

## Stazioni permanenti GPS in Italia e in Europa

**Esperienze consolidate, standardizzazione e prospettive d'utilizzo**

**PROF. ALESSANDRO CAPORALI**

*Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, Università di Padova*

*La crescita delle stazioni permanenti GPS in Italia è in piena accelerazione, in piena sintonia con nazioni più sviluppate. Con questo tipo di installazioni vengono date risposte a un ampio spettro di esigenze locali. Università e Istituti Tecnici sostengono la didattica e la ricerca in materie tecniche, scientifiche e ambientali. Gli Ordini Professionali e gli Enti Locali possono offrire ai propri addetti infrastrutture che consentono un migliore livello di lavoro e un più razionale sfruttamento della strumentazione dei rilevatori.*

Oltre ad avere, una per una, validità a livello locale, queste stazioni permanenti nel loro insieme rappresentano una formidabile occasione di infrastruttura geomatica a livello nazionale. Se queste stazioni sono omogenee tra loro quanto a standard di qualità nella strumentazione e nelle comunicazioni, esse di fatto rappresentano una "rete geodetica attiva", nel senso che interagisce con l'utente, può essere continuamente rimisurata e controllata, dotata di nuovi vertici e ricompensata in blocco. Si comprende che siamo di fronte a una evoluzione delle reti tradizionali, caratterizzate da vertici "passivi" e la cui misurazione richiedeva un estenuante lavoro per mesi o anni. Tale concezione viene già da alcuni anni collaudata con successo con la rete europea EUREF: una decina di stazioni permanenti GPS italiane ne fa già parte, e le operazioni di calcolo quotidiano della rete e della sua compensazione vengono già svolte per conto dell'EUREF dai Centri di Analisi attivi presso l'ASI di Matera e l'Università di Padova. I vantaggi principali di una rete di stazioni permanenti GPS sono il continuo controllo dell'integrità dei dati prodotti dalle singole stazioni, e la possibilità di riferire qualsiasi rilevamento a un sistema omogeneo di coordinate, rimuovendo il problema delle poligonali di raccordo e le incertezze in taluni punti di appoggio e orientamenti.

Affinché la tendenza in atto, rappresentata da iniziative isolate ma in rapida moltiplicazione, converga verso una rete ben organizzata ed efficiente, con una densità che in alcune zone può arrivare a una stazione per provincia, è necessario: a) che si avvii in tempi rapidi una fase di sperimentazione, concertata tra Ordini Professionali, Uffici Provinciali del Catasto e Università/Istituti Tecnici, almeno là dove le necessarie infrastrutture e competenze già esistono; b) che, su modello delle stazioni delle reti EUREF, vengano messi a punto degli standard normativi di qualificazione per una installazione che voglia aderire alla rete permanente.

### Dai Datum Nazionali al Sistema di Riferimento Unico

Con la messa in orbita dei primi satelliti artificiali, iniziata nell'ottobre del 1957, apparve subito chiaro che un obiettivo raggiungibile e sostenibile con le tecniche satellitari era l'introduzione di un sistema di riferimento geografico valido su scala globale. In tal modo si sarebbe superata la logica dei numerosi datum nazionali esistenti alla fine degli anni '50, che comportavano discontinuità e inconsistenze cartografiche. Oggi possiamo affermare che sono stati fatti notevoli passi avanti.

Grazie alle tecniche satellitari disponiamo di tutti gli ingredienti che compongono un sistema di riferimento terrestre valido globalmente:

- Un ellissoide geocentrico WGS84 (World Geodetic System 84);
- Un geoide di elevata precisione e risoluzione spaziale EGM96 (Earth Gravity Model 96)
- Una gerarchia di sistemi di riferimento celesti, o inerziali, tutti ben collegati tra loro e rispetto ai quali è possibile materializzare e verificare il sistema di riferimento terrestre:
  - Sistema delle sorgenti radio extragalattiche ('quasar'): la migliore realizzazione oggi disponibile del concetto di "sistema delle stelle fisse";
  - Sistema delle stelle galattiche fondamentali: trattasi di stelle della nostra Galassia, prevalentemente nell'ottico, per le quali è nota con precisione la posizione e il moto proprio;
  - Orbite di alcune decine di satelliti terrestri (inclusa la Luna) e interplanetari, determinate periodicamente con precisione (ad es. LAGEOS, GPS, GLONASS, ERS ecc.).

