



ISSN 1590-2595

quaderni di geofisica

n. 54

LA RETE GEODETICA GPS DELL'APPENNINO CENTRALE CA-GeoNet

Marco Anzidei et alii

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

2008

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano (responsabile)

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

quaderni
di
geofisica



LA RETE GEODETICA GPS DELL'APPENNINO CENTRALE CA-GeoNet

Marco Anzidei¹, Paolo Baldi², Arianna Pesci³, Sergio Del Mese¹, Alessandra Esposito¹,
Alessandro Galvani¹, Fabiana Loddo³, Angelo Massucci¹, Paolo Cristoforetti¹

¹Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

²Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

³Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

Indice

Abstract	7
Riassunto	7
1. Inquadramento geologico strutturale	8
1.1 Settore umbro marchigiano	9
1.2 Settore laziale abruzzese	9
1.3 Avanfossa marchigiana	9
2. Sismicità	9
2.1 Sismicità storica	11
3. Descrizione della rete geodetica	12
4. Il GIS della CA-GeoNet (GeoNetGIS)	16
5. Campagne GPS dal 1999 al 2003	16
6. Analisi dati GPS e campo di deformazione	17
7. Discussione e conclusioni	20
Ringraziamenti	21
Bibliografia	21
Appendice 1 – Tabelle	25
Appendice 2 – Monografie	41

Abstract

The rate of the current crustal deformation of active seismic regions, can be estimated through the measurement of tailor made GPS geodetic networks. Data can provide new estimations of the geodetic deformation both at regional and sub regional scale as well as of the single geological structures. Results are used for scientific and Civil Protection applications and for the modelling of the seismic source in case of significant earthquake occurrence. Since 1999 the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), in the frame of the project *Application of space techniques for the estimation of the crustal deformation and the seismic risk of the central-southern Apennines*, funded by the Agenzia Spaziale Italiana (ASI), has planned, set up and repeatedly surveyed the Central Apennines Geodetic Network (CA-GeoNet). The goal is to have a useful tool for the estimation of the crustal deformation which occurs during the seismic cycle (pre, co and post seismic), in an area such as the central Apennines (Italy), which is subjected to active tectonics.

The Central Apennine Geodetic Network (CA-GeoNet), extends across Umbria, Abruzzo, Marche and Lazio regions, in an area of ~180x130 km, from Tyrrhenian to the Adriatic coasts. It consists in 125 GPS stations distributed at 3-5 km average grid and includes 7 permanent GPS stations operated by the Italian Space Agency (ASI) and the Istituto Nazionale di Geofisica and Vulcanologia (INGV). With the aim to estimate the active strain rate across this part of the chain, the GPS sites have been located on the main geological units of the area and across the typical basin and range structures, related with the main seismogenic faults.

Here we show the network and the first results obtained for a subset of 23 stations that have been occupied at least during three repeated campaigns, in the time span 1999-2003. Data analysis, performed by Bernese 4.2 software, shows an extensional rate normal to the chain, in agreement with geological and seismic data. The strain rates in the inner chain are ranging from $12 \times 10^{-9} \pm 11 \text{ yr}^{-1}$ to $16 \times 10^{-9} \pm 11 \text{ yr}^{-1}$ and from $-14 \times 10^{-9} \pm 11 \text{ yr}^{-1}$ to $-3 \times 10^{-9} \pm 11 \text{ yr}^{-1}$. This result provides an improved estimation of the ongoing deformation of this area with respect to previous studies and is in agreement with the style of deformation inferred from seismicity and with the features of the main seismogenic sources from recent geological and seismological investigations.

Riassunto

L'utilizzo di reti geodetiche GPS distribuite sul territorio con un alta densità di stazioni di osservazione, costituisce un mezzo efficiente per la misura delle deformazioni crostali di aree tettoniche attive per scopi scientifici e di Protezione Civile. I dati provenienti da queste reti forniscono stime delle deformazioni geodetiche a scala sub-regionale e delle singole strutture geologiche, utilizzabili anche per la modellazione delle sorgenti sismogenetiche in caso di evento sismico. Dal 1999 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), nell'ambito del progetto *Applicazione delle tecniche spaziali per la valutazione del campo di deformazione crostale e della pericolosità sismica dell'Appennino centro meridionale*, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ha progettato, realizzato e misurato la rete geodetica GPS denominata *Central Apennine Geodetic Network (CA-GeoNet)*. La finalità di questa rete è di disporre di uno strumento utile per la stima delle deformazioni che si verificano durante un ciclo sismico (pre, co e post cosismiche), per un area come l'Appennino centrale, caratterizzata da tettonica attiva.

La rete GPS è costituita da 131 stazioni, tutte inquadrare nello stesso sistema di riferimento, distribuite in un area di circa 130 Km x 180 Km, che si estende dall'Umbria all'Abruzzo meridionale e dal margine tirrenico a quello adriatico. In particolare 124 sono stazioni di tipo non permanente e 7 di tipo permanente. Di queste ultime, 4 sono afferenti alla rete dell'INGV e 3 alla rete dell'ASI. Le ubicazioni dei vertici della rete sono state individuate dopo un approfondito studio geologico dell'area, con particolare attenzione ai differenti domini tettonico-strutturali presenti. Per ottenere dati geodetici di elevata qualità, rappresentativi degli effettivi movimenti tettonici dell'area, la monumentazione dei siti è stata effettuata prevalentemente su affioramenti rocciosi, sui quali sono stati ancorati i vertici geodetici del tipo 3-D. Questi ultimi consentono le migliori accuratèzze ottenibili nella installazione delle antenne GPS durante le periodiche campagne di misura.

In questo lavoro viene descritta la rete CA-GeoNet, completa delle schede monografiche delle stazioni, evidenziando i rapporti con le strutture geologiche, strutturali e sismogenetiche presenti nell'area in studio. Vengono anche mostrati e discussi i risultati relativi alle prime campagne di misura effettuate nel periodo 1999-2003, analizzati mediante il software Bernese v.4.2. L'analisi del campo di deformazione ha

fornito valori che variano da $12 \times 10^{-9} \pm 11 \text{yr}^{-1}$ a $16 \times 10^{-9} \pm 11 \text{yr}^{-1}$ e da $-14 \times 10^{-9} \pm 11 \text{yr}^{-1}$ a $-3 \times 10^{-9} \pm 11 \text{yr}^{-1}$, rispettivamente con direzione normale e parallela alla catena, indicando che l'area è sottoposta ad una deformazione attiva caratterizzata da una estensione NE-SW.

1. Inquadramento geologico strutturale

L'attuale struttura della catena Appenninica è il risultato di un processo iniziato alla fine del Mesozoico e tuttora in atto che ha portato allo sviluppo di un sistema dinamico catena-avanfossa-avampaese, caratterizzato dalla sovrapposizione di differenti domini paleogeografici meso-cenozoici [Parotto e Pratlurion, 1975] e dalla formazione di imponenti depositi sinorogenici neogenici che scandiscono la migrazione del sistema orogenico verso NE [Bigi et al., 1990; Calamita et al., 1999] (Fig.1). In particolare, per quanto riguarda l'Appennino centrale, sono state individuate diverse fasi tettoniche a partire dal Miocene. Le unità del dominio umbro - marchigiano sono piegate ed accavallate su quelle del dominio di

piattaforma carbonatica laziale-abruzzese. Queste a loro volta sono sovrapposte a quelle marchigiane-abruzzesi, costituendo nell'insieme un complesso edificio a *thrust* definito da una direzione strutturale prevalente NW-SE e da importanti sistemi con direzione N-S a carattere trascorrente destro e WNW-ESE con carattere trascorrente sinistro [Alfonsi et al., 1991; Montone e Salvini, 1993; Mattei et al. 1995]. Questi *trend* strutturali sono in accordo con i dati geofisici, in particolare sismologici e paleomagnetici emersi dagli studi di differenti settori della catena appenninica [Speranza et al., 1997; Mattei et al., 1995].

Dal Pliocene superiore - Pleistocene inferiore la catena Appenninica è stata sottoposta ad una fase tettonica estensionale che ha determinato la formazione di faglie normali con direzione NW-SE e la riattivazione, con caratteri normali o transtensivi, di antiche discontinuità mio-pleioceniche [Bigi et al., 1995; Calamita et al., 1999]. L'insieme di queste faglie normali Plio-Quaternarie è responsabile della formazione delle numerose piane intramontane caratterizzate anche da notevoli spessori di sedimenti continentali. Queste aree rivestono una notevole

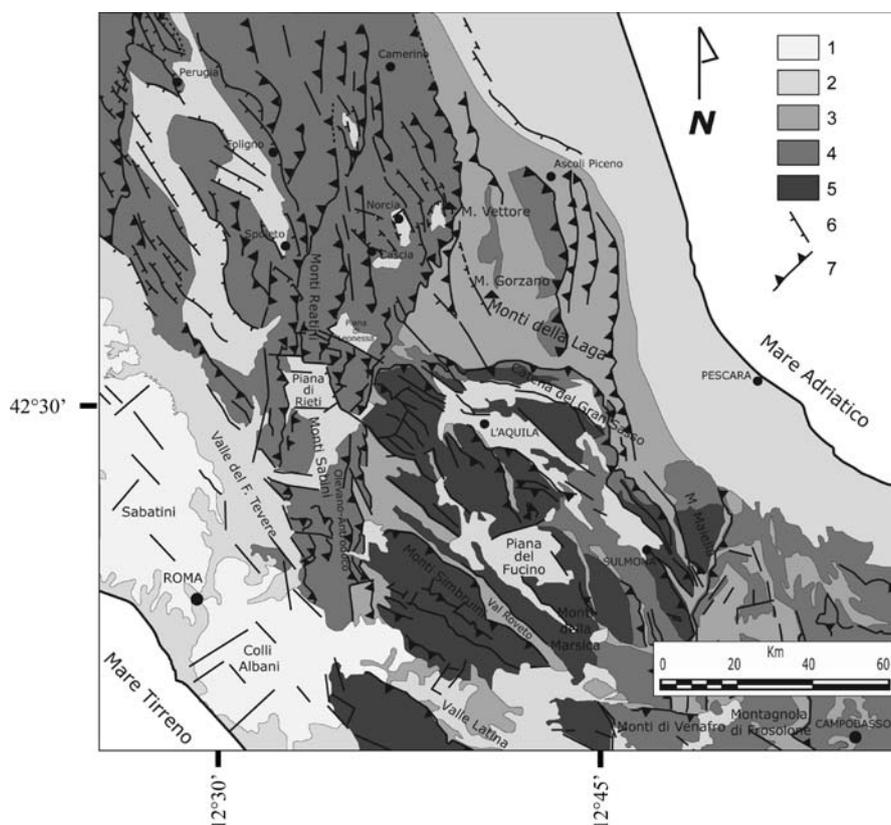


Figura 1 Schema geologico strutturale dell'Appennino centrale. Modificato da [Mazzoli et al., 1997; Cello et al. 1997].

