et al., 2006).

Applicazioni navigazionali sperimentali

Come noto la scelta della tecnica di rilievo più opportuna dipende principalmente dallo scopo e dall'importanza del rilievo, direttamente connesse alle precisioni richieste, dalla disponibilità economica in termini di strumentazione, ma anche dal tempo e dal personale disponibile e con quale preparazione tecnica.

Fondamentale parametro nella scelta della tecnica di rilevamento GNSS o tradizionale sono le caratteristiche dei siti in termini di visibilità satellitare, a seconda che siano rispettivamente aree cosiddette aperte o invece aree chiuse,

quali gallerie, interni di strutture, centri densamente urbanizzati o aree fortemente boschive.

Conoscere la disponibilità satellitare prima di effettuare la campagna di misure è molto importante per ottenere buoni risultati o per velocizzare il rilievo, ma risulta fortemente dipendente dall'esistenza sul luogo di ostruzioni che impediscano la visuale tra satellite e ricevitore.

Esistono molti software per la pianificazione della campagna di rilievo che permettono la valutazione della costellazione satellitare, detta *planning*, in funzione della finestra oraria e del luogo oggetto di rilievo; affinché gli esiti siano rappresentativi della realtà, necessitano però dell'inserimento da parte dell'utente delle possibili ostruzioni al segnale.

Da ciò discende l'esigenza di effettuare una pianificazione realistica della campagna di misura tenendo conto in automatico delle ostruzioni indotte dalle superfici circostanti, quali l'orografia o l'edificato, i cui ingombri devono essere noti attraverso un modello tridimensionale (Modello Digitale delle Superfici DSM); a tale riguardo è stato realizzato un codice di calcolo sperimentale che permette di creare mappe di visibilità satellitare sull'intera area di interesse, calcolando in modo automatico le ostruzioni presenti sul territorio (FRUET G., SGUERSON D., 2000).

La procedura è stata applicata a titolo di esempio ad un comune rappresentativo del territorio ligure, per il quale si sono ottenute mappe di semplice interpretazione, atte cioè ad indicare la possibilità o meno di effettuare rilievi GPS nella finestra temporale scelta. In figura 1 è riportata la mappa relativa ad una finestra oraria di 6 ore rappresentativa della giornata considerata (febbraio 2007); le zone rosse, che individuano i punti sui quali è impossibile effettuare rilievi GPS sono risultate inferiori al 30% dell'intero territorio comunale.

Si tenga conto che le valutazioni effettuate sono a favore di sicurezza, in quanto il modulo valuta per ciascuna areola elementare (pixel) la situazione peggiore verificatasi nell'arco temporale scelto, nel caso in questione pari ad un'ora; per questo motivo aree di interesse inizialmente risultate impossibili al rilievo potrebbero invece disporre di una buona situazione satellitare per una buona parte della finestra oraria scelta.

Risulta pertanto possibile effettuare rilevamenti con tecnica satellitare anche in territori complessi come quello ligure, tenendo conto del fatto che le zone rosse variano da momento a momento e di ora in ora. Tali informazioni possono essere particolarmente utili sia per pianificare campagne di rilievo, che per verificare l'effettiva copertura satellitare anche nel campo della navigazione GNSS.

E' questo un servizio che, da un punto di vista della fruibilità delle informazioni, potrebbe applicarsi sull'intero territorio regionale quale strumento di utilità da consultarsi tramite Web-GIS.

