

LA RETE INTEGRATA NAZIONALE GPS (RING): STATO DELL'ARTE A DUE ANNI DALLA NASCITA

Antonio AVALLONE (*), Gianpaolo CECERE (**), Luigi FALCO (**), Raffaele MOSCHILLO (**),
Maurizio PIGNONE (**), Elisabetta D'ANASTASIO (*), Luigi ZARRILLI (**),
Grazia PIETRANTONIO (*), Enrico SERPELLONI (***), Nicola D'AGOSTINO (*),
Marco ANZIDEI (*), Giuseppe CASULA (***), Ciriaco D'AMBROSIO (**),
Roberto DEVOTI (*), Giulio SELVAGGI (*)

(*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via di Vigna Murata 605, 00143 Roma,
tel. +39-0651860722, fax. +39-0651860541, avallone@gm.ingv.it.

(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio di Grottaminarda, via Castello D'Aquino 13,
83035 Grottaminarda (AV), tel. +39-0825421911, fax. +39-0825421937.

(***) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna,
tel. +39-0514151440, fax. +39-0514151498.

Riassunto

Dal 2004, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha intrapreso la creazione di una infrastruttura tecnologica con il proposito di studiare alcuni aspetti di tettonica attiva in Italia ancora insoliti. Una rete GPS permanente, la Rete Integrata Nazionale GPS (RING), composta da ormai circa 130 stazioni, è stata costruita in modo da coprire tutto il territorio italiano. Lo sviluppo e la realizzazione di una monumentazione del caposaldo GPS stabile nel tempo, l'integrazione con altri strumenti di sismologia classica e la scelta di una trasmissione dei dati sia via satellite che via internet rendono la RING una delle più innovative e affidabili reti GPS permanenti al mondo. Lo sviluppo della rete è stato accompagnato da uno sviluppo tecnologicamente avanzato di tutti gli aspetti relativi all'acquisizione dei dati e ai relativi contenuti informativi. Per questo, un database ed un SIT sono stati sviluppati per sintetizzare e mostrare in una interfaccia web e una geografica le informazioni relative ai siti RING. I dati GPS vengono analizzati da tre softwares scientifici al fine di confrontare i risultati e di ottenere una più robusta soluzione del campo di velocità.

Abstract

Since 2004, an important technological infrastructure has been created in Italy by INGV in order to investigate active tectonics targets for which an open debate exists. A continuous GPS network, the RING, constituted by about 130 stations, has been deployed all over Italy. The development and the realization of a stable GPS monumentation, the integration with other classical seismological instruments and the choice of both satellite and internet data transmission make this network one of the most innovative and reliable CGPS networks in the world. The development of the CGPS network has been accompanied by a technologically advanced development of all the aspects related to data acquisition and data information mining: a database and a SIT, which has been developed to be fully integrated with the Knowledge Management technology and it is aimed to synthesize and to display in a geographic interface the information of the RING sites. The GPS data are analyzed by three different scientific softwares in order to compare the results and to obtain a more robust velocity field solution.

Implementazione della rete RING

Le reti permanenti GPS costituiscono una importante risorsa per una serie di studi tecnologici e scientifici. La carenza di conoscenze in studi di tettonica attiva, che comprendono anche la parte di

sismologia come l'accumulo di deformazione sulle faglie, è stata a lungo frenata dalla mancanza di reti permanenti GPS sufficientemente dense distribuite su tutto il territorio nazionale. 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). 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. 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.

Da qualche anno, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha impiegato notevoli risorse e sforzi per rispondere a tali temi scientifici. Selvaggi et al. (2006) hanno mostrato i primi sviluppi e le prime basi di una rete GPS permanente, la Rete Integrata Nazionale GPS (RING), creata con l'obiettivo di dare un forte contributo scientifico ai temi sopra citati. La rete RING (Fig. 1a), nella sua completezza, rappresenta ad oggi non solo un punto di riferimento per studi di carattere scientifico ma anche una robusta infrastruttura tecnologica e informatica per l'archiviazione dei dati GPS per diverse altre reti locali e regionali (Regione Puglia, Regione Friuli, Leica Geosystems). Tali reti, con i loro dati contribuiscono quotidianamente a popolare il data server per un totale di più di 300 stazioni distribuite sul territorio nazionale (Fig. 1b).