Figure 1 Geological and structural Sketch of the Central Apennines. Modified from [Cello et al., 1997; Mazzoli et al., 1997].

importanza nello studio della tettonica quaternaria poiché i principali terremoti e indizi di tettonica attuale sono stati individuati in corrispondenza di queste zone [Basili et al., 1997, 1999; Blumetti et al., 1993, 1996; Bosi et al., 1975; Lavecchia et al., 1994; Cello et al., 1997; Calamita et al., 1999; Barchi et al., 2000; Galadini e Galli, 2000; Galadini e Messina, 1993; Pantosti et al., 1996; Valensise e Pantosti, 2001].

1.1. Settore umbro marchigiano

La successione sedimentaria meso-cenozoica affiorante nell'Appennino umbro-marchigiano è costituita da litotipi calcareo-silico-marnosi in facies di bacino pelagico. A questi si intercalano, nell'area umbro-sabina, apporti detritici carbonatici in volumi di entità variabile, provenienti dalla piattaforma carbonatica laziale-abruzzese.

L'assetto strutturale di questa porzione dell'Appennino centrale è caratterizzato da pieghe parallele e sovrascorrimenti neogenici con vergenza nord orientale. L'asse delle strutture appenniniche ha direzione da NW-SE nel settore più settentrionale e NNE-SSW in quello meridionale, avvicinandosi all'Appennino laziale abruzzese. Le faglie quaternarie, organizzate in "fasce" individuano blocchi ribassati verso SW [Calamita et al., 1999]. In particolare lungo l'allineamento San Sepolcro-Gubbio-M.Vettore-L'Aquila si sviluppa un complesso sistema di faglie associate a piccole depressioni poligonali con sedimentazione continentale [Lavecchia et al., 1994]. Le strutture tettoniche quaternarie così individuate sono, procedendo da NNW verso SSE, le seguenti: (Fig.2) [Calamita et al., 1994]: Colfiorito, che include i bacini di Colfiorito e Sellano, Norcia, Cascia, Casteluccio-M. Vettore, Leonessa e Rieti [Barchi et al., 2000, Cello et al., 1997].

1.2 Settore laziale abruzzese

L'Appennino Centrale laziale-abruzzese è costituito da potenti successioni meso-cenozoiche quasi esclusivamente carbonatiche sia in facies di piattaforma che di transizione, sovrascorse lungo piani orientati NW-SE [Accordi e Carbone, 1988] ed E-W, con direzione di trasporto verso NE e verso Nord sulle unità torbiditiche silicoclastiche [Ghisetti e Vezzani, 1990]. La fase tettonica quaternaria ha generato anche in questo settore strutture estensionali che tagliano o si raccordano ai preesistenti piani di accavallamento, con rigetti riconducibili a componenti normali e trascorrenti [Ghisetti e Vezzani, 1996].

Le strutture tettoniche quaternarie consi-

derate attive [Barchi et al., 2000; Valensise e Pantosti, 2001; Galadini e Galli, 2000, Piccardi et al., 1999], procedendo da nord verso sud sono le seguenti: Alta Valle del Fiume Aterno (che include la Conca L'Aquila-Scoppito e Capitignano - Monterale), Campo Felice-Ovindoli Pezza (piano di Campo Felice, piano di Pezza, piana di Campoli), Campo Imperatore-Assergi, Media Valle dell'Aterno (Fossa-San Demetrio, Conca di Navelli, Conca Subequana, Conca del Tirino), Valle del Salto (piana di Corvaro), Fucino, Aremogna-Cinquemiglia-Pizzalto, Vallelonga, Tagliacozzo-Val Roveto.

1.3 Avanfossa marchigiana

Il settore esterno della catena appenninica, definito come zona di "avanfossa", è rappresentato dalla porzione meridionale dei Monti della Laga, compresa tra il fronte compressivo dei Monti Sibillini, ad Ovest, e la catena del Gran Sasso a Sud [Lavecchia et al., 1994]. Vi affiorano unità torbiditiche silicoclastiche messiniane riconducibili alle unità tettoniche del Gran Sasso-Cittareale-Accumoli e Acquasanta-Montagna dei Fiori-Montagnone [Bigi et al., 1990]. L'assetto geologico-strutturale relativo alla tettonica quaternaria evidenzia la presenza di un sistema di faglie ad alto angolo con direzione media NW-SE, parallele tra loro, che determinano un assetto a gradini ribassati verso SW. La struttura tettonica Laga-Campotosto-Gorzano [Barchi et al., 2000; Valensise e Pantosti, 2001; Galadini e Galli, 2000] individua ed include le Conche quaternarie di Amatrice e Campotosto.

2. Sismicità

La distribuzione spaziale dei terremoti crostali e sub-crostaali nell'Appennino centrale individua tre fasce sismogenetiche principali ad andamento appenninico [Amato e Selvaggi, 1992]. La prima, posta lungo il margine tirrenico, mostra terremoti superficiali (<7 km); la seconda, corrispondente alla catena, è caratterizzata dalla massima sismicità, movimenti di tipo estensivo ed ipocentri compresi tra 5 e 15 km di profondità, la terza fascia, che borda la regione adriatica è la meno attiva e mostra meccanismi focali compressivi e trascorrenti.

Il maggiore rilascio di energia sismica si concentra nella fascia centrale, caratterizzata da andamento NNW-SSE e larghezza compresa tra 50 e 60 km. Sebbene la sismicità dell'area sia generalmente compresa entro i primi 15 km di profondità, il settore umbro-marchigiano, posto

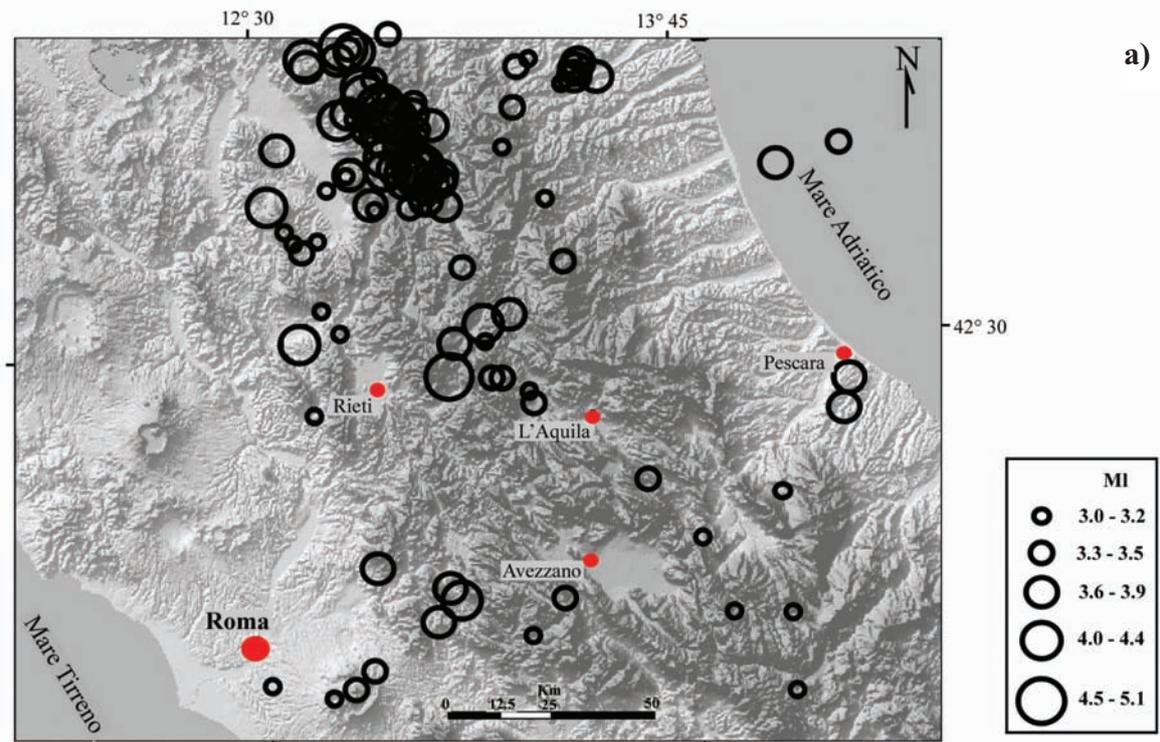


Figura 2a Sismicità strumentale nel periodo 1986-2003 (Magnitudo MI>3.0 dal Bollettino Sismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Figure 2a Instrumental seismicity during the time span 1986-2003 (Magnitude MI>3.0 from the INGV seismic Bulletin).