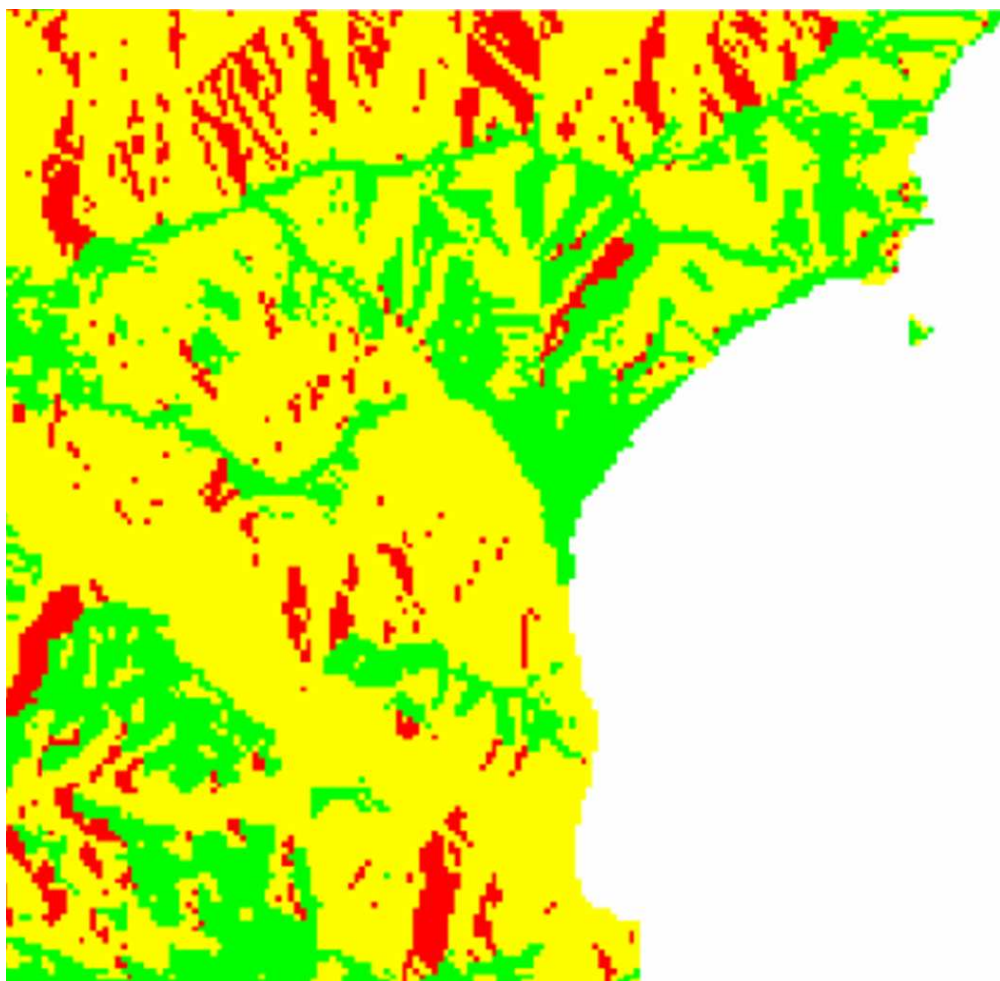


Fig. 1 - Aree di potenziale impiego delle metodologie di rilevamento GNSS

Verde = numero satelliti compreso tra 4 e 7 e PDOP inferiore a 3

Giallo = numero satelliti compreso tra 4 e 7 e PDOP compreso tra 3 e 7

Rosso = numero satelliti inferiore a 4 o PDOP superiore a 7

Sistemi di Riferimento

Qualsiasi tipo di misura che si possa effettuare permette di ottenere solo ed unicamente valutazioni relative; non è possibile ad esempio conoscere la lunghezza di un oggetto sino a che non si sia definito e realizzato un campione rispetto al quale effettuare la misura, ossia un riferimento.

Il rilevamento del territorio avviene attraverso misure tra punti, la cui posizione è comodo poterla fornire attraverso informazioni numeriche, dette coordinate, che lo identifichino univocamente. Ne deriva pertanto che, per poter attribuire delle coordinate a punti del territorio, occorre aver definito delle regole secondo le quali tali informazioni numeriche assumano significato, regole che definiscono appunto il cosiddetto sistema di riferimento (geodetico o topografico).

La definizione di un sistema di riferimento avviene nella realtà in modo implicito attraverso l'attribuzione di coordinate opportune ad un insieme di punti distribuiti sul territorio tra loro connessi attraverso campagne di misura, che prendono il nome di reti geodetiche o topografiche, e che rappresentano pertanto la realizzazione del sistema di riferimento. Al variare dei punti, della strumentazione impiegata per effettuare le misure od anche solo del periodo temporale nel quale queste sono effettuate, varia la realizzazione del sistema di riferimento. Non essendo la Terra un corpo rigido, le posizioni stesse dei vertici di rete sono in continuo movimento, con variazioni annue tra differenti placche tettoniche anche di diversi centimetri. Per tali motivi, ad un'unica definizione di sistema di riferimento (reference system) corrispondono molteplici realizzazioni (reference frame) solitamente identificate con il periodo temporale rispetto al quale sono state valutate.