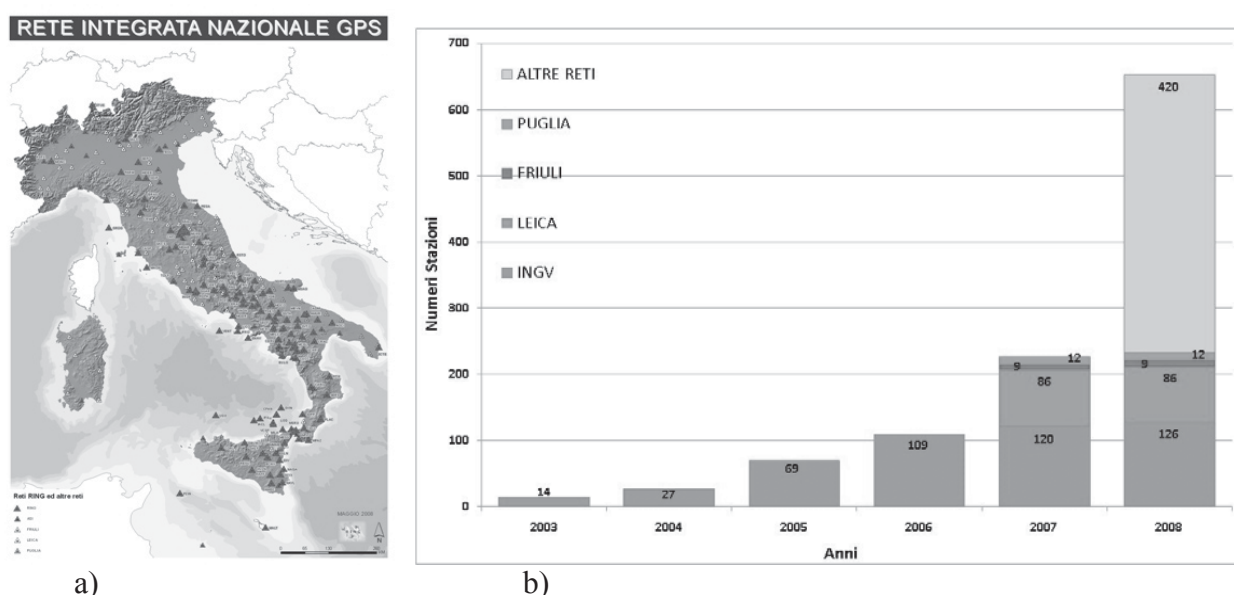


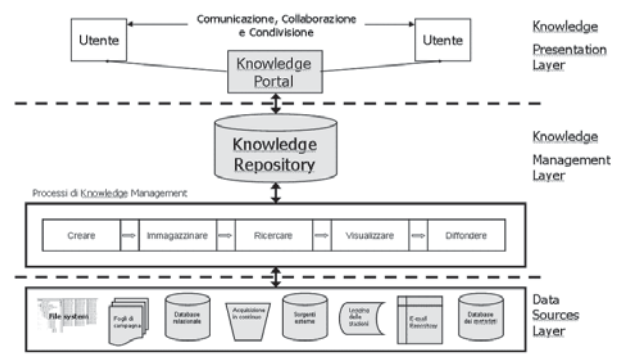
Fig. 1: a) mappa dell'attuale rete RING e b) crescita della rete RING (in blu, espressa in numero di stazioni per anno). Sono mostrati anche i contributi delle reti che utilizzano l'infrastruttura della RING (verde=Leica Geosystems, rosso=Puglia; viola=Friuli). In giallo, invece, nell'ultimo istogramma è rappresentato il numero di stazioni di altre reti (italiane e non), utilizzate nell'analisi dei dati.

Infrastruttura tecnologica della rete RING

La corretta ricezione di dati GPS viene monitorata tramite un software, GpsView, scritto e implementato da personale della sede INGV di Grottaminarda.