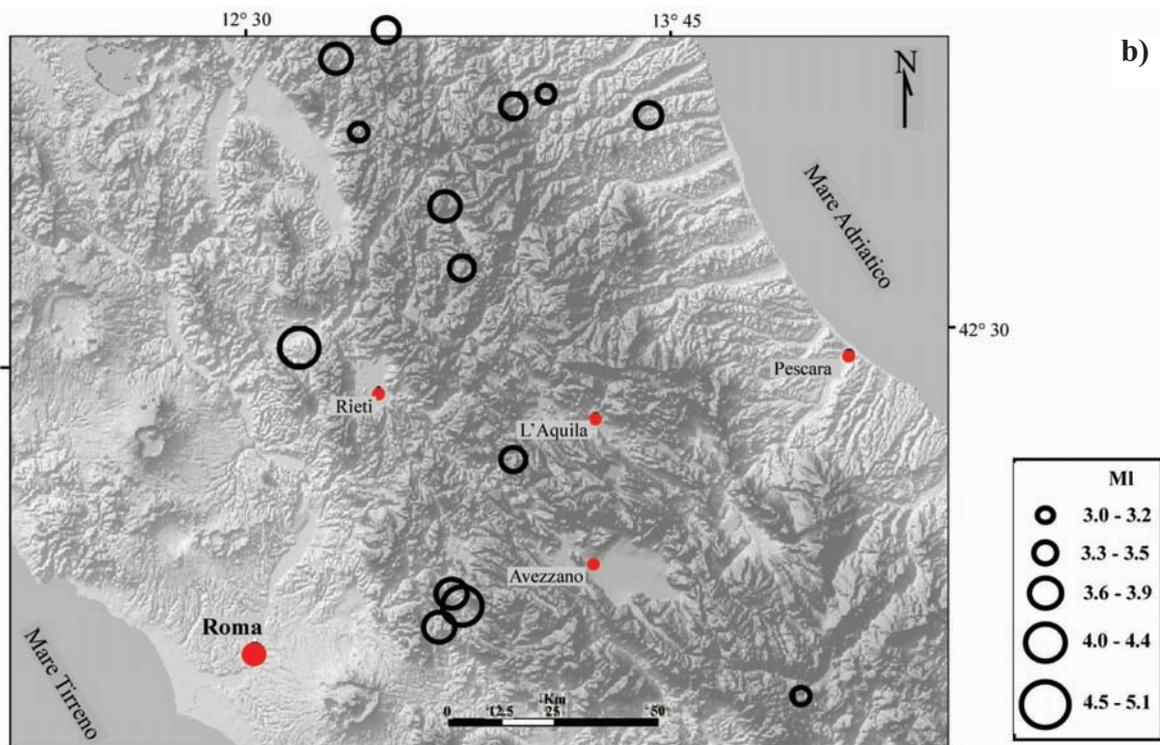


Figure 2b Sismicità strumentale nel periodo 1999-2003 (Magnitudo MI>3.0 dal Bollettino Sismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Figure 2b Instrumental seismicity during the time span 1999-2003 (Magnitude MI>3.0 from the INGV seismic Bulletin).

al margine settentrionale dell'area in studio, mostra terremoti con ipocentri fino a 90 km. Questi eventi sub-crostaletti rappresentano un'ulteriore conferma sull'ipotesi della subduzione della litosfera adriatica al di sotto dell'Italia peninsulare, come anche evidenziato da studi di tomografia sismica. Tuttavia la loro assenza nell'Appennino centrale non consente di estrapolare questa ipotesi all'intera catena [Amato et al., 1993; Spakman, 1990].

La sismicità nel periodo 1986-2002 (Fig.2a,b), si concentra lungo un'ampia fascia ad andamento NW-SE, in corrispondenza dell'Appennino centrale. E' interessante come questa segua un importante lineamento strutturale, noto in letteratura come "linea di Olevano-Antrodoco" [Salvini & Vittori, 1982]. Questo elemento definisce i limiti tra le strutture tettoniche regionali dell'arco umbro-marchigiano-sabino a ovest e del Gran Sasso, a est (Fig.1).

Le soluzioni dei meccanismi focali dei maggiori terremoti del periodo 1939-1980 [Gasparini et al., 1985] e le recenti sequenze sismiche di Norcia 1979 [Deschamps et al., 1984], del Lazio-Abruzzo 1984 [Westaway et al., 1989] e di Colfiorito 1997 [Amato et al., 1998], mettono in evidenza l'esistenza di un'attività tettonica di tipo estensivo. Questo tipo di regime è anche osservabile dalle soluzioni focali di piccoli eventi che, nonostante la loro eterogeneità, presentano assi T generalmente orientati in direzione antiappenninica [Frepoli & Amato, 1997; Montone et al., 1997].

In figura 2b è riportata la sismicità strumentale avvenuta nel periodo 1999-2003. Questa è stata caratterizzata da pochi eventi di bassa energia, avvenuti in parte all'esterno dell'area compresa dalla rete CA-GeoNet.

2.1 Sismicità storica

La sismicità dell'Appennino centrale è nota sin dall'epoca romana e le cronache riportano spesso notizie di eventi sismici risentiti a Roma e frequentemente interpretati come eventi locali. L'analisi della sismicità storica all'interno dell'area in esame (Fig.3) mostra intensità massime dell'XI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), equivalenti a magnitudo macrosismiche fino a 7.1 [Postpischil, 1985; Westaway, 1992, Boschi et al.,1999]. Si deve tuttavia tenere presente che i cataloghi sismici possono considerarsi completi per intensità superiore al VII-VIII grado MCS solo a partire dalla seconda metà del XVII secolo mentre, per i terremoti più antichi, non forniscono una rappresentazione esaustiva della sismicità [Boschi et al., 1995, Boschi et al.,1999].

Westaway [1992], confrontando il tasso di momento sismico dei terremoti storici dell'Appennino prima e dopo l'anno 1650, osserva che prima di questa data il valore è inferiore a quello calcolato per il periodo successivo, il che è indicativo della probabile mancanza di alcuni terremoti forti prima del 1650. A questo proposito diviene importante ricordare gli eventi sismici avvenuti prima dell'anno 1000 [Boschi et al, 1995], sebbene questi siano ancora oggi di incerta localizzazione ed intensità. Nella Tabella 1, riportata in appendice, sono elencati gli eventi sismici più rilevanti che hanno interessato l'area in studio dal 174 a.C. al presente.

L'importante sequenza sismica del 1703, che è ancora dibattuta nella sua evoluzione spaziale e temporale, causò distruzioni rilevanti in una vasta area di catena compresa tra Norcia e L'Aquila e fu caratterizzata da una migrazione verso sud dei principali eventi [Boschi et al., 1995; Boschi et al., 1999]. Questa comprende tre terremoti principali: il primo si verificò il 14 gennaio nel settore nord dell'area (tra Norcia, Cascia ed Amatrice), con una intensità massima del XI grado MCS; il secondo, del 16 gennaio, ebbe una intensità massima del VIII grado MCS con epicentro a sud del precedente (Roio di Piano, presso L'Aquila); il terzo evento, localizzato poco a NW di L'Aquila, avvenne il 2 febbraio ed ebbe una intensità massima del X grado MCS [Boschi et al., 1995]. La stessa area colpita dall'evento del 14 Gennaio 1703 venne nuovamente interessata da un terremoto di intensità IX grado MCS nel 1730. Dalla figura 3 si può osservare come le aree epicentrali dei forti terremoti storici tendano a concentrarsi lungo la porzione topograficamente più elevata della catena in coincidenza con la fascia di maggiore sismicità di fondo.

Dopo questi eventi, le aree del Reatino e dell'Aquilano non sono state più interessate da terremoti rilevanti nel periodo 1786 - 1898 (Tabella 1). È solo nel 1915 che la Marsica e la Piana del Fucino vennero colpite da un forte terremoto di intensità dell'XI grado MCS, localizzato a sud-est rispetto all'evento del 1904, presso la città di Avezzano. In epoca più recente, gli ultimi eventi rilevanti avvenuti nell'area in esame sono quello del 1961 nella Valle del Velino (VIII grado MCS) ed il terremoto di Norcia del 1979. Quest'ultimo, di magnitudo $M_s = 5.9$ ed intensità massima dell'VIII-IX grado MCS, fu caratterizzato da una profondità ipocentrale di 6-8 km [Deschamps et al., 1984], colpendo una piccola area a sud di Norcia.

Da una osservazione generale sulla distri-

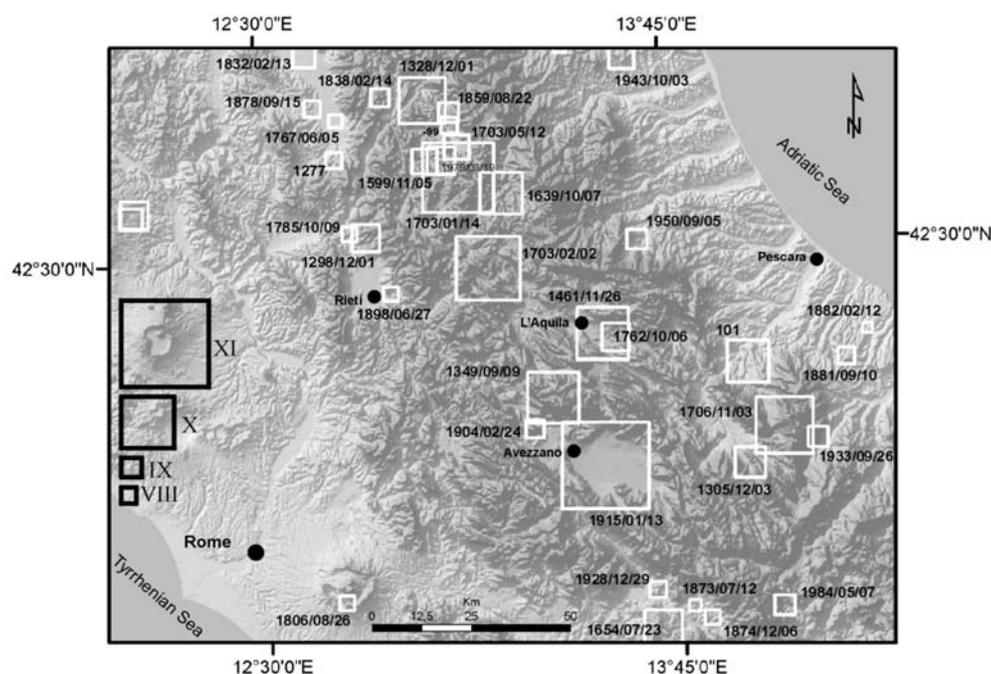


Figura 3 Sismicità storica dell'Appennino centrale dal 179 a.C. al 1979 per Intensità > VIII MCS o Magnitudo macrosismica > 5.1 [da Boschi et al., 1995; Boschi et al., 1999]. I quadrati bianchi sono gli epicentri macrosismici. I quadrati neri a sinistra in figura indicano la scala di intensità.

Figure 3 Historical seismicity (white squares) of the central Apennines from 179 b.c. to 1979 and \geq VIII MCS [from Boschi et al., 1995, 1998, 1999]. Scale at the left side of the figure.

buzione dei forti terremoti storici si deduce che l'area reatina, pur evidenziando alcuni eventi di intensità medio-alta, sembra essere soggetta ad un'attività minore rispetto a quella di altre aree dell'Appennino centrale, come la piana dell'Aquila e la Piana del Fucino. Ciò può derivare dalla incompletezza dei cataloghi sismici (carenza di informazioni storiche), oppure da eventi che abbiano periodi di ritorno più lunghi del periodo di osservazione contenuto nel catalogo.

3. Descrizione della rete geodetica

Questa porzione dell'Appennino centrale, ben studiata dal punto di vista geologico, strutturale e sismologico, non era stata però sino ad ora oggetto di studi geodetici di dettaglio mediante dense reti GPS appositamente realizzate per scopi geofisici.

