La “Rete Integrata Nazionale GPS” (RING) dell’INGV: una infrastruttura aperta per la ricerca scientifica

Giulio SELVAGGI (*), Mario MATTIA (**), Antonio AVALLONE (***), Nicola D’AGOSTINO (*), Luigi ABRUZZESE (***), Marco ANZIDEI (****), Massimo CANTARERO (**), Vincenzo CARDINALE (***), Angelo CASTAGNOZZI (***), Giuseppe CASULA (*****), Gianpaolo CECERE (***), Rocco COGLIANO (***), Fabio CRISCUOLI (*), Ciriaco D’AMBROSIO (***), Elisabetta D’ANASTASIO (*), Prospero DE MARTINO (******), Sergio DEL MESE (****), Giovanni DE LUCA (***), Roberto DEVOTI (****), Luigi FALCO (***), Vincenzo FLAMMIA (***), Alessandro GALVANI (****), Luciano GIOVANI (*****), Ingrid HUNSTAD (*), Angelo MASSUCCI (****), Felice MINICHIELLO (***), Antonino MEMMOLO (***), Franco MIGLIARI (***), Raffaele MOSCHILLO (***), Francesco OBRIZZO (******), Mimmo PALANO (**), Grazia PIETRANTONIO (****), Maurizio PIGNONE (***), Mario PULVIRENTI (**), Massimo ROSSI (**), Federica RIGUZZI (****), Enrico SERPELLONI (*****), Umberto TAMMARO (******) e Luigi ZARRILLI (***)

(*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via di Vigna Murata 605, 00143 Roma, tel. +39-0651860410, *fax. +39-0651860541*, *selvaggi@ingv.it*
(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Piazza Roma 2, 95125 Catania, tel. +39 095 7165800, *fax*. +39 095 435801.
(***) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via Castello D’Aquino 13, 83035 Grottaminarda (AV), tel. +39-0825421911, *fax. +39-0825421937*
(****) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via di Vigna Murata 605, 00143 Roma, tel. +39-0651860214, *fax. +39-0651860541*
(*****) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, tel. +39-0514151440, *fax. +39-051 4151498*
(******) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Diocleziano 328, 80124 Napoli, tel. +39-0816108483, *fax. +39-0816100811*

Riassunto
Verso la fine del 2004, l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV ha deciso di investire importanti risorse sulla realizzazione di una rete di stazioni GPS in continuo a scala nazionale in tempo reale, integrando le esperienze già esistenti nelle varie sedi INGV e sviluppando una strategia triennale di nuove installazioni. Il target principale della rete sono gli studi di tettonica attiva, comprendendo anche la parte sismologica come l’accumulo di deformazione su faglie. L’obiettivo è giungere, in un piano di investimenti triennale, alla realizzazione di una rete che porti la comunità scientifica ad avere una infrastruttura confrontabile con quella di altri paesi all’avanguardia nel settore degli studi di deformazione crostale. Questo aspetto è stato alla base dell’installazione di strumentazione classicamente sismologica (sismometri a larga banda e accelerometri) accoppiata nello stesso sito a ricevitori GPS, in modo da osservare e quantificare il ciclo sismico. In questo breve riassunto viene descritta la rete, le scelte tecniche per la monumentazione e la trasmissione, la gestione dei dati e dei metadati e la politica di diffusione dei dati.

Abstract
Since 2004, the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) is investing important energies for the creation of a continuous GPS network dislocated all over the Italian territory. Data transmission will occur in real time, integrating the experiences already existing in the different INGV institutes and developing a 3-yrs strategy for the new installations. The main targets of the

network are represented by active tectonics studies, including also the seismological part as strain accumulation on faults. Within a 3-yrs funding project, it is expected, to realize for the scientific community an infrastructure which is comparable to those existing in countries where advanced crustal deformation studies are carried out. Thus, INGV have co-located the classical seismological instrumentation (broad band seismometers and accelerometers) with GPS receivers to observe and quantify the whole seismic cycle. In this short paper, we describe the CGPS network, the technological choices for the monumentation and the data transmission, the data and metadata management and, finally, the data policy and the deliverables.

Motivazioni scientifiche per una rete permanente in Italia.