Per ottenere le coordinate dei punti rilevati in un sistema di riferimento occorre connettere attraverso misure opportune i propri punti ai vertici di una rete, inquadrando così la campagna di misura nel sistema di riferimento del quale la rete è una realizzazione. La rete IGM95 effettuata dall'Istituto Geografico Militare con metodologia di rilievo GPS è inquadrata attraverso misure in relativo nel sistema ETRF89, del quale pertanto si può considerarne esserne la realizzazione italiana.

Il posizionamento di un punto tramite metodologia di rilievo GNSS si basa su misure effettuate rispetto a satelliti, le cui coordinate inquadrano così il rilievo

effettuato; le effemeridi, sono a loro volta ottenute a partire da osservazioni effettuate con continuità da una rete di Stazioni Permanenti dislocati sull'intero globo. L'aggiornamento delle effemeridi da parte del gestore della costellazione è continuo, motivo per cui le misure effettuate in riferimento alle loro posizioni portano a rilevamenti con inquadramenti in continua evoluzione.

Le reti di Stazioni Permanenti che realizzano a terra i sistemi di riferimento utili per le osservazioni GNSS sono differenti ed a differenti scale: la rete mondiale dell'International GNSS Service (IGS), quella europea EPN (EUREF Permanent Network) gestita da EUREF, sotto-commissione per l'Europa della Associazione Internazionale di Geodesia (IAG) per i Sistemi di Riferimento, la rete a scala nazionale dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) o ancora la rete GAIN ([Geodetic Alpine Integrated Network](#)) del progetto Interreg Alpin Space IIIB ALPS-GPSquakenet per il monitoraggio geodinamico dell'intero arco alpino.

Tali reti offrono ad oggi servizi per il posizionamento in post-processing, anche se è doveroso segnalare un forte interesse, attualmente ancora in fase embrionale, da parte dello stesso IGS per i servizi in tempo reale.

Le reti di Stazioni Permanenti devono garantire la qualità del dato e del servizio, acquisendo dati 24 ore al giorno per 365 giorni all'anno; notevole è il loro contributo per la realizzazione ed il mantenimento dei sistemi di riferimento.

A tale proposito è attualmente in fase di studio una rete di stazioni permanenti nazionale nella quale le reti regionali per il posizionamento in tempo reale, che sempre più regioni italiane stanno realizzando sul proprio territorio, possano inquadrarsi. Si vuole così agevolare la realizzazione ed il mantenimento di un sistema di riferimento nazionale, inquadrato nel corrente sistema internazionale, garantendo continuità spaziale tra i differenti servizi regionali.

Le reti per il posizionamento in tempo reale in Italia e principali servizi offerti

Negli ultimi anni si è assistito in Italia ad un progressivo e rapido incremento nell'istituzione di reti per il posizionamento in tempo reale a livello locale, nell'ottica di offrire un servizio quanto più possibile vicino al cittadino-utente. Vista la rapida evoluzione della realtà nazionale, non si riporta una fotografia delle

iniziative esistenti, in quanto destinata a divenire rapidamente obsoleta; si riportano invece i principali servizi generalmente offerti dai gestori, principalmente a scala regionale. E' questo un aspetto non trascurabile soprattutto in termini di assistenza all'utenza e delle applicazioni che le amministrazioni regionali possono offrire tenendo conto delle specificità del territorio.

I servizi offerti dal gestore della rete possono principalmente suddividersi in funzione dello scopo.

Servizi di carattere generale

E' utile che il gestore della rete fornisca tutta una serie di informazioni circa lo stato della rete, tra le quali:

- monografie delle stazioni permanenti con coordinate espresse nei principali sistemi geodetici e cartografici;
- analisi di qualità delle osservazioni delle stazioni permanenti;
- elenco delle stazioni attive, numero di satelliti in vista per ogni stazione e per ciascuna costellazione, numero di satelliti con ambiguità fissata;
- stime periodiche delle posizioni delle Stazioni Permanenti nel sistema di riferimento internazionalmente adottato (IGS05 al 2007) e dei relativi parametri di trasformazione verso i principali datum quali ITRFyy e ETRF89-IGM95;

Servizi per il Post-processamento

I dati per il post-processamento si basano sulle osservazioni grezze raccolte dalle singole Stazioni Permanenti e periodicamente trasferite al centro di controllo, ossia misure di codice e di fase congiuntamente alle effemeridi broadcast (trasmesse) in formato rinex, utili sia a coloro che debbano inquadrare il proprio rilievo che per utenti dotati di un singolo ricevitore.