La rete geodetica GPS nazionale, realizzata dall'Istituto Geografico Militare nell'ambito del progetto IGM95 [Surace, 1993; 1997], è stata in passato preziosa per studiare le deformazioni cosismiche dei terremoti di Colfiorito del 1997 [Hustad et al., 1998; Anzidei et al., 1999; Stramondo et al., 1999; Salvi et al., 2000]

o per fornire primi dati sull'andamento delle deformazioni della catena appenninica [D'Agostino et al., 2001], non è ritenuta sufficiente per essere utilizzata efficacemente in applicazioni geofisiche, essendo stata progettata per finalità topografiche e cartografiche. La rete GPS CA-GeoNet, si propone quindi di assolvere ai requisiti richiesti per lo studio delle deformazioni crostali regionali e cosismiche di questa specifica area mediante una omogenea distribuzione dei vertici con maglia <5 km. Questa necessità è stata messa in chiara evidenza in occasione del terremoto di Sellano del 14 ottobre 1997 e, più recentemente, anche nel caso dei terremoti del Molise dell'ottobre-novembre 2002 [Giuliani et al., 2003]. Per questi motivi, tra il 1999 e il 2001 è stata realizzata la CA-GeoNet che consiste di 124 stazioni non permanenti e di 7 permanenti. Di queste ultime, 4 sono afferenti alla rete dell'INGV (INGP, VVLO, RSTO, INGR) e 3 alla rete dell'ASI (CAME, PERU e AQU), per un totale di 131 stazioni distribuite in un'area che si estende tra Umbria, Marche, Lazio ed Abruzzo (Fig.4).

Le stazioni non permanenti di SFRA, ROIO, STAB, ARAG, SCIN e ROFA sono afferenti alla Rete Geodimetrica locale dell'Aquilano del Servizio Sismico Nazionale

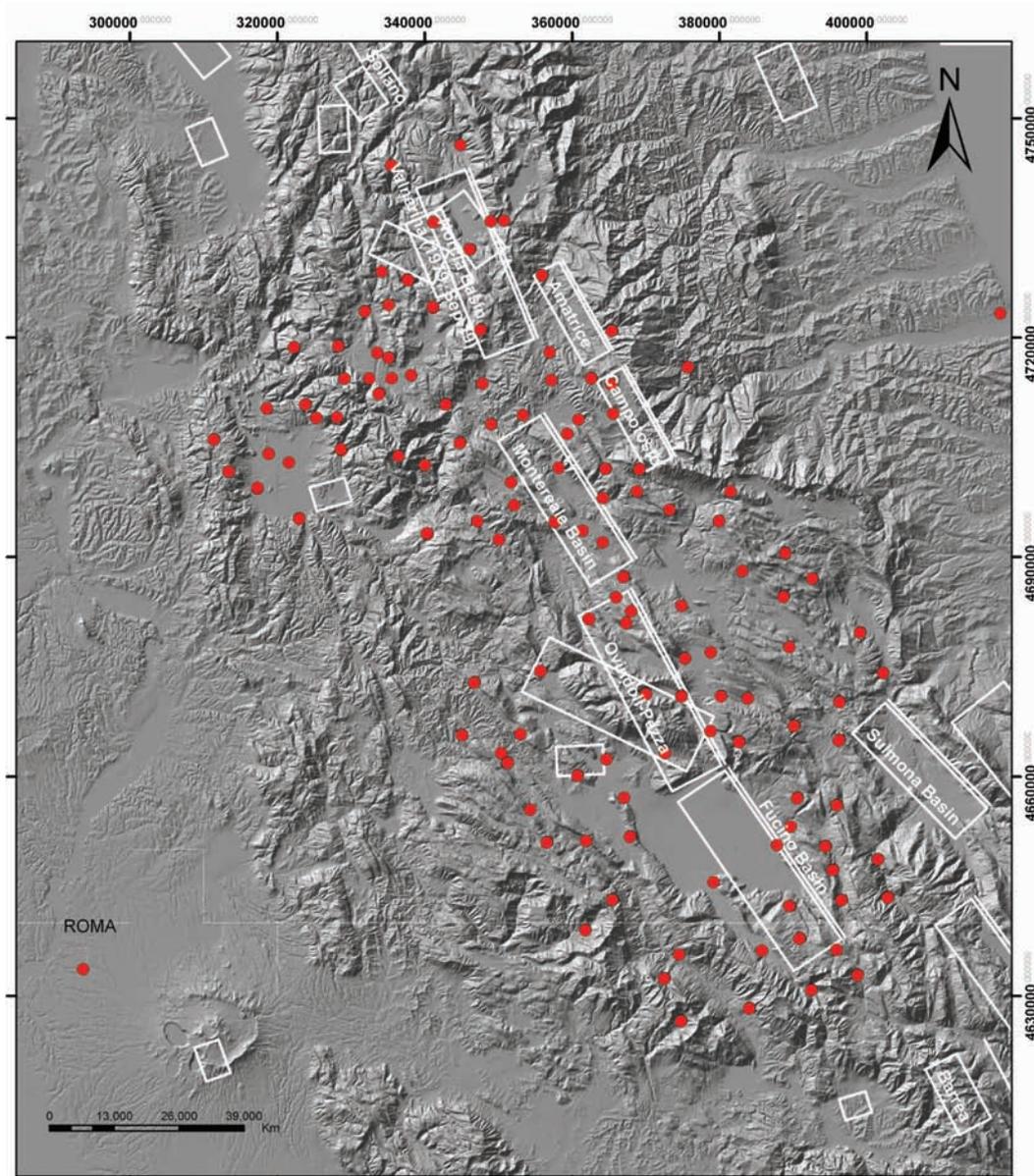


Figura 4 Distribuzione delle stazioni GPS in rapporto alle sorgenti sismogenetiche riportate in DISS [Valensise e Pantosti, 2001].

Figure 4 Distribution of the GPS stations with respect to the seismogenic sources reported in DISS [Valensise and Pantosti, 2001].

[Anzidei et al., 1990]. Le stazioni sono state distribuite dal margine tirrenico a quello adriatico della penisola, definendo nel complesso un'area di circa 130Km x 180 Km. In particolare, le stazioni permanenti INGR, VVLO, RSTO e AQU1, sono collocate lungo un profilo orientato circa est-ovest attraverso la catena appenninica.

Le stazioni GPS non permanenti sono distribuite secondo una maglia con passo medio di 3-5 Km in corrispondenza delle principali aree sismogenetiche che hanno influenzato l'evoluzione morfologica e strutturale di questo

settore della catena (Fig.4). Le stazioni sono state ubicate prevalentemente in corrispondenza delle strutture quaternarie riconosciute attive [Barchi et al., 2000, Galadini e Galli, 2000; Valensise e Pantosti, 2001], le quali separano o suddividono le unità strutturali meso-cenozoiche dell'Appennino Centrale. Ogni area individuata è formata da un sistema tettonico e sismologico complesso costituito da piani di faglia, bacini intramontani ed aree sismogenetiche (Fig.5; Tab.2 in Appendice).

La realizzazione delle stazioni GPS è

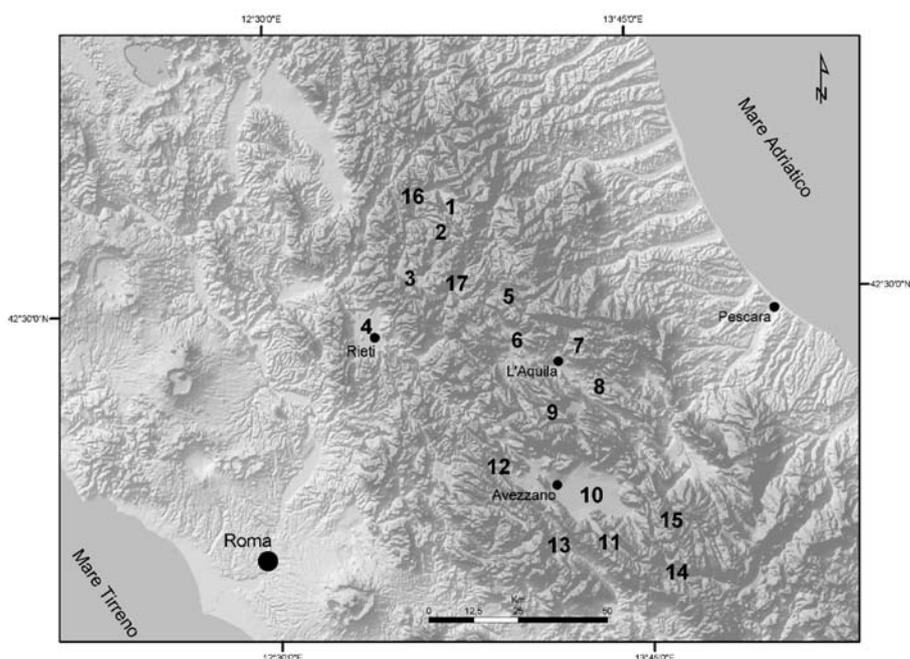


Figura 5 Distribuzione delle principali strutture intramontane di interesse sismico e tettonico monitorate dalla rete GPS nell'area in studio: 1) Norcia, 2) Cascia 3) Leonessa 4) Rieti 5) Laga–Campotosto–Gorzano 6) alta Valle dell'Aterno 7) Campo Imperatore-Assergi, 8) media Valle dell'Aterno 9) Campo Felice–Ovindoli–Pezza 10) Fucino 11) Vallelonga 12) Valle del Salto–Corvaro–Val di Varri 13) Tagliacozzo–Val Roveto 14) Monte Marsicano-Valle del Sangro–Barrea 15) Valle del Sagittario 16) Valnerina 17) Gole del Velino. In tabella 2 dell'appendice è riportata la distribuzione delle stazioni GPS rispetto alle aree indicate in figura.

Figure 5 Spatial distribution of the main intermontane structures of seismic and tectonic interest, which are monitored by the GPS network: 1) Norcia, 2) Cascia 3) Leonessa 4) Rieti 5) Laga–Campotosto–Gorzano 6) upper Valle dell'Aterno 7) Campo Imperatore-Assergi, 8) middle Valle dell'Aterno 9) Campo Felice–Ovindoli–Pezza 10) Fucino 11) Vallelonga 12) Valle del Salto–Corvaro–Val di Varri 13) Tagliacozzo–Val Roveto 14) Monte Marsicano-Valle del Sangro–Barrea 15) Valle del Sagittario 16) Valnerina 17) Gole del Velino. In Table 2 of the appendix, are reported the distribution of the GPS stations with respect to the areas shown in the figure.