In questi progressi gli Stati Uniti hanno indiscutibilmente avuto un ruolo trainante: hanno avuto le idee, hanno finanziato la ricerca e lo sviluppo tecnologico, hanno prodotto una quantità impressionante di risultati coinvolgendo e incoraggiando l'apporto d'altre nazioni, hanno quindi tradotto il loro know how in prodotti commerciali, senza che nessun'altra nazione raccogliesse la sfida tecnologica e commerciale. Tuttavia le nazioni europee e il Giappone sono state quantomeno sollecitate nel recepire le nuove tendenze da oltreoceano. Nel nostro specifico settore, il progetto Rete Trigonometrica Europea (RETRIG), basato su tecniche tradizionali, è stato sostituito nel 1989 - su raccomandazione della Associazione Internazionale di Geodesia - da EUREF, una rete di stazioni permanenti GPS, gestite da membri volontari, che contribuiscono alla realizzazione annuale su scala europea del sistema internazionale di riferimento ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Quest'ultimo rappresenta la migliore definizione oggi possibile di sistema di riferimento terrestre e beneficia di tecniche diversificate, quali la telemetria laser su satellite e sulla Luna, l'osservazione interferometrica delle quasar, oltre che naturalmente dei satelliti GPS e GLONASS.

La disponibilità di un ellissoide geocentrico e orientato, e l'esistenza di punti di coordinate geodetiche note ben distribuiti su tutta la superficie terrestre sono gli ingredienti necessari e sufficienti per generare una cartografia uniformemente valida su scala terrestre. Questa "infrastruttura globale" può essere adottata non solo in ambito regionale (ad es. EUREF) ma anche nazionale, come verrà discusso più avanti.

### Ruolo dell'Italia nella Geodesia Spaziale

Tra le nazioni europee, l'Italia ha dato fin dagli inizi segnali di notevole vivacità: successe infatti che proprio agli inizi degli anni '80 era in allestimento il Piano Spaziale Nazionale, diretto dal Prof. Luciano Guerriero dell'Università di Bari, e che uno dei consiglieri più ascoltati era il Prof. Giuseppe Colombo, dell'Università di Padova e dell'Università di Harvard. Colombo era un convinto sostenitore dello studio della Terra con tecniche satellitari. Non gli fu difficile convincere una persona di ampie vedute come Guerriero a includere il capitolo "Geodesia Spaziale" nel Piano Spaziale Nazionale. Fu così prevista la realizzazione del Centro di Geodesia Spaziale di Matera, che proiettava l'Italia in posizione leader per impegno profuso nel settore legato ai sistemi di riferimento e al posizionamento di precisione. Furono inoltre intraprese alcune iniziative industriali e a sostegno della ricerca. Esse hanno permesso una presenza costante e dignitosa del nostro Paese in programmi internazionali, prevalentemente coordinati dai settori "Osservazioni della Terra dallo Spazio" della NASA e dalla Agenzia Spaziale Europea ESA (cfr. ad es. Caporali, 1995). In concreto, nel campo della Geodesia Spaziale e dei sistemi di riferi-



mento, l'Italia partecipa alle attività internazionali con tre radiotelescopi per la triangolazione sulle quasar (Medicina, Matera e Noto; un quarto radiotelescopio è previsto a Cagliari); una stazione di telemetria laser da satelliti a Matera (è imminente l'entrata in funzione di un nuovo sistema in grado di inseguire anche la Luna), più la stazione di Cagliari, di livello inferiore, e undici stazioni permanenti GPS del circuito EUREF. Di queste, sei (Matera, Medicina, Noto, Venezia, Genova, Cagliari), sono gestite dall'ASI di Matera. Le altre cinque (Torino, Trento, Bolzano, Padova, Perugia) dipendono da strutture locali (Università e Province Autonome).