La realizzazione di files di osservazioni virtuali, che prendono il nome di rinex virtuali in quanto effettuati da una stazione virtuale situata in prossimità dell'utente, possono essere ottenuti a partire dalle osservazioni suddette e risultano di particolare utilità nell'impiego di ricevitori a singola frequenza.

Sono possibili inoltre veri e propri servizi di post-elaborazione delle campagna di misura effettuate dall'utente, al quale vengono fornite per posta elettronica le relative soluzioni.

Servizi per il tempo reale

Vengono generate correzioni differenziali di codice e di fase e fornite informazioni accessorie finalizzate alle applicazioni in tempo reale con singolo ricevitore, sia per il posizionamento navigazionale che per il rilevamento topografico. Tali correzioni vengono principalmente create secondo due modalità:

1) correzioni differenziali valutate per le singole Stazioni Permanenti; in questo caso sarà l'operatore che dovrà scegliere, secondo criteri di vicinanza o di stato della stazione, la stazione dalla quale ricevere le correzioni differenziali. Si ha in tal caso un minor grado di raffinatezza nel servizio, in particolare in presenza di mal funzionamento di una stazione e di operatore poco esperto.

2) correzioni differenziali valutate come soluzione di rete di Stazioni Permanenti; in questo secondo modo di operare è possibile valutare le variazioni locali di effetti sistematici (quali ad esempio gli effetti atmosferici, scomposti nelle componenti troposferiche e ionosferiche). Le correzioni possono essere fornite tramite modelli parametrici, che il ricevitore dell'utente applicherà in base alla propria posizione, oppure direttamente valutate tenendo conto della posizione dell'utente stesso.

In entrambi i casi l'accuratezza della soluzione sarà più spinta e non dipendente dalla localizzazione dell'utente.

Servizio di Posizionamento GNSS della Regione Liguria

La Regione Liguria - Settore Sistemi Informativi e Telematici Regionali intende realizzare una rete di Stazioni Permanenti per il posizionamento satellitare GNSS, che potrà essere utilizzata per le attività regionali topo-cartografiche, ma anche come strumento innovativo di presidio sul territorio; l'obiettivo è dunque ottenere un posizionamento di precisione, sia per realizzazioni cartografiche, che di supporto alla protezione civile nella gestione dei rischi ambientali e delle emergenze.

L'infrastruttura sarà costituita da un insieme di ricevitori monumentati stabilmente che acquisiscano dati in continuo e che trasferiscano in tempo reale i dati ottenuti al centro di controllo; quest'ultimo avrà il compito di validare, elaborare e distribuire dati e prodotti all'utente.

Come si è più volte evidenziato, una rete di Stazioni Permanenti GNSS per il posizionamento in tempo reale non deve essere confinata alla messa in opera dell'infrastruttura, ma deve attivare ed offrire all'utente un vero e proprio Servizio, privilegiando gli aspetti di assistenza e di supporto all'utente oltre che, in sinergia con l'Università, studiare applicazioni in risposta alle specificità del territorio in cui opera e, non ultimo, fornendo il proprio contributo per la formazione dell'utente stesso.

La struttura della rete

La dislocazione delle Stazioni Permanenti, ossia il cosiddetto disegno della rete, deve rispondere a diversi criteri, non ultimi quelli logistici per l'individuazione dei siti; in particolare dovrà garantire una corretta modellazione degli effetti spazialmente correlati per giungere alle stime delle correzioni differenziali sull'intero territorio regionale. Una minor interdistanza tra le Stazioni Permanenti permette una maggior rappresentatività del dato fornito nella valutazione delle correzioni differenziali, a fronte ovviamente di un maggior numero di stazioni permanenti. Un compromesso fra precisione e complessità del sistema porta, sulla base di recenti studi ed esperienze, a ricercare una interdistanza fra stazioni permanenti possibilmente non superiore a 40 ÷ 50 km.