La zona di deformazione tra Nubia e Eurasia è caratterizzata da una elevata complessità cinematica dovuta principalmente a fattori geometrici ma anche reologici di cui ancora sappiamo poco. Studi prettamente sismologici negli anni ’80 e inizio ’90 (ad es. Anderson and Jackson, 1987, Westaway, 1990) hanno in parte delineato le caratteristiche tettoniche principali ma il grande salto di qualità può venire dall’uso del GPS. In realtà, i primi lavori che fanno uso dei risultati del GPS non hanno portato ad una soluzione dei problemi maggiori lasciati aperti precedentemente. In particolare la definizione di una placca Adriatica e la sua terminazione meridionale sono ancora materia di dibattito (Oldow et al., 2002, Battaglia et al., 2004). Una causa di ciò risiede nello scarso numero di stazioni GPS permanenti nelle aree chiave. Le grandi questioni di tettonica regionale sono state alla base della progettazione della nostra rete GPS permanente. Inoltre, di recente, alcuni importanti lavori (Hollenstein, et al., 2004, D’Agostino and Selvaggi, 2004, Serpelloni et al., 2005) hanno mostrato che valori di deformazione molto più alti di quanto si pensava prima sono stati effettivamente riscontrati nella nostra regione e che solo l’uso di una rete densa di stazioni, quindi di un campionamento alto attraverso le aree dove sono maggiori le velocità relative, permette di osservare in modo corretto il rilascio, o accumulo, di deformazione. Valori prossimi a $0.5 \div 2 * 10^{-7}$ per anno di tasso di deformazione non sono una eccezione attraverso ad esempio la Sicilia o la catena Appenninica. Infine, il contributo della geodesia alla sismologia sta diventando sempre più importante sia nella definizione del rilascio cosismico durante un terremoto e sia nell’osservazione e modellazione dell’accumulo intersismico di deformazione elastica su faglie attive. Questo ultimo aspetto è forse il più rilevante in quanto, rispetto alla strumentazione sismologica che vede esclusivamente la parte radiativa del terremoto, il GPS estende le osservazioni campionando anche la fase del ciclo sismico durante il quale l’energia elastica si accumula. In prospettiva, visto l’enorme progresso del GPS in termini di precisione, non si può escludere che in un prossimo futuro le stazioni GPS con cadenza di campionamento molto alta (1-20Hz.) diventino lo strumento principe per l’osservazione di segnali sismici, andando ad affiancarsi alla classica strumentazione sismologica.

Cosa è la Rete Integrata Nazionale GPS

La rete sviluppata in questi due ultimi anni si caratterizza per l’integrazione delle esperienze che negli anni ’90 e inizio 2000 sono state autonomamente sviluppate nelle diverse sezioni dell’INGV nella gestione e nell’analisi delle reti e dei dati GPS. Tuttavia, l’integrazione scientificamente più rilevante è sulla strumentazione. Infatti, la gran parte delle stazioni installate sono costituite dalla co-localizzazione di strumentazione sismologica e geodetica; in particolare, sismometri a larga o larghissima banda (40sec.÷240 sec) e accelerometri strong motion insieme a ricevitori GPS. Ciò, se da una parte rappresenta una occasione scientifica quasi unica di avere nello stesso sito la registrazione a tutte le frequenze ad esempio di un forte terremoto, ha rappresentato anche un notevole vantaggio nella possibilità di usare lo stesso vettore di trasmissione per differenti dati in tempo reale incidendo molto sulla riduzione dei costi di gestione della rete. In sostanza, la RING è una rete multisensoriale in tempo reale costituita, oggi, da più di 100 stazioni dislocate in modo

omogeneo in tutta la penisola e in Sicilia con una maggiore densificazione, non ancora conclusa, nelle aree sismogenetiche più importanti (Figura 1).
I ricevitori GPS installati sono stati scelti attraverso una gara europea nella quale sono state messe a confronto le maggiori case costruttrici risultando vincitrice la Leica Geosystem S.p.A. che ha proposto i GRX1200PRO con antenna choke-ring AT504. Accessori importanti delle strumentazioni sono i mount della *Southern California Integrated GPS Network* (SCIGN) che permettono un ottimo accoppiamento monumento-antenna, oltre al radome, sempre prodotto dalla SCIGN.