## Il fenomeno EUREF

Vale la pena soffermarsi ad analizzare il fenomeno "stazioni permanenti GPS" e della loro massiccia adesione alla rete EUREF, perché effettivamente si tratta di qualcosa che va fuori, naturalmente in senso positivo, dalla aspettativa di un'Italia sempre in posizione marginale e di "prudente attesa", nei confronti delle iniziative dei nostri partner europei: la prima stazione permanente fu quella di Matera, che completava con il GPS la sua struttura multi-tecnica e diventava pertanto una delle "Core Station" utilizzate dall'ITRF/EUREF per definire annualmente il sistema di riferimento terrestre. Nel 1994 entrò in funzione la nostra molto più modesta stazione di Padova, che però fu subito inclusa nella rete ITRF e EUREF, recuperando una tradizione che vantava nomi illustri, ad es. Boaga. Successivamente l'ASI formulò piani per installare alcune stazioni permanenti gestite remotamente da Matera. Due (Medicina e Noto) furono installate presso i radiotelescopi gestiti dal CNR di Bologna, usati per le triangolazioni sulle quasar; una (Cagliari) è situata presso una stazione di telemetria laser e Doppler. Due Ulteriori stazioni (Venezia e Genova) furono previste per stabilire un collegamento tra importanti stazioni mareografiche. Entrambe furono installate in aree densamente abitate e con un forte inquinamento radioelettrico. Venezia (presso l'Istituto per lo Studio della dinamica delle Grandi Masse del CNR) passò non poche peripezie prima di riuscire a funzionare abbastanza regolarmente nel 1995; un cammino ancor più difficile ebbe Genova, installata presso l'Istituto Idrografico della Marina, che è entrata in funzione solo nel 1998. Le esperienze di Venezia e Genova, ma anche ad es. Torino, hanno dimostrato che occorre molta cautela nel preventivare un sito permanente in ambiente urbano: una postazione ottimale dal punto di vista degli ostacoli ottici può non esserlo dal punto di vista radioelettrico, e uno spostamento dell'antenna anche di pochi metri può essere determinante per un notevole miglioramento del segnale. Dal punto di vista della visibilità italiana in ambito EUREF, vi è stata un'accelerazione impressionante: dal 1993 al 1998 le stazioni EUREF italiane erano sei, di cui cinque (Matera, Venezia, Noto, Medicina e Cagliari) ASI e una (Padova) universitaria. Nell'ultimo scorcio del '98 le stazioni EUREF italiane sono passate improvvisamente da sei a undici, con l'aggiunta di Torino, Trento, Bolzano, Perugia e Genova. Solo Genova è gestita in remoto dall'ASI di Matera, mentre il grosso del nuovo contributo proviene dalle Università e dagli Enti locali (Province Autonome di Trento e Bolzano). Agli inizi del 1999 la distribuzione delle stazioni EUREF vede sei unità al Nord, due al Centro e tre nel Sud/Isole. A queste bisogna aggiungerne altre che per motivi diversi non hanno lo status di stazioni EUREF: ad esempio Modena (Collegio Provinciale Geometri), Foggia e Prato (Istituti Tecnico - Professionali), Cosenza (CNR), Milano (Codevintec S.r.l.), e certamente molte altre di cui però ignoro l'esistenza. Per essere EUREF vi sono pochi ma importanti requisiti: disporre di strumentazione aggiornata, di un sito stabile e ben monumentato e di sistemi di comunicazione (ad es. modem o ancor meglio Internet) tali da consentire la trasmissione giornaliera dei dati ai centri regionali di raccolta (nel nostro caso Matera). Attualmente ogni stazione EUREF mette in linea i propri dati campionati a 30 secondi con cadenza giornaliera. Nel 1998, in vista di un massiccio impiego delle stazioni permanenti GPS per raccolta di dati utili alle previsioni meteo, è iniziata la fase sperimentale

di messa in linea dei dati a cadenza oraria, e Padova è finora l'unica stazione italiana a aderire all'iniziativa, realizzando proprie procedure operative e collegandosi direttamente con il centro raccolta dati di Francoforte.

Sembrerebbe che le stazioni si concentrino al Nord e in particolare nel Nord-Est (un contributo di 4-5 stazioni permanenti è previsto dalla Regione Friuli Venezia Giulia a breve termine). I motivi per questo apparente squilibrio geografico non sono certo di carattere economico, perché gli investimenti sono contenuti sia in conto capitale sia in conto esercizio, ma sono legati prevalentemente a iniziative di singoli gruppi che ritengono valido lo sforzo. Le Università devono offrire agli studenti corsi aggiornati di rilevamento tecnico per applicazioni geologiche, agrarie, ingegneristiche (dei trasporti, elettronica, meccanica, civile, metrologia del tempo...), meteorologiche, ambientali e urbanistiche. Gli Enti Locali (ad. es. il Catasto di Bolzano, il Servizio Geologico della Provincia di Trento) o i Collegi Provinciali dei Geometri (ad es. Modena) mettono a disposizione i dati delle proprie stazioni a supporto delle attività locali di rilevamento dei propri associati o tecnici. Recentemente è cresciuto anche l'apporto italiano al calcolo periodico della rete EUREF, e di conseguenza alla sua manutenzione. Anche Padova è infatti entrata a far parte, insieme all'ASI di Matera e ad altri dieci centri europei (inclusi alcuni paesi dell'Est) dei Centri di Elaborazione Dati. Ognuno di questi Centri ha assegnata una sottorete EUREF di circa 10-15 stazioni, in modo tale che ogni stazione EUREF è elaborata da almeno tre Centri. Le sottoreti, prodotte nella forma di coordinate compensate e equazioni normali su scala settimanale, sono combinate in un'unica rete dall'Università di Berna, e il prodotto finale sono i valori settimanali delle coordinate di tutte le stazioni EUREF, delle loro varianze e covarianze. A loro volta queste soluzioni EUREF sono utilizzate per realizzazioni annuali dell'ITRF. Ad esempio il nostro sistema IGM95 è una realizzazione dell'ITRF89 in quanto la compensazione è stata vincolata a stazioni EUREF con le coordinate appropriate (Surace, 1998). Le stazioni EUREF stanno aumentando in tutta Europa e si parla già di "quote" nazionali.