Il software, scritto in linguaggio Java, consente di monitorare in tempo reale la situazione delle stazioni GPS che utilizzano come vettore di trasmissione il sistema satellitare Nanometrics. Esso si

connette al sistema centrale di acquisizione e, per ciascun canale GPS, analizza i dati che vengono ricevuti, estraendo da essi informazioni utili (dati binari, tempo di arrivo dell'ultimo pacchetto, numero seriale degli strumenti, etc.). In base a queste informazioni GpsView mostra a video lo stato di ciascuna stazione (Fig. 2a).



a) b)

Fig. 2: a) Schermata di GpsView (verde = trasmissione OK; rosso = stop di trasmissione); b) Infrastruttura del Knowledge Management.

Al fine di accrescere e stimolare la collaborazione tra i differenti gruppi di lavoro, 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, il cui schema implementativo (Fig. 2b) è suddiviso in tre layers principali concernenti fondamentalmente: i dati, il software di gestione ed i servizi web. Tali 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. Di seguito proponiamo due esempi di grafici che testimoniano la qualità della rete RING: la continuità e la completezza del dato rinex. La continuità del dato rinex (Fig. 3a) viene qui rappresentata dall’andamento con il tempo del rapporto tra il numero di rinex effettivamente presenti nel database e quello teorico (Had Rnx/Expected Rnx). La RING dopo una prima fase (stazioni più vecchie) mediamente discreta, è riuscita a garantire una migliore e quasi ottimale continuità del dato, soprattutto grazie ad un miglioramento della trasmissione (uso del satellitare e di internet). Un altro parametro interessante è rappresentato dal “grado di completezza” dei vari rinex attualmente acquisiti e archiviati. Tale grado di completezza viene espresso dal rapporto $PERC = (Had/Expected)/(hours)$, dove Had, Expected e hours sono rispettivamente i parametri che si ottengono dal controllo di qualità di ogni singolo rinex con il software teqc. La rete RING è fortemente migliorata nel corso del tempo e il grafico (Fig. 3b) mostra che, dall’apertura della rete nel 2006, i dati rinex di tale rete sono disponibili con grado di completezza medio del 90%. Dal database è inoltre possibile monitorare lo stato delle stazioni attraverso la creazione della storia dei malfunzionamenti o dei problemi delle stazioni. Questi servizi sono stati progettati con l’intento di favorire sia lo scambio di dati, informazioni e conoscenze (know-how) all’interno della struttura che di creare un database centralizzato (*Bancadati*) per l’implementazione del Sistema Informativo Territoriale della RING (Cecere, 2007).

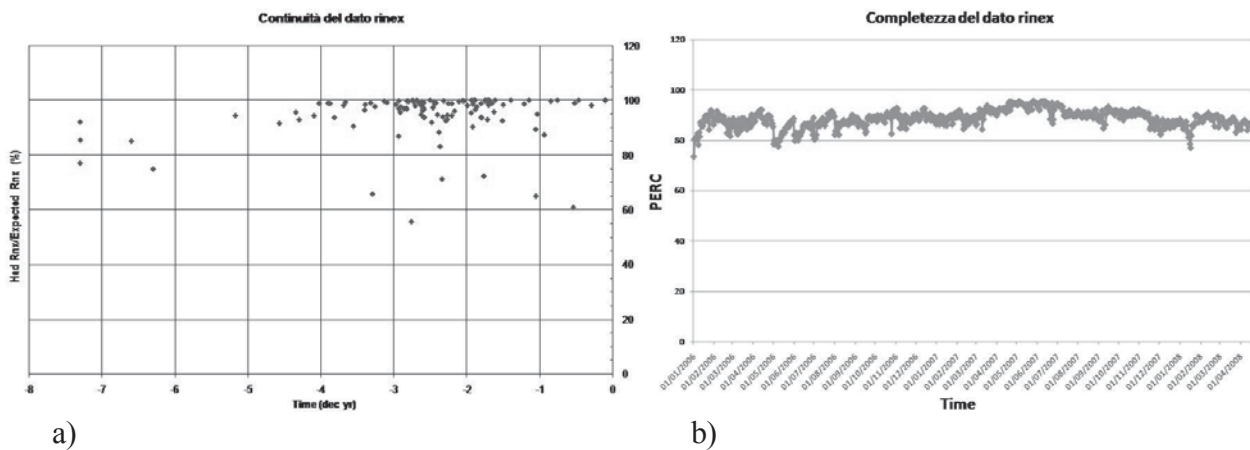


Fig. 3: Grafici concernenti rispettivamente la continuità (a) e il grado di completezza (b) del dato rinex acquisito per le stazioni della rete RING.