Figura 6 a) La stazione non permanente di Rendinara (REND); **b)** La stazione permanente di Roseto degli Abruzzi (RSTO).

Figure 6 a) The not permanent station of Rendinara (REND); **b)** The continuous monitoring station of Roseto degli Abruzzi (RSTO).

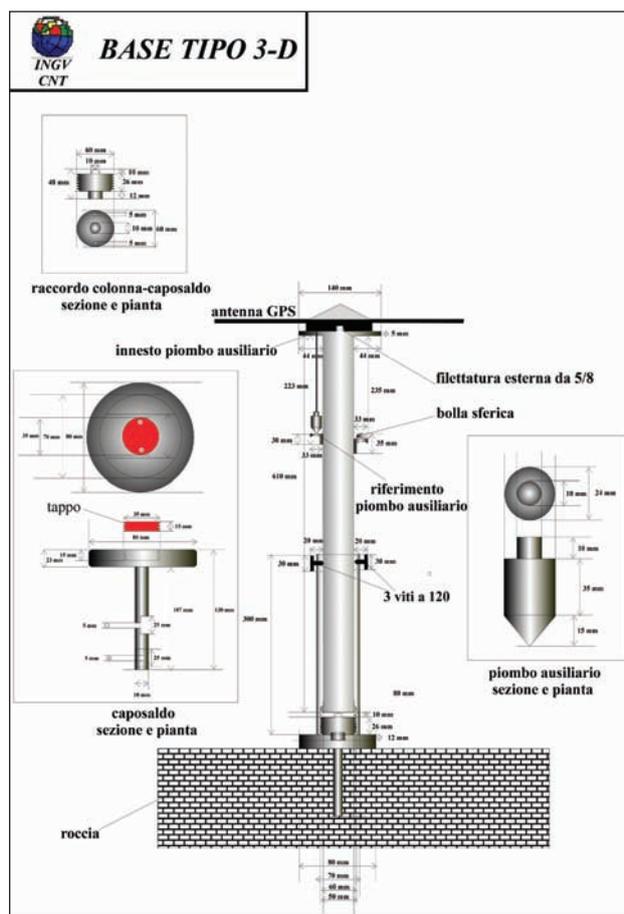


Figura 7 Schema costruttivo dell'autocentramento tipo INGV/A (vers.1.0) per stazioni non permanenti. La realizzazione è in acciaio inossidabile con coefficiente di dilatazione termica trascurabile. L'antenna viene avvitata sulla flangia superiore del sostegno, orientabile e verificabile mediante bolla sferica. Il supporto removibile viene avvitato al caposaldo solidale con il suolo (bedrock o manufatto in cemento armato). Tale tipo di monumento consente la sostituzione delle antenne in caso di guasto o aggiornamento della strumentazione, senza perdere la ripetibilità del dato. L'altezza è fissa e il datum verticale e orizzontale sono costanti [Anzidei ed Esposito, 2003].

Figure 7 Plan of the 3-D GPS monument INGV/A type (vers. 1.0) for not permanent stations. It is made of stainless steel with negligible value of thermal expansion coefficient. The GPS antenna is screwed on the top of the column. The latter can be oriented and its horizontal position can be adjusted through three screws at 120° and a spherical bubble. The monument is removable and during surveys is screwed at the benchmark, which is fixed in the bedrock. Such kind of monument allows to remove the GPS antenna in case of failure or instrumental upgrading, without losing the repeatability of the datum. Instrumental elevation above the benchmark, as well as the horizontal and vertical datum, are constant. [Anzidei ed Esposito, 2003].

stata effettuata in prevalenza direttamente su affioramenti rocciosi, impiegando monumenti tipo 3-D versione A, realizzati dall'INGV [Anzidei ed Esposito, 2003] (Fig.5a). Questo tipo di monumentazione permette di ottenere le migliori accuratèzze per la collocazione delle antenne durante le campagne di misura e di ridurre i *bias* dovuti a errori casuali. Ciò è particolarmente importante dati i bassi tassi di deformazione dell'area italiana. Per le stazioni afferenti alla Rete Geodimetrica dell'aquilano del Servizio Sismico Nazionale sono stati adottati invece sistemi ad autocentramento per la collocazione delle antenne [Anzidei et al., 1995].

L'installazione dei vertici della rete è stata eseguita mediante perforazione della roccia con trapano/scalpello meccanico, alimentato da un generatore di corrente trasportabile. I caposaldi sono stati quindi fissati utilizzando resine epossidiche a due componenti, caratterizzate da elevata resistenza meccanica anche dovute alle variazioni termiche indotte dagli agenti atmosferici. Ogni caposaldo è stato installato con il piano di paragone orizzontale utilizzando sia livelle a bolla sferica che toroidali, in modo che il monumento 3-D rimovibile, di altezza fissa, che sostiene l'antenna GPS,

risultati verticale dopo la sua collocazione durante ogni rilievo. La verticalità dell'antenna viene guidata da una coppia di bolle sferiche e dalla regolazione di tre viti disposte orizzontalmente ogni 120° intorno al monumento. Di conseguenza viene rispettata la corretta collocazione dell'antenna GPS che si verrà a trovare con il centro di fase (riferimento rispetto al quale vengono calcolate le coordinate e le loro differenze nel tempo) sulla verticale del centro del caposaldo solidale con il suolo (Fig.6 e 7). Al fine di evitare il più possibile la eventualità di atti vandalici e per poter lasciare incustodita la strumentazione, anche per più giorni durante le campagne di misura, le stazioni sono state collocate in punti poco accessibili di aree demaniali. Per una completa descrizione della rete e per facilitare gli operatori nel raggiungimento dei siti, sono state realizzate delle schede monografiche dettagliate per ciascuna stazione (vedi appendice).

Per quanto riguarda la realizzazione delle stazioni permanenti sono stati realizzati pilastri in cemento armato posti su roccia, dotati di supporto 3-D versione B [Anzidei et al.,2003] (Fig.6b).

4. Il GIS della CA-GeoNet (GeoNetGIS)

Per la CA-GeoNet è stato appositamente sviluppato un sistema geografico informatizzato (GIS), basato sul *software* ArcGIS 8.3 di ESRI.

L'utilizzo di un GIS progettato per le reti geodetiche GPS (Geodetic Network GIS, GeoNetGIS), consente la visualizzazione, la gestione e il confronto quantitativo dei dati GPS, in relazione ai *dataset* geologici, strutturali, sismologici e geodetici realizzati per questa ricerca o acquisiti dalle differenti fonti bibliografiche [Cristofolletti et al., 2002; Valensise e Pantosti, 2001]. Sono stati implementati 6 differenti livelli informativi: geodetico, geografico, topografico, geologico, tettonico-strutturale, sismologico, tutti proiettati su di un Modello Digitale del Terreno (DEM area Italiana) con risoluzione di 250 m. Attraverso il GeoNetGIS è possibile unificare in una banca dati omogenea, dinamica e condivisibile, tutte le informazioni numeriche provenienti dai dati GPS elaborati per la rete CA-GeoNet, le informazioni alfanumeriche di carattere monografico-descrittivo e i differenti database. Per una più dettagliata descrizione di questo GIS, si rimanda a Cristofolletti et al., [2006].

5. Campagne GPS dal 1999 al 2003

Le stazioni della rete sono state misurate durante campagne ripetute annualmente dal 1999 al 2003 (Fig.8). Il numero di stazioni misurate in ogni campagna ha seguito lo sviluppo di costruzione della rete, che è stata completata nel 2001. La strumentazione adottata è stata quasi esclusivamente costituita da ricevitori Trimble 4000SSI a doppia frequenza, tutti dotati di antenna Trimble L1/L2 geodetica dotata di *Ground Plane* (tipo 22020-00), al fine di disporre di una strumentazione omogenea. Le campagne 2002-2003 hanno previsto la rioccupazione di un set di stazioni distribuite in maniera tale da fornire stime di deformazione ad una scala sub-regionale, secondo alcuni transetti attraverso la catena. Al fine di poter disporre di un numero elevato di stazioni fiduciali per rafforzare i calcoli delle soluzioni giornaliere della rete e per inquadrarla in un unico sistema di riferimento, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle stazioni permanenti della rete INGV (RSTO, INGR, VVLO e INGP) e della rete dell'ASI (CAME, UNPG e AQU). Per tutta la durata delle campagne sono state lasciate in acquisizione continua anche le stazioni semipermanenti TERM (Monte Terminillo) e PRET (Osservatorio di Preturo). Le osservazioni sono

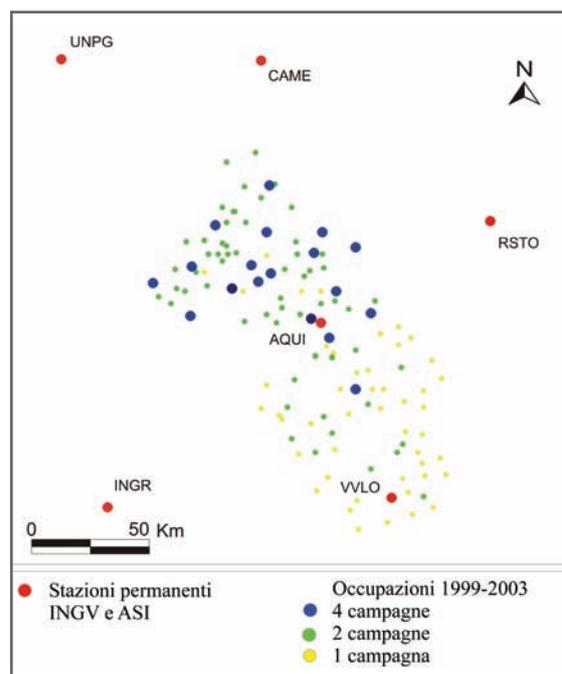


Figura 8 Schema delle occupazioni delle stazioni CA-GeoNet durante le campagne ripetute tra il 1999 e il 2003. I punti in giallo corrispondono alle stazioni misurate in una sola campagna, quelli verdi in due campagne e i blu sono quelli ripetuti quattro volte. Le stazioni in rosso sono quelle continue delle reti ASI e INGV.