Figura 1- Mappa delle stazioni GPS attive a Settembre 2006 della rete RING (triangoli rossi), In verde sono riportate le stazioni gestite dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI)

I monumenti, i siti e la trasmissione satellitare della RING
Le considerazioni esposte precedentemente hanno avuto come conseguenza la ricerca di una monumentazione che, almeno per molti siti, rispondesse a un obiettivo: avere una risposta diretta del moto del suolo in caso di terremoto. Due caratteristiche del monumento sono compatibili con tale esigenza: che il monumento sia accoppiato direttamente al terreno e che il centro di fase dell'antenna sia il più possibile vicino al centro di stabilità del monumento. Il monumento adottato dalla rete, almeno per circa il 60% delle stazioni è una variante del progetto della *SCIGN* di tripode in acciaio superficiale o profondo che risponde esattamente ai due requisiti richiesti (Figura 2). La variante è rappresentata dalla progettazione e realizzazione di un adattatore in acciaio che permette la giunzione a vite delle aste di acciaio senza avere la necessità di fare saldature in campagna, come previsto nel progetto originale dello SCIGN. Ciò ha portato in breve tempo ad avere una completa autonomia nella realizzazione dei monumenti senza ricorrere a ditte specializzate, riducendo i tempi di realizzazione e i costi per una monumentazione molto stabile, caratteristica importante anche per studi di deformazione postsisimica. Nella Figura 2 sono riportati alcuni esempi dei monumenti realizzati e anche di un monumento profondo adottato per terreni sciolti. Oltre ai tripodi, sono state realizzate anche delle monumentazioni tipo pilastrino in cemento autoarmante ancorato al substrato roccioso tramite aste di ferro zincato oblique con un centro di stabilità che si trova in questo caso alla base del pilastrino (Figura 3). Infine, alcune stazioni sono realizzate su strutture per motivi di necessità, sicurezza o praticità.
Il vettore trasmissivo scelto per la rete RING è il sistema satellitare VSAT Libra-Gui della Nanometrics (circa il 60-70% ? del totale delle stazioni), che garantisce una ottima continuità di acquisizione delle osservazioni. I vantaggi sono: la possibilità di avere stazioni in zone remote; la

possibilità di avere i dati in tempo reale delle stazioni sismometriche e geodetiche; la robustezza del sistema che consente una ritrasmissione dei pacchetti persi e infine, non meno importante, una notevole riduzione dei costi di gestione, molto inferiori ad altri vettori con stesse prestazioni. Inoltre il sistema da noi adottato ha bassi consumi il che ci ha permesso di non essere vincolati alla rete elettrica ma di far funzionare le stazioni con pannelli solari. In particolare, ad ogni sito remoto è installata una parabola da 1.8 mt. che trasmette i dati attraverso il satellite Intelsat o Hellasat, a tre diversi centri di acquisizione (Roma, Grottaminarda e Catania) muniti di Hub centrali per garantire la ridondanza nell'acquisizione. In Figura 3 sono riportate le foto di tre classici siti della RING. Altri sistemi di trasmissione utilizzati sono rappresentati dalla intranet R.U.P.A. (Rete Unificata Pubblica Amministrazione) in tempo reale e dal collegamento GSM/GPRS o telefonia fissa, ovviamente non in tempo reale.

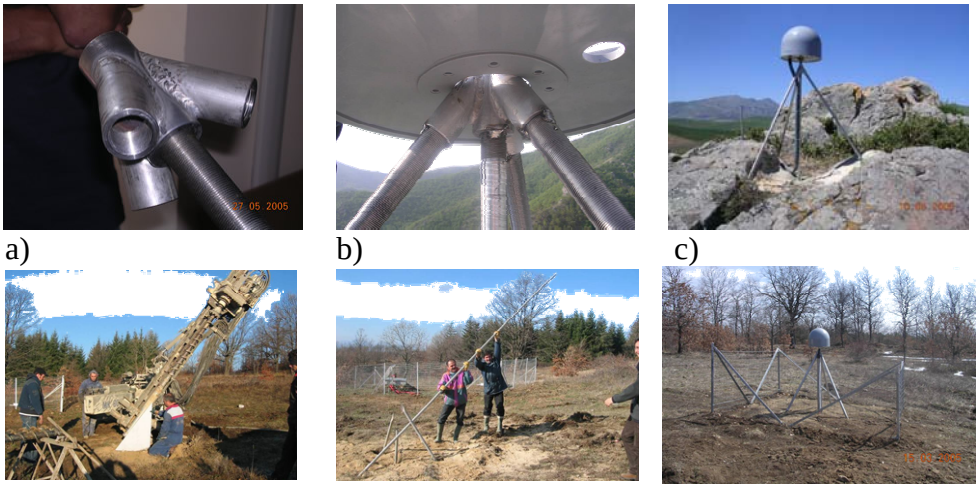

Figura 2 – a) adattatore per la giunzione delle aste di acciaio del monumento SCIGN; b) particolare della giunzione delle quattro aste; c) tripode realizzato, foto relativa alla stazione di Corleone in Sicilia; d), e) e f) costruzione di un monumento profondo a Busso, in Molise.