Il Sistema Informativo Territoriale della RING è stato sviluppato in modo da integrarsi il più possibile all'infrastruttura tecnologica di "Knowledge Management" finalizzata alla gestione e condivisione dei dati della RING (Fig. 4a). In particolare, lo scopo del SIT è stato quello di cercare di sintetizzare e visualizzare in un'interfaccia di tipo geografico le informazioni relative alle stazioni e ai siti della rete GPS, integrandole con dati territoriali come la cartografia topografica e la cartografia geotematica, ma anche con database geologici, sismologici e sismo-tettonici. Il SIT è stato realizzato in ambiente ESRI ARCGIS rel.9.x sfruttando il Geodatabase, un modello dati completo per i dati GIS che permette di accedere e lavorare con tutti i file e formati geografici. Fisicamente il geodatabase è dato da una collezione di dati archiviati in un file system o in un DBMS. I dati delle stazioni GPS della Rete RING presenti nel Geodatabase provengono direttamente dal RDBMS della RING residente su ORACLE XE rel.10g grazie ad una connessione di tipo OLE DB gestita in ambiente ESRI ArcCatalog: questo permette un aggiornamento in tempo reale di qualsiasi variazione sui dati relativi ai siti e alle stazioni della RING. Attraverso la piattaforma ArcGis Desktop questi dati vengono così integrati all'interno di viste geografiche (GIS DATA VIEW) con gli altri database territoriali. I dati così organizzati nelle Data View costituiscono la base di partenza per una serie di prodotti del Sistema Informativo Territoriale della RING come ad esempio la creazione di specifiche mappe tematiche o la produzione di file KML (Keyhole Markup Language) per Google Earth.

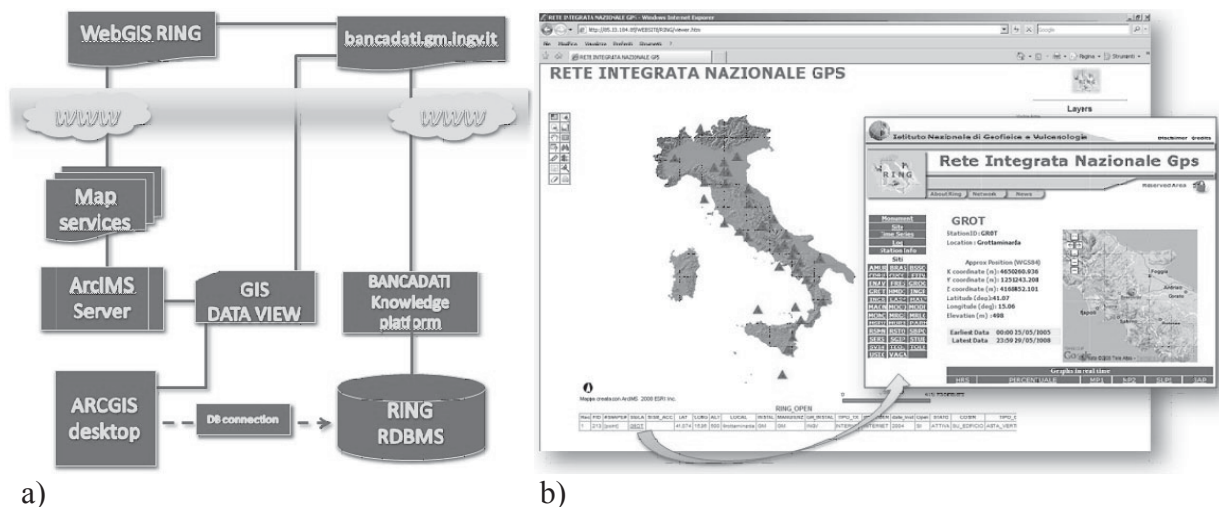


Fig. 4: a) Architettura del SIT della RING; b) Interfaccia WebGIS della RING con collegamento a <http://bancadati.gm.ingv.it>