Figure 8 Sketch of the occupation of the CA-GeoNet during repeated campaigns performed between 1999 and 2003. Yellow dots corresponds to the stations measured during one campaign only, those green during two campaigns, while blue are those repeated four times. The stations in red belong to the ASI and INGV continuous monitoring networks.

state effettuate con passo di campionamento di 30 sec. Le stazioni mobili hanno acquisito dati con sessioni variabili tra 12 e 24 ore, con una finestra totale media di osservazione di 48 ore circa per stazione, per non meno di due sessioni di misura durante ogni campagna in modo da assicurare una sufficiente ridondanza dei dati.

La programmazione delle singole campagne di misura è stata pianificata rigorosamente e ha tenuto conto della maglia della rete e dell'elevato numero di stazioni mobili da occupare simultaneamente (fino ad 11), per costruire delle sottoreti giornaliere definite da stazioni permanenti (7) e semipermanenti (2). La breve distanza tra le stazioni, la loro distribuzione rispetto alla rete stradale e la possibilità di lasciare incustodita la strumentazione durante i rilievi, ha permesso di limitare la durata delle campagne pur con un ridotto numero di operatori (4-6) e di

automezzi (2-3). In figura 9 e nelle tabelle 3,4,5,6,7 e 8 allegate in appendice, vengono mostrati gli schemi seguiti per occupare le stazioni della rete durante le varie campagne di misura.

6. Analisi dati GPS e campo di deformazione

I dati GPS acquisiti nell'intervallo 1999-2003 sono stati convertiti nel formato RINEX e

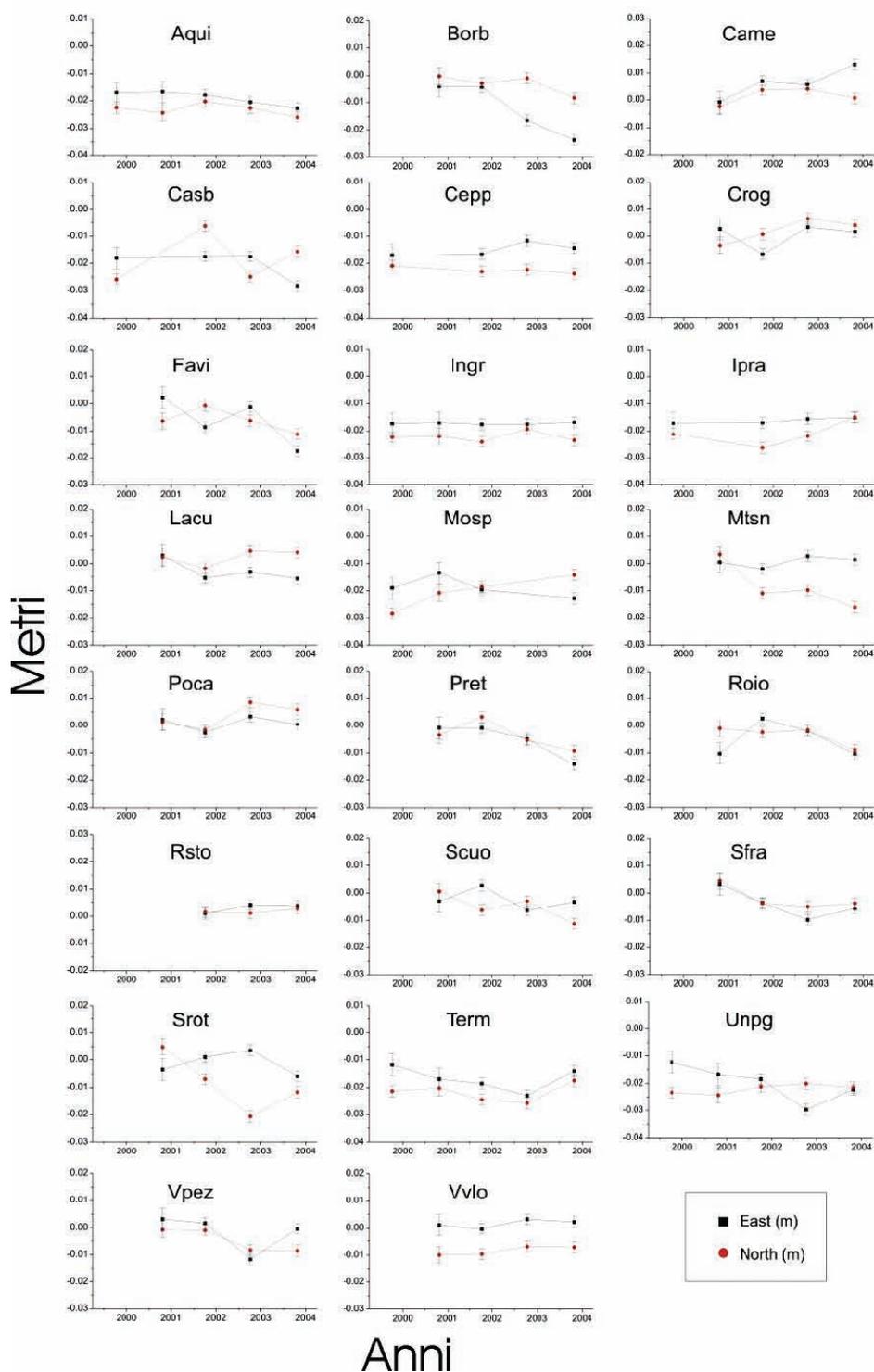


Figura 9 Serie temporali 1999-2003 calcolate alle singole stazioni GPS della rete CA-GeoNet, per le componenti Nord (N) ed EST (E).

Figure 9 GPS Time series 1999-2003 for the North (N) and East (E) components, computed at each station of the CA-GeoNet.

<i>Rms rete CA-GeoNet</i>			
Anno	Nord (mm)	Est (mm)	Quota (mm)
1999	2.1	3.5	7.8
2000	2.7	3.5	5.9
2001	2.0	1.6	7.1
2002	2.1	1.6	7.7
2003	2.2	2.2	8.0

Tabella 1 Scarto quadratico medio dei residui delle soluzioni giornaliere rispetto alla soluzione compensata.

Table 1 Root mean square of the residuals of the daily solutions with respect to the adjusted solution.

analizzati mediante il software Bernese v.4.2 [Beutler et al., 2000]. Sono state utilizzate le effemeridi precise e le correzioni degli orologi, calcolati dal CODE (*Center of Orbit*

Determination). Le correzioni dei parametri dei centri di fase delle antenne sono state incluse utilizzando il modello IGS_1. La correzione del ritardo troposferico è stata calcolata per le singole stazioni utilizzando il modello di Saastamoinen [1973].

Tenendo in considerazione la particolare geometria della rete ed i tempi di acquisizione delle stazioni, le singole differenze sono state costruite secondo la modalità “a stella” a partire dai vertici su cui i ricevitori hanno lavorato in maniera continua durante le campagne di misura (vedi tab. 3,4,5,6,7 e 8). Secondo uno schema classico di trattamento dati i salti di ciclo sono stati individuati mediante l’analisi delle triple differenze e di conseguenza un parametro incognito di ambiguità è stato associato ad ogni interruzione del segnale. Nella fase successiva, ovvero nella elaborazione alle differenze doppie, le ambiguità sono state inizialmente calcolate come valori reali e, mediante una procedura iterativa di calcolo delle combinazioni L5 (*wide-lane*) ed L3 (*iono-free*), fissate a valori interi. Le soluzioni giornaliere sono state combinate per ogni cam-

Num	Stazione	Lon E (° ‘ ‘’)	Lat N (° ‘ ‘’)	Quota (m)	V_N (mm/a)	V_E (mm/a)
4	AQUI	13 21 0.8911	42 22 5.6611	712.47	-1.7 ± 0.6	-0.9 ± 0.6
10	BORB	13 9 44.7927	42 30 40.9554	859.87	-7.9 ± 1.8	-2.1 ± 1.4
14	CAME	13 7 26.3895	43 6 43.1463	498.07	4.1 ± 0.8	1.4 ± 0.6
18	CASB	12 50 57.3613	42 23 22.8759	447.65	-2.3 ± 1.4	0.8 ± 1.0
21	CEPP	12 51 17.9712	42 31 48.3242	990.06	1.3 ± 1.0	-1.0 ± 0.8
32	CROG	13 29 6.2189	42 35 10.5275	1118.19	0.9 ± 1.4	1.8 ± 1.2
39	FAVI	13 5 12.0416	42 32 5.0215	1033.86	-4.4 ± 1.4	-4.0 ± 1.0
46	INGR	12 30 53.2758	41 49 41.1006	103.83	0.0 ± 0.4	0.0 ± 0.4
47	IPRA	12 42 18.6001	42 29 3.3114	973.57	0.7 ± 1.0	0.6 ± 0.8
49	LACU	13 6 41.5153	42 29 15.9050	1140.26	-2.3 ± 1.2	1.3 ± 1.0
60	MOSP	12 56 57.9180	42 38 48.3459	983.66	-2.0 ± 1.4	2.2 ± 1.0
64	MTSN	13 9 15.2060	42 45 39.7934	994.79	0.6 ± 1.6	-6.1 ± 1.2
76	POCA	13 19 34.2957	42 34 14.0445	1365.31	0.3 ± 1.2	2.3 ± 1.0
80	PRET	13 18 58.6325	42 22 56.9605	731.77	-2.8 ± 0.8	-0.8 ± 0.8
90	ROFA	13 32 27.8156	42 23 50.1564	1546.80	-0.9 ± 4.2	5.0 ± 3.2
91	ROIO	13 23 9.2925	42 19 36.5285	1042.14	-2.0 ± 1.4	-2.4 ± 1.2
96	SCUO	13 21 31.9419	42 37 45.6348	1433.32	-1.7 ± 1.4	-4.1 ± 1.0
100	SFRA	13 24 29.9572	42 27 35.5929	1879.35	-3.0 ± 1.4	-2.3 ± 1.2
108	SROT	13 8 30.4860	42 37 39.1611	1442.06	0.0 ± 1.6	-8.2 ± 1.2
115	TERM	13 0 36.0723	42 28 10.0081	1851.15	-1.2 ± 0.6	-0.8 ± 0.6
126	VPEZ	13 29 4.4420	42 10 54.9826	1543.70	-2.7 ± 1.2	-4.2 ± 1.0
129	VVLO	13 37 23.6215	41 52 10.7275	1045.19	1.2 ± 0.6	0.5 ± 0.6
131	RSTO	14 0 5.3208	42 39 30.1835	102.59	1.5 ± 1.0	0.0 ± 0.8
303	UNPG	12 21 20.5314	43 7 9.8078	351.07	-4.0 ± 0.8	0.4 ± 0.4

Tabella 2 Numero e nome della stazione, coordinate geografiche (WGS84), velocità (mm/anno), errore (al 95% di confidenza), calcolate rispetto alla stazione INGR nell’intervallo 1999-2003.