Figura 3 – esempi di sito della rete RING: a sinistra il sito di Monte S. Angelo in Puglia; al centro Trivento, in Molise; a destra Sortino, in Sicilia.

La gestione dei dati e dei metadati della RING

I dati provenienti dalle stazioni sono acquisiti presso le diverse sezioni o sedi dell'INGV e trasferiti presso la sede di Grottaminarda. Al fine di accrescere e stimolare la collaborazione tra le varie sedi è stato sviluppato un ambiente collaborativo che si avvale delle recenti tecniche di "Knowledge Management". Tale approccio ha condotto alla creazione di una infrastruttura tecnologica finalizzata alla completa gestione e condivisione dei dati e del relativo contenuto informativo. Lo schema implementativo del sistema è suddiviso in tre *layer* principali concernenti fondamentalmente: i dati, il software ed i servizi web. Nel primo layer la base di dati è composta dal file system per la gestione dei dati raw e dei rinex (in una struttura year/doy accessibile tramite un servizio ftp), e dal database relazionale che gestisce le informazioni sui siti e sugli strumenti (log files, monografie etc.). Il secondo *layer* contiene il software di analisi e sviluppo e i tool di *data*

mining, come ad esempio il software di controllo di qualità delle osservazioni (Clinic). Tale implementazione (Clinic®) esegue i controlli di qualità sul rinex acquisito (marker name, cycle slips, gaps, first and last epoch, sessions, etc.). Alla fine del suo ciclo, Clinic produce nuove informazioni (indici del buon funzionamento delle stazioni GPS) che vengono immagazzinate nel database quale ulteriore corredo informativo del file di dati acquisito. L'interrogazione, la gestione e la condivisione dell'intera base di dati è affidata ai servizi web quali: il *webGIS*, i *Front-end tool* e l'*Area Riservata*. Questi servizi permettono di accedere, da qualsiasi postazione internet, alle normali funzioni di amministrazione e gestione delle stazioni GPS quali: la generazione di file Log delle stazioni GPS, la loro consultazione, la creazione di monografie, la creazione dei grafici sulle serie temporali o anche la verifica della completezza delle osservazioni alle stazioni; tutte funzioni che avvengono dinamicamente dal database. È, inoltre, possibile effettuare l'upload e il download di file rinex mediante protocollo http e monitorare lo stato delle stazioni attraverso la creazioni della storia dei malfunzionamenti o dei problemi delle stazioni. Questi servizi sono stati progettati con l'intento di favorire lo scambio di dati, informazioni e conoscenze (*know-how*) all'interno della struttura partendo dal principio che la maggiore risorsa di un organizzazione è rappresentata dalla conoscenza posseduta dalle persone che ci lavorano.

La politica di diffusione dei dati

In occasione della X conferenza ASITA, è prevista l'apertura all'esterno dell'INGV dei dati rinex a 30 secondi delle stazioni che hanno più di un anno di registrazione e siano caratterizzate da una buona continuità delle osservazioni. Si tratta di circa 50 stazioni la cui geometria, unita alle stazioni già rilasciate da altri enti o università, permette di portare l'Italia ad avere una rete con maglia abbastanza regolare, con distanze di circa 50-60 km tra le stazioni (Figura 4). La modalità di downlaod dei file rinex avverrà sia attraverso una ftp anonima che attraverso applicazioni web come quelle descrite nel precedente paragrafo.