La pubblicazione dei dati sul web avviene attraverso il WebGis della RING (Fig. 4b), un'interfaccia user-friendly sviluppata in HTML partendo dal client base di ArcIMS: all'interno sono visualizzabili tutti gli strati informativi presenti nel Geodatabase, opportunamente classificati e tematizzati. Le funzionalità sono quelle di base di ArcIMS, strumenti di navigazione territoriale, selezione, interrogazione per attributi e di tipo spaziale, analisi di prossimità (buffer) e di stampa. Inoltre, è stato implementato lo strumento per l'interrogazione (identify) del Layer delle stazioni della RING così da consentire di interrogare una stazione e collegarsi direttamente alla piattaforma <http://bancadati.gm.ingv.it> e ottenere in tempo reale informazioni sul sito, scaricare i file log, le schede della manutenzione ed anche i dati GPS.

Analisi dei dati e campo di velocità

L'analisi dei dati GPS acquisiti alle varie stazioni della RING viene effettuata con tre software scientifici con la tecnica del GPS differenziale: il Bernese (Beutler et al., 2007), il GAMIT (King, Bock, 2007) e il Gipsy/Oasis (Zumberge et al., 1997, Blewitt, 2006). I dati di tutte le stazioni vengono analizzati simultaneamente rispetto alla posizione dei satelliti (soluzione di rete) in modo da ottenere, per ogni punto, coordinate con una precisione dell'ordine di 1-2 mm/anno sulla componente orizzontale e di circa 5-6 mm/anno sulla componente verticale. Le Fig. 5a e Fig. 5b mostrano due esempi di serie temporale di alcuni siti della rete RING. Dalle figure, si nota lo standard di qualità, nella continuità del dato e nella poca dispersione dei punti delle diverse soluzioni giornaliere, verso cui la rete RING tende in modo da rispondere a quegli obiettivi scientifici sopra descritti con la migliore precisione possibile. Il campo di velocità risultante viene espresso rispetto ad un sistema di riferimento per eliminare il trend regionale legato alla velocità della placca. Il sistema di riferimento utilizzato in questo caso è detto "Europa stabile" ed è ottenuto minimizzando i valori di velocità di un significativo numero di stazioni site sulla placca euroasiatica. La Fig. 5c mostra la velocità dei siti della RING rispetto a tale sistema di riferimento. Tale campo di velocità mette in evidenza i principali regimi di deformazione presenti nelle varie aree sismo-genetiche, dallo Stretto di Messina all'Appennino Meridionale, dall'Appennino Centro-Settentrionale alle Alpi.