Table 2 Number and name of the stations, geographic coordinates (WGS84), velocity (mm/yr), error (at 95% confidence level), all computed with respect to the INGR station, in the time span 1999-2003.

pagna usando una compensazione sequenziale ai minimi quadrati secondo la nota relazione:

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

con: x , la soluzione stimata, P matrice dei pesi ed L vettore delle osservazioni.

La matrice di varianza-covarianza, associata alla stima diventa:

$$D(x) = \hat{\sigma}^2 (A^T P A)^{-1}$$

dove $\hat{\sigma}^2$ indica la varianza per unità di peso ed è ottenuta dalla somma quadratica dei residui.

Le precisioni interne delle soluzioni annuali sono state ricavate inoltre mediante un confronto per rototraslazione tra i set di coordinate giornaliere e la soluzione compensata (Tabella 1).

Mediante lo stesso procedimento analitico, le velocità sono state stimate ampliando il

sistema di equazioni normali con l'introduzione del vettore di stato $\bar{x} = (x, dx/dt)$: il calcolo è stato effettuato utilizzando le sole stazioni che hanno osservato per almeno 3 campagne di misura.

In figura 9 sono mostrate le serie temporali calcolate per un set di stazioni della rete, per le componenti planimetriche Nord (N) ed Est (E). Le barre verticali rappresentano l'errore al 95% di confidenza. Il campo di velocità relativo è calcolato arbitrariamente rispetto alla stazione INGR (Fig.10).

Una stima preliminare del tasso di deformazione medio attivo nell'area è stata ottenuta determinando, mediante il metodo dei minimi quadrati, le componenti del gradiente di veloci-

$$u_{i,j} = e_{ij} + w_{ij} = 1/2 (u_{i,j} + u_{j,i}) + 1/2 (u_{i,j} - u_{j,i}),$$

tà secondo la teoria delle piccole deformazioni: dove e_{ij} indica la deformazione e w_{ij} la rotazio-

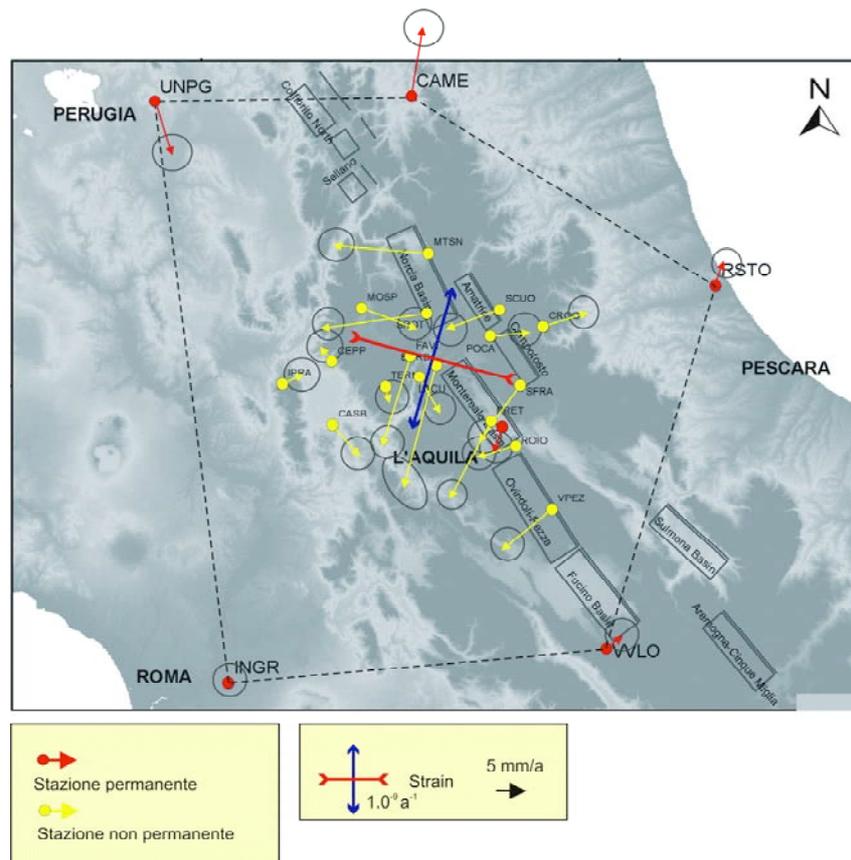


Figura 10 Campo di velocità e deformazione (doppia freccia blu e rossa al centro della rete GPS), stimati nell'intervallo temporale 1999-2003 all'interno dell'area delimitata dalla linea tratteggiata. Stazioni permanenti in rosso e non permanenti in giallo. Ellissi di errore al 95% di confidenza. Le box sono le sorgenti sismogeniche riportate in Valensise e Pantosti [2001].

Figure 10 Velocity and strain field (double blue and red arrow at the center of the GPS network), estimated during the time span 1999-2003 inside the area limited by the dotted line. Permanent stations are in red and not permanent in yellow. Error ellipses at 95% confidence level. The seismic sources from Valensise and Pantosti [2001] are also reported in the figure.

ne. Gli autovalori della matrice di deformazione, che esprimono dilatazione e compressione lungo gli assi principali, danno direzioni normale e tangenziale alla catena appenninica (Fig.10). In tabella 2, vengono mostrate le velocità (mm/anno) con il relativo errore al 95% di confidenza, calcolate rispetto alla stazione INGR, per l'intervallo temporale 1999-2003.

7. Discussione e conclusioni

I risultati ottenuti durante le campagne ripetute tra il 1999 e il 2003 mostrano r.m.s. dei residui giornalieri rispetto alla soluzione compensata, compresi entro 2.7 mm per la componente N, 3.5 mm per quella S e 8.0 mm per quella verticale (Tab.1, Tab.2, Fig.10). L'analisi del campo di deformazione mostra una catena in estensione a cui si accompagna una compressione nella sua parte più interna. Il tasso di deformazione massimo è di $12 \times 10^{-9} \pm 11 \text{ a}^{-1}$ e minimo di $-14 \times 10^{-9} \pm 11 \text{ a}^{-1}$, rispettivamente con direzione normale e parallela alla catena (Fig.10). L'andamento degli assi di deformazione massimo e minimo, indica che l'intera area è attiva e che mostra una prevalente estensione NE-SW normale alla catena. Poiché nell'arco di tempo 1999-2003 la zona è stata interessata solo da eventi sismici di bassa energia ($M_l < 4$) localizzati lontano dalle stazioni della rete, si può assumere che le variazioni osservate non siano state prodotte da deformazioni cosismiche [Wells e Coppersmith, 1994]. Inoltre, se si considerano esauriti o troppo deboli per essere rilevati gli effetti postsismici degli ultimi maggiori terremoti avvenuti nell'Appennino centrale, quello del Fucino del 1915 ($M_s=6.9$) e quello Umbria-Marche del 1977 ($M_s=5.9$), i cui epicentri ricadono rispettivamente nella parte più meridionale e settentrionale della rete, le deformazioni osservate sono solamente intersismiche e indicative del campo di deformazione elastico regionale. L'estensione crostale normale alla catena è in accordo con la distribuzione e l'orientazione delle principali strutture sismogeniche riportate in Valensise e Pantosti [2001], che possono giocare un ruolo principale nella deformazione osservata e nella cinematica della penisola italiana.

I risultati mostrati in questo studio, compatibili con quelli pubblicati da D'Agostino et al. [2001] dalla rioccupazione di alcuni vertici della rete IGM95 [Surace, 1993, 1997], da Anzidei et al. [2001] e Serpelloni et al., [2005], dalle reti regionali Tyrgeonet [Anzidei et al., 1995] e GeoModAp [Anzidei et al., 2001], da

Hunstad and England [1999] e Hunstad et al. [2003] sulla base delle variazioni di angoli osservati sulla rete storica di triangolazione dell'IGM, permettono di fornire ulteriori dati sul campo di deformazione sub-regionale e maggiori dettagli su quello locale, grazie alla elevata densità delle stazioni e alle ridotte lunghezze delle *baseline* (3-5 km). Studi geodetici precedenti stimano valori di deformazione massimo per l'Appennino centrale di $180 \pm 30 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ [D'Agostino et al. 2001], $57 \pm 13 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ [Caporali et al., 2003], da $3.7 \pm 29 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ a $116 \pm 32 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ [Hunstad et al., 2003], $4.1 \pm 0.8 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ [Ward, 1994], $31 \pm 8 \times 10^{-9} \text{ a}^{-1}$ [Serpelloni et al., 2005], in generale più alti ma con direzioni congruenti rispetto a quelli presentati nel presente studio. Ciò può essere dovuto alla differente finestra temporale indagata, al set di dati geodetici utilizzato, alla differente geometria e dimensione della rete e al numero di stazioni analizzate. Il campo di deformazione locale rilevabile dalla rete GPS, che può essere influenzato dai processi di accumulo di deformazione sulle singole faglie o sui sistemi di faglie presenti, ci permetterà di stimare il tasso di deformazione associabile alle singole strutture sismogenetiche investigate e di poter distinguere le sue variazioni temporali e spaziali dalla ripetizione nel tempo di campagne di misura. L'elevato numero di stazioni distribuite nella regione con una maglia di 3-5 km, ottimale rispetto alle dimensioni medie delle faglie sismogenetiche dell'Appennino, potrà permettere di disporre di dati geodetici affidabili per vincolare i modelli di dislocazione delle faglie responsabili di eventuali eventi sismici, consentendo avanzamenti significativi sulle conoscenze geofisiche che sono alle base dei fenomeni sismici. Infine, la combinazione di dati GPS con osservazioni di Interferometria Differenziale SAR potrà permettere una definizione completa delle deformazioni superficiali associate al ciclo sismico [Massonnet D. et al., 1993; Massonnet et al., 1996], come recentemente dimostrato dagli studi effettuati sulle faglie che hanno causato i terremoti umbro-marchigiani del 1997, che hanno prodotto nuove conoscenze sulla sorgente sismica e che hanno mostrato l'importanza che rivestono le tecniche spaziali GPS e DinSAR per un monitoraggio geodetico integrato di aree sismogenetiche [Hunstad et al., 1998; Anzidei et al., 1998; Stramondo et al., 1999; Stramondo et al., 1999; Salvi et al., 2000].