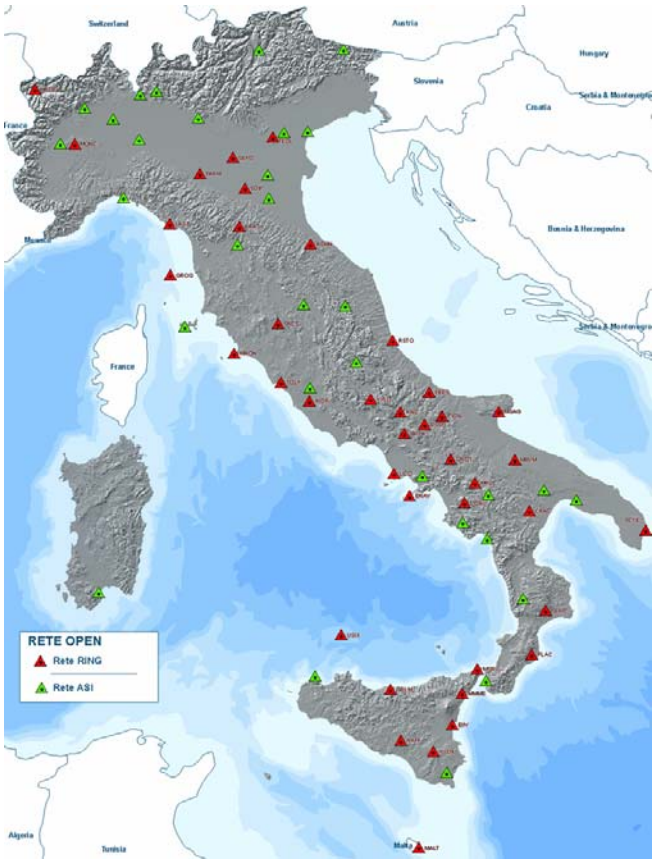

Figura 4 – Mappa delle stazioni i cui dati saranno rilasciati nell'autunno 2006 (triangoli rossi).

Accanto alle osservazioni rinex a 30s, nel prossimo futuro è prevista anche la distribuzione di soluzioni giornaliere o settimanali provenienti dalla combinazione delle soluzioni ottenute dai diversi centri locali di analisi dislocati nelle sedi INGV di Roma, Catania, Grottaminarda, Bologna e Napoli. Le serie temporali ed eventualmente campi di velocità saranno quantità derivate e disponibili in tempi relativamente brevi. In conclusione, grazie a finanziamenti del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile, del Programma per la Sismologia e l'Ingegneria Sismica (PRO.S.I.S.) e del progetto FIRB "Sviluppo Nuove Tecnologie per la Protezione e Difesa del Territorio dai Rischi Naturali: Sistemi Osservativi Geodetici-la Rete GPS Nazionale", questi due ultimi finanziati dal MIUR, nel corso di due anni è stata costruita e viene resa disponibile alla comunità scientifica una infrastruttura aperta di rete GPS finalizzata, come obiettivo prioritario, agli studi di tettonica attiva.

Bibliografia

Anderson H., Jackson J. (1987), Active tectonics of the Adriatic Region, *Geophys. J. R. astr. Soc, 91,* 937 – 983

Battaglia M., Murray M. H., Serpelloni E., Bürgmann R. (2004), The Adriatic region: An independent microplate within the Africa – Eurasia collision zone, *Geophys. Res. Lett., 31, L09605,* doi:10.1029/2004GL019723.

D'Agostino N., Selvaggi G. (2004), Crustal motion along the Eurasia – Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements, *J. Geophys. Res., 109, B11402,* doi:10.1029/2004JB002998.

Hollenstein, C. H., H.-G. Kahle, A. Geiger, S. Jenny, S. Goes, and D. Giardini (2003), New GPS constraints on the Africa-Eurasia plate boundary zone in southern Italy, Geophys. Res. Lett., 30(18), 1935, doi:10.1029/2003GL017554.

Oldow J. S., Ferranti L., Lewis D. S., Campbell J. K., D'Argenio B., Catalano R., G., Carmignani L., Conti P., Aiken C. L. V. (2002), Active fragmentation of Adria, the north African promontory, central Mediterranean orogen, *Geology, 30 (9),* 779 – 782.

Serpelloni, E., M. Anzidei, P. Baldi, G. Casula, and A. Galvani (2005), Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: New results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks, Geophys. J. Int., 161, 861–880, doi:10.1111/j.1365-246X. 2006.06218.x.

Westaway, R. (1990), Present-day kinematics of the plate boundary zone between Africa and Europe, from the Azores to the Aegean, Earth Planet. Sci. Lett., 96, 393– 406.