## Importare in ambito nazionale il modello EUREF?

Il concetto EUREF è facilmente importabile in ambito nazionale. Anche in Italia è da prevedere un rapido aumento delle stazioni permanenti, dell'ordine di una per provincia, frutto per lo più di iniziative locali, autogestite e autofinanziate, a supporto di attività locali che vanno dal rilevamento topografico ai GIS, alla navigazione marittima, aerea e terrestre, alla meteorologia. Nell'ipotesi che queste stazioni siano tutte con standard EUREF-compatibili, anche se non tutte faranno ufficialmente parte della rete EUREF, le loro posizioni relative possono essere calcolate periodicamente da un centro di elaborazione di tipo universitario che si avvale di elaborazioni di sottoreti a parziale sovrapposizione, generate periodicamente da centri regionali di elaborazione dati. Si giungerebbe in tal modo a un controllo periodico, ad esempio su scala settimanale, di quella che di fatto è una rete di punti di riferimento che, sotto alcuni punti di vista, integra e ulteriormente valorizza IGM95.

L'importanza di effettuare un controllo geodetico sistematico su tutti i punti della rete va enfatizzata. Basti pensare (e si potrebbero già fin d'ora portare alcuni significativi esempi) all'eventualità di improvvise variazioni ad es. di quota strumentale, o di cambio di strumentazione, o di installazione di copertura sull'antenna, o ancora cambi di procedure software che introducono errori nei dati prodotti da una stazione di riferimento. L'esperienza di questi anni dimostra che tali eventualità sono tutt'altro che improbabili anche in stazioni EUREF. Non bisogna poi dimenticare la presenza di movimenti locali planialtimetrici, ad es. legati a fenomeni di deformazione crostale o dissesto idrogeologico, non altrimenti evidenziabili. Se non tenute sotto controllo, queste fenomenologie possono produrre errori nel lavoro dell'ignaro professionista non dissimili da quelli derivanti dallo



spostamento di un punto fiduciale dalla sua sede originaria, senza che le coordinate vengano contestualmente aggiornate. Poiché la rete delle stazioni di riferimento viene misurata e compensata periodicamente come "rete libera", la comparsa di variazioni improvvise nella posizione dell'antenna, anche se solo di pochi millimetri, appare immediatamente, come si è potuto in più occasioni verificare.

In sintesi:

- E' facilmente prevedibile un aumento probabilmente esponenziale del numero di stazioni permanenti operanti in Italia;
- E' fortemente auspicabile che queste stazioni rendano disponibili i loro dati (anche campionati a 30 secondi, quindi con scarso valore "commerciale") ad es. su un server FTP anonimo o ad accesso riservato, in formato RINEX compresso (occupazione su disco inferiore a 300K/file giornaliero dati);
- E' altresì auspicabile che si formino dei gruppi regionali di elaborazione dei dati che elaborino le sottoreti regionali (tipicamente una sottorete di 5-20 stazioni ricalcolata quotidianamente è gestibile con un normale PC), e che un gruppo si incarichi della combinazione delle soluzioni delle sottoreti, e si interfacci con il circuito EUREF, sia dal punto di vista tecnico (software, modelli, database) che scientifico (comprensione del significato dei numeri dal punto di vista statistico, geodinamico e geodetico). Pertanto questo gruppo non può che ricercarsi negli ambienti accademici o della ricerca.

Proprio per la relativa facilità con cui si installa e si gestisce una stazione permanente di riferimento, sono convinto che i gestori di stazioni permanenti non guarderanno solo alle esigenze locali momentanee e contribuiranno a realizzare senza alcun aggravio da parte loro un'importante infrastruttura geoinformatica a carattere nazionale, integrata con analoghe infrastrutture esistenti nell'Europa comunitaria e non. Tuttavia non possiamo escludere che alcune stazioni bollino gli standard per le stazioni di riferimento come inutile... zavorra! In tal caso avremo, come di fatto già abbiamo adesso, la suddivisione delle stazioni in stazioni con standard EUREF e stazioni non standard EUREF. In questa seconda classe finirà un numero anche notevole di installazioni che svolgono funzioni di grandissima utilità e con standard qualitativi anche elevati, ma il loro impiego come punti di appoggio in rilievi GPS di precisione è fortemente opinabile, perché le loro coordinate non sono note o verificabili nel contesto della rete delle stazioni permanenti "a norma".