La particolare conformazione del territorio ligure, vincolerà poi le Stazioni Permanenti ad una distribuzione pressoché allineata invece che areale e il disegno della rete dovrà pertanto cercare di limitare gli eventuali mal-condizionamenti nella stima delle correzioni differenziali. Proprio in tal senso si sono progettati ed effettuati una serie di test NRTK in appoggio a Stazioni Permanenti GPS della rete gestita dal Politecnico di Torino, individuate in modo tale che la loro dislocazione bene rappresentasse la realtà ligure, per valutare l'effettiva affidabilità e correttezza delle soluzioni di rete con una conformazione geometrica così particolare, configurando appositamente anche il software di rete per la gestione di

questa particolare sotto rete. Da tali test (cosso T. et al., 2007) si evidenzia come una seppur lieve alternanza nella dislocazione delle stazioni rispetto all'allineamento, sembra fornire un importante contributo nelle stime delle correzioni differenziali, per punti non lontani da tale allineamento.

Ne deriva pertanto, per la realtà ligure, l'importanza di dislocare laddove possibile le Stazioni Permanenti alternativamente sulla costa e nell'entroterra per una migliore configurazione geometrica della rete.

Se da un lato queste analisi accreditano la rete ligure nel fornire un buon servizio per il tempo reale, dall'altra rimane comunque auspicabile una collaborazione con le amministrazioni regionali limitrofe, attraverso uno scambio reciproco dei dati provenienti dalle stazioni permanenti in prossimità dei confini.

Una simile sinergia porterebbe infatti ad una maggior affidabilità delle correzioni differenziali calcolate nelle aree di confine, ad una migliore precisione geodetica, una maggiore affidabilità del Servizio che non risentirebbe in questo modo di temporanee inefficienze di singole stazioni permanenti avendo a disposizione dati provenienti da un numero di stazioni sovrabbondanti, ed infine una maggiore facilità di integrazione in reti nazionali ed europee, il tutto a vantaggio dell'utente (COSSO T., FEDERICI B., SGUERSO D., 2007).

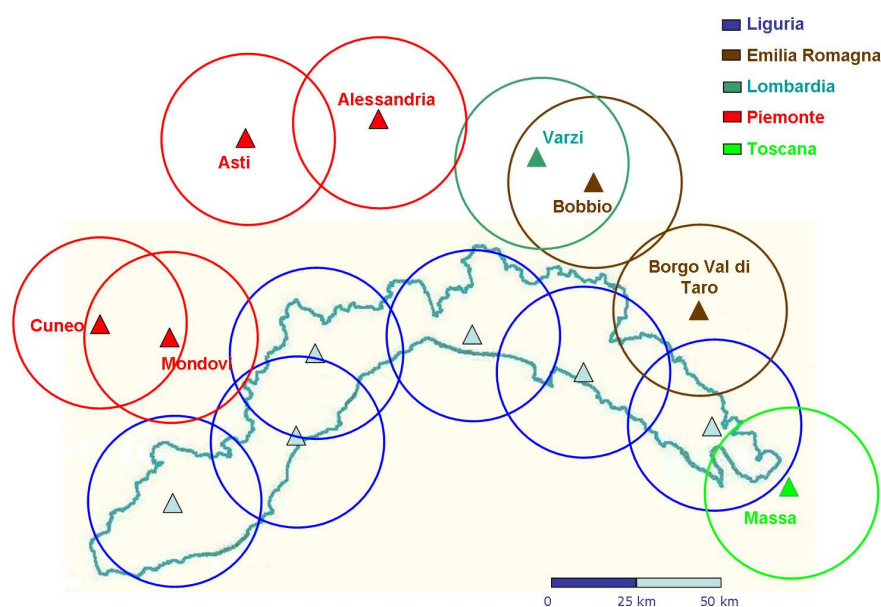


Fig. 2 - Stazioni Permanenti del Servizio di Posizionamento GNSS della Regione Liguria e regioni limitrofe

Attività di formazione

La realizzazione di un Servizio Regionale di posizionamento GNSS, per il suo carattere particolarmente innovativo da un punto di vista delle tecnologie utilizzate, per il fatto di essere rivolto ad una grande quantità di potenziali utenti, per il fatto di essere appunto un servizio fornito al cittadino, deve essere accompagnata da un adeguato piano di formazione e divulgazione del progetto e delle sue potenzialità.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta agli utenti specializzati che saranno i primi interlocutori e i primi destinatari del Servizio.