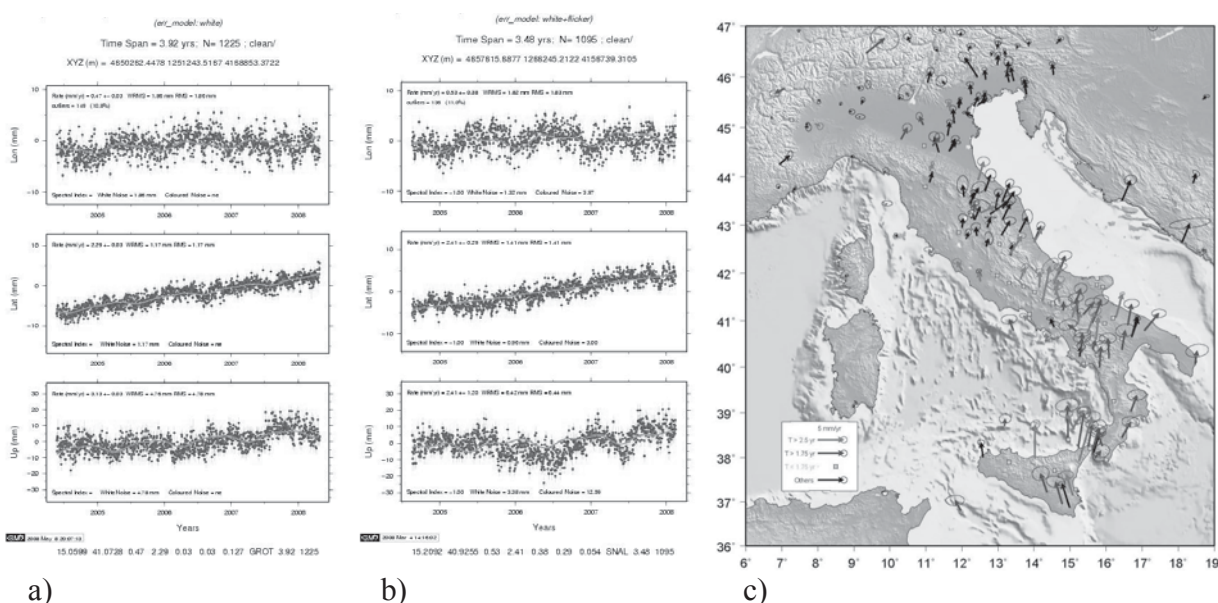


Fig. 5: a) e b) Esempi di serie temporali di due stazioni RING (GROT e SNAL); c) Campo di velocità ottenuto dall'analisi dei dati.

I valori di velocità mostrano una netta estensione esistente lungo tutta la catena appenninica quantificabile in circa 2-3 mm/anno. I vettori sul versante adriatico della catena, da nord a sud,

mettono in evidenza una rotazione in senso antiorario di questo blocco apparentemente rigido con perno nella zona occidentale della pianura padana. Sul versante tirrenico, invece, traspare la rotazione oraria, nello stesso sistema di riferimento, della zona della piana campana. Le velocità relative (rispetto alle loro incertezze) tra le poche stazioni in Calabria e quelle nelle zone di avampaese (sui monti Iblei, in Sicilia, e in Puglia), così come quelle tra la Puglia e l'Italia centro-settentrionale ed in Friuli sembrano già essere sufficientemente definite per poter trattare alcuni dei temi scientifici che la rete RING si prefiggeva. Sicuramente, tra un paio di anni, la continua acquisizione di tali dati, congiuntamente a quelli provenienti da altre stazioni GPS permanenti più giovani, e la loro sistematica elaborazione permetteranno di avere un dettaglio del campo di deformazione ancora maggiore e di poter cominciare a studiare le singole strutture sismo-genetiche per capire come la deformazione sulle tali singole strutture venga accumulata.

Bibliografia

- 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.
- Beutler et al. (2007), Bernese GPS Software, edited by Dach, R., U., Hugentobler, P., Fridez, M., Meindl, Astronomical Institute, University of Bern, January 2007.
- Blewitt, G., 2006, . The fixed point theorem of ambiguity resolution for precise point positioning of GPS networks: Theory and applications, *Eos Trans. AGU*, *87(52)*, Fall Meet. Suppl., Abstract G43A-0977.
- Cecere, G., (2007), La piattaforma tecnologica di gestione dati e informazioni della Rete Integrata Nazionale GPS (RING), Rapporto Tecnico INGV, n. 52, 2007, 29 pp
- 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.
- King, R. W., Bock Y. (2007) Documentation for the GAMIT Analysis Software, Release 10.01, Mass. Inst. of Technology, Cambridge, MS.
- 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.
- Selvaggi, G., Mattia M., Avallone A., D'Agostino N., Anzidei M., Cantarero M., Cardinale V., Castagnozzi A., Casula G., Cecere G., Cogliano R., Criscuoli F., D'Ambrosio C., D'Anastasio E., DE Martino P., DEL Mese S., Devoti R., Falco L., Galvani A., Giovani L., Hunstad I., Massucci A., Minichiello F., Memmolo A., Migliari F., Moschillo R., Obrizzo F., Pietrantonio G., Pignone M., Pulvirenti M., Rossi M., Riguzzi F., Serpelloni E., Tammaro U. & Zarrilli L. (2006), La Rete Integrata Nazionale GPS (RING) dell'INGV: un'infrastruttura aperta per la ricerca scientifica, *X Conferenza ASITA, Bolzano, Atti Vol. II*, 1749-1754.
- 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.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H., 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks: *Journal Geophysical Research*, v. 102(B3), p. 5005-5018.