L'entrata in funzione delle stazioni permanenti deve essere affiancata da una contemporanea attività di addestramento e successivo aggiornamento dei professionisti e dei potenziali committenti all'impiego corretto dei dati prodotti da queste strutture. Ciò si rende necessario sia per una stesura delle norme di capitolato che sia il più possibile uniforme nel territorio nazionale (e compatibile con simili normative in ambito comunitario), sia per consentire al professionista di scegliere la strumentazione in funzione delle sue reali esigenze, di valutare se le caratteristiche di nuovi modelli giustificano un aggiornamento della strumentazione o nuovi acquisti, di ricevere assistenza tecnica nelle varie fasi di un progetto. Anche qui vedo un ruolo importante delle Organizzazioni Professionali e degli Istituti Accademici e di Formazione Tecnica, per offrire localmente un servizio molto richiesto. Una corretta opera di informazione può far risparmiare molto tempo e danaro, ed è il metodo migliore per combattere la disinformazione.

## Conclusioni e Prospettive

Le stazioni permanenti GPS sono, in Italia come altrove, un fenomeno in piena espansione. E' facilmente prevedibile che esse diventeranno centri gravitazionali di attività legate al rilevamento del territorio, ma anche alla navigazione e alla meteorologia. E' pertanto quanto mai opportuno che:

- 1 i potenziali utenti comincino a comprendere in che modo possono interagire con queste installazioni;

- 2 i gestori delle stazioni e la comunità scientifica geodetica comprendano in che modo le stazioni devono interagire tra loro.

L'utente vuole che queste stazioni permanenti siano dei punti di appoggio affidabili e gestite -laddove possibile- in ambito locale, dalle quali ottenere innanzitutto dati necessari per realizzare il proprio rilevamento, ma anche consulenza e assistenza. E' pertanto evidente che la gestione di tali installazioni non potrà prescindere dalle Organizzazioni Professionali locali e dall'Università, laddove esistano sufficienti competenze e interesse. Mi aspetto inoltre che vi sarà presto una analisi dettagliata e comparativa di rilievi fatti con tecniche tradizionali e GPS e che sarà quantificato il miglioramento del livello di lavoro e del tornaconto economico derivanti dall'impiego delle stazioni permanenti.

D'altro canto le stazioni permanenti devono presentarsi come una vera, solida rete di appoggio. Questa rete deve pertanto essere misurata e ricalcolata periodicamente. Ma questo non sembra essere un problema anche se ci fossero un centinaio di vertici, se il lavoro è organizzato e ripartito regionalmente. Potrebbe così essere garantita la integrità dei dati dalle singole stazioni, e la perfetta integrazione con la rete europea, e una tempestiva interazione con gli utenti.

Concludo esprimendo l'augurio, che può anche essere interpretato come un'ipotesi di lavoro da qui ai prossimi appuntamenti congressuali, che:

- a) Là dove già esistono stazioni permanenti, si creino - possibilmente d'intesa con gli Uffici Provinciali del Catasto - delle task force che sperimentino l'impiego delle stazioni permanenti;
- b) Si approfondisca la possibilità di importare in Italia il concetto di rete EUREF, come linea guida sia per gli standard di stazione, sia per le procedure di verifica dell'integrità e della funzionalità della rete di stazioni GPS permanenti.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A. CAPORALI, Colombo and the Center for Space Geodesy in Matera, an Idea for Space Research after the year 2000, on the 10<sup>th</sup> Anniversary of the Departure of Giuseppe Colombo, Padova, 18-19

February 1994, Ed. by F. Angrilli, P.L. Bernacca and G. Bianchini, pp. 131-140, 1995.

L. SURACE, La georeferenziazione delle informazioni territoriali, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini n.2, pp.181-234, 1998.

### INDICE DEGLI INSERZIONISTI

ASITA .....	pag.	2
ESRI Italia .....	pag.	48
GEOmedia .....	pagg.	7,47
GisItalia .....	pag.	30
Informatica ed Enti Locali .....	pag.	34
Leica .....	pagg.	24,25
Sokkia .....	pag.	23
Sysdeco .....	pag.	43