Si ritiene infatti di dover andare incontro ad una carenza formativa che ancora oggi è molto evidente nelle tematiche del rilevamento GNSS; nonostante infatti le enormi potenzialità delle tecnologie satellitari, solamente negli ultimi dieci anni si è iniziato a svolgere una formazione in questo campo, con la conseguenza che molti tecnici ancora oggi hanno difficoltà ad avvicinarsi a tali tecnologie.

In questa ottica si ritiene di dover affrontare la questione a due diversi livelli di approfondimento: un primo di conoscenza, meramente divulgativo, ed un secondo invece di formazione tecnica permanente che vede la collaborazione degli istituti scolastici, degli enti di ricerca, delle università ma anche di tutti coloro che a vario titolo sono preposti alla formazione del personale tecnico.

Bibliografia sintetica

- Benciolini G. B., Biagi L., Crespi M., Manzino A., Roggero M., “Linee guida per la realizzazione di reti di stazioni permanenti di servizio”, in *Bollettino di geodesia e scienze affini*, 2006, vol. 65, n. 2, pp. 93-121.
- Biagi L., Crespi M., Manzino A., Sansò F., “I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS”, in *Bollettino SIFET*, 2006, n. 1, pp. 29-59.
- Biagi L., Sansò F. (a cura di), *Libro Bianco su I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government*, (risultati del progetto di Rilevante Interesse Nazionale cofinanziamento Ministero dell'Università e della Ricerca 2004, PRIN 2004), Como, Geomatics Workbooks, vol. 7 (<http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n7/list.php>), 2007.
- Cosso T., Federici B., Sguerso D., “Rilevamenti in tempo reale in prossimità dei confini di reti di stazioni permanenti GPS”, in Biagi L., Sansò F. (a cura di), *Libro Bianco su I*

servizi di posizionamento satellitare per l'e-government, Como, Geomatics Workbooks, vol. 7, Appendice 4.A2, 2007.

- Cosso T., Natali D., Pesenti M., Sguerso D., “Correzioni differenziali a partire da Stazioni Permanenti GPS in linea: test di posizionamento RTK”, in *Atti della 11a Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, 2007.
- Fruet G., Sguerso D., “La pianificazione di rilievi GPS/GLONASS in ambienti densamente urbanizzati”, in *Atti della 4a Conferenza Nazionale ASITA*, Genova, 2000, vol. II, pp. 849-854.
- Piccardo D., Sguerso D., “Il contributo del GPS nelle previsioni di eventi meteorologici significativi”, in *Atti della 11a Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, 2007.
- Sguerso D., “Rete di stazioni permanenti per il posizionamento satellitare come Servizio della Regione Liguria: una proposta”, in *Atti dell' 8a Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 2004, vol. II, pp. 1827-1832.

Principali siti internet di riferimento

- Navstar GPS: <http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>
- Glonass: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru>
- Galileo dell' Agenzia Spaziale Europea (ESA): <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>
- China-Europe GNSS Technology Training and Cooperation Center:
<http://www.cenc.org.cn/en>
- International GNSS Service (IGS): <http://igsceb.jpl.nasa.gov>
- EUREF, sottocommissione per l'Europa della IAG per i Sistemi di Riferimento:
<http://www.euref-iag.net>
- Agenzia Spaziale Italiana: <http://www.asi.it>
- Geodetic Data Archiving Facility (GeoDAF) di ASI:
http://geodaf.mt.asi.it/html_old/index.html
- Alps GPS-quakenet Project, Interreg Alpin Space IIIB: <http://www.alps-gps.units.it/>
- Rete GNSS Regione Lombardia: <http://www.gpslombardia.it>
- Rete GNSS Provincia Autonoma di Trento:
<http://www.catasto.provincia.tn.it/TPOS%20-%20Trentino%20POsitioning%20Service/>
- Rete test per il posizionamento, Politecnico di Torino:
<http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0102.htm>