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata finanziata dall'Agenzia Spaziale Italiana nell'ambito del progetto *Applicazione delle tecniche spaziali per la valutazione del campo di deformazione crostale e della pericolosità sismica dell'Appennino centro meridionale*. Si ringrazia il Prof. Enzo Boschi per avere incoraggiato questo studio, il Dr. Paolo Marsan, del Servizio Sismico Nazionale, per avere concesso l'uso delle stazioni geodetiche della Rete Geodimetrica dell'Aquilano, il Dr. Andrea Tertulliani per la revisione della sismicità storica, il Dr. Pierre Briole e il Dr. Antonio Avallone per le utili discussioni scientifiche. Infine il sig. Franco Missori e il sig. Maurizio Vecchi per la loro valida collaborazione durante i rilievi.

Bibliografia

- Accordi G. e Carbone F (1988). *Sequenze carbonatiche meso-cenozoiche*. In: G. Accordi, F. Carbone, G., Civitelli, L. Corda, D. de Rita, D. Esu, R. Funicello, T. Kotsakis, G. Mariotti, A. Sposato (eds), *Note illustrative della Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe*. La Ricerca Scientifica, Quaderni, 114 (5), 11-92
- Alfonsi L., Funicello R., Mattei M. (1991). *Strike-slip tectonics in the Sabina area*. Boll. Soc. Geol. It. 110, 481-488.
- Amato A. & Selvaggi G. (1992). *Terremoti crostali e subcrostali nell'Appennino settentrionale*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. 1991/1, 75-82.
- Amato A., Alessandrini B., Cimini G.B., Frepoli A. & Selvaggi G. (1993). *Active and remnant subducted slabs beneath Italy: evidence from seismic tomography and seismicity*, Ann. Geofis., 36, 201-214.
- Amato A., Azzara R., Chiarabba C., Cimini G.B., Cocco M., Di Bona M., Margheriti L., Mazza S., Mele F., Selvaggi G., Basili A., Boschi E., Courboux F., Deschamps A., Gaffet S., Bittarelli G., Chiaraluce L., Piccinini D. & Ripepe M. (1998). *The 1997 Umbria-Marche, Italy, earthquake sequence: a first look at the main shocks and aftershocks*. Geophys. Res. Lett., 25, NO.15, 2861-2864.
- Anzidei M., Gasparini C., Riguzzi F., Achilli V., Baldi P., Marsan P. (1990). *GPS networks in seismic and volcanic areas in central and southern Italy*. Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de sismologie. Vol.2, pp. 305-316.
- Anzidei M., Baldi P., Casula G., Riguzzi F., Surace L. (1995). *La rete Tyrgeonet*. Suppl. Boll. Geod.e Sci. Aff., Vol. LIV, n.2. Istituto Geografico Militare, Firenze.
- Anzidei M., Baldi P., Galvani A., Pesci A., Hunstad I. and E.Boschi (1999). *Coseismic displacement of the 26th september 1997 Umbria - Marche (Italy) earthquakes detected by GPS: campaigns and data*. Annali di Geofisica, vol.42, n.4, 597-607.
- Anzidei M., Baldi P., Casula G., Galvani A., Mantovani E., Pesci A., Riguzzi F., Serpelloni E. (2001). *Insights on present-day crustal motion in the Central Mediterranean area from GPS surveys*. Geophysical Journal International, vol. 146, 98-110.
- Anzidei, M., Galvani, A., Esposito, A., Cristofoletti, P., Pesci, A., Baldi, P., Casula, G., Cenni, N., Loddo, F., Serpelloni, E. (2002). *The Central Apennine Geodetic Network (CA-Geonet): description and preliminary results*, Geophysical Research Abstracts, XXVIII European Geophysical Society General Assembly, Vol. 5, Abstract EAE03-A-05288.
- Anzidei M. e Esposito A. (2003). *Linee guida per la identificazione di siti idonei alla realizzazione di stazioni GPS permanenti e non permanenti*. Rapporti Tecnici INGV, Roma.
- Anzidei M., Casula G., Galvani A., Riguzzi F., Pietrantonio G., Serpelloni E., Esposito A., Pesci A., Loddo F., Massiccì A., Del Mese S. (2006). *Le prime stazioni GPS permanenti INGV-CNT per il monitoraggio delle deformazioni crostali dell'area italiana*. Quaderni di Geofisica n. 39 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma.
- Barchi M., Galadini F., Lavecchia G., Messina P., Michetti A.M., Peruzza L., Pizzi A., Tondi E., e Vittori E. (2000). *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica*. CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dai terremoti – Roma, 62pp.
- Basili R., Bosi C. e Messina P. (1997). *La tettonica quaternaria dell'Alta Valle del Fiume Aterno (Appennino Centrale) desunta dall'analisi di successioni di superfici relitte*. Il Quaternario, 10 (2), 621-624.
- Basili R., Galadini F. e Messina P. (1999). *The application of palaeoland surface analysis to the study of recent tectonics in central Italy*. In *Uplift, Erosion and Stability: perspectives on long-term landscape development*, by Smith, B.J., Whalley W. B., & Warke P. A.. Geological Society, London Special publications, 162, 109-117.
- Beutler, G., Brockmann, E., Dach, R., Fridez, P.,

- Gurtner, W., Hugentobler, U., Johnson, J., Mervant, L., Rothacher, M., Schaer, S., Springer, T., Weber, R. (2000). *Bernese Software 4.2*. Astronomical Institute, University of Berne.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R. e Scandone P. (1990). *Structural model of Italy (scala 1:500.000) sheet n.4*. CNR-PFG.
- Blumetti A.M., Cavinato G.P. e Tallini M. (1996). *Evoluzione plio-quadernaria della conca di L'Aquila-Scoppito: studio preliminare*. Il Quaternario, 9 (1), 281-286.
- Blumetti A.M., Dramis F. e Michetti A.M. (1993). *Fault-generated mountain fronts in the central Apennines (central Italy): geomorphological features and seismotectonic implications*. Earth Surface Processes and landforms, 18, 203-223
- Boschi E., Gasperini P., Valensise G., Camassi R., Castelli V., Stucchi M., Rebez A., Monachesi G., Barbano M.S., Albini P., Guidoboni E., Ferrari G., mariotti D., Com'astri A., Molin D. (1999). *Catalogo parametrico dei terremoti italiani*. Editrice Compositori, Bologna.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. & Valensise G. (1995). *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al1980*. Istituto Nazionale di Geofisica (ING) e Storia Geofisica Ambiente (SGA).
- Bosi C. (1975). *Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino centrale*. Boll. Soc. Geol. It. 94, 827-859, 28 ff., 1 tav..
- Calamita F., Coltorti M., Pieruccini P. e Pizzi A. (1999). *Evoluzione strutturale e morfogenesi plio-quadernaria dell'Appennino umbro-marchigiano tra il preappennino umbro e la costa adriatica*. Boll. Soc. Geol. It. 118, 125-139, 6 ff.
- Calamita F., Coltorti M., Farabollini P. e Pizzi A. (1994). *Le faglie normali quaternarie nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: proposta di un modello di tettonica di inversione*. Studi Geol. Camerti. Vol. spec. (1), 211-225.
- Caporali A., Martin S., Massironi M. (2003). *Average strain rate in the Italian crust inferred from a permanent GPS network - II. Strain rate versus seismicity and structural geology*. Geophys. Journal International, 155, 254-268
- Cello G., Mazzoli S., Tondi E., e Turco E. (1997). *Active tectonics, in the central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy*. Tectonophysics 272, 43-68.
- Cristofaletti P., Esposito A., Anzidei M., Baldi P., Basili R., Casula G., Galvani A., Pesci A., Serpelloni E.: *The GIS of the Central Apennines Geodetic Network (CA-GeoNet) (2002). Database description and application for crustal deformation analyses*. EGS 2002, Abstract number EGS02-A-04352
- Cristofaletti P., Esposito A., Anzidei M. (2006). *A GIS method for geodetic applications: the central Apennine geodetic network (GeoNetGis)*. Quaderni di Geofisica, Vol. n. 44. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma.
- D'Agostino N., Giuliani R., Mattone M., and Bonci L. (2001) *Active crustal extension in the central Apennines (Italy) inferred from GPS measurements in the interval 1994-1999*. Geophys. Res. Lett., 28,10,2121-2124
- Deschamps A., Iannaccone G. & Scarpa R. (1984). *The Umbrian earthquake (Italy) of 19 September 1979*, Ann. Geophys., 2, 29-36.
- Frepoli A. & A. Amato (1997). *Contemporaneous extension and compression in the North Apennines from earthquake fault plane solutions*, Geophys. J. Int., 129, 368-388.
- Galadini F. e Messina P. (2001). *Plio-Quaternary changes of the normal fault architecture in the central Apennines (Italy)*. Geodinamica acta 14, 321-344
- Galadini F. e Galli P. (2000). *Active tectonics in the central Apennines (Italy) - input data for seismic hazard assessment*. Natural Hazard 22, 225-270.
- Galadini F. e Messina P. (1993). *Stratigrafia dei depositi continentali, tettonica ed evoluzione geologica quaternaria dell'Alta Valle del fiume Sangro (Abruzzo meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It. 112, 877-892, 10 ff., 1 tav. f.t..
- Ghisetti F. e Vezzani L. (1996). *Geometrie deformative ed evoluzione cinematica dell'Appennino centrale*. Studi Geol. Camerti. XIV, 127-154.
- Ghisetti F. e Vezzani L. (1990). *Stili strutturali nei sistemi di sovrascorrimento della catena del Gran sasso (Appennino centrale)* . Studi Geol. Camerti. Vol. spec., 37-50.
- Giuliani R., Anzidei M., Bonci L., Calcaterra S., Casula G., D'Agostino N., Esposito A., Loddo F., Mattone M., Pietrantonio G., Riguzzi F., Selvaggi G. (2003). *Terremoto del 31 ottobre - 1 novembre 2003: campo di deformazione cosismica da misure GPS*. Convegno GNGTS, Roma, 2003.
- Gasparini C., Iannaccone G. & Scarpa R. (1985). *Fault-plane solutions and seismicity of the Italian Peninsula*. Tectonophysics, 117, 59-78.
- Hunstad I., Anzidei M., Baldi P. Cocco M., Galvani A., Pesci A. (1998). *Modelling Coseismic displacements during the 1997 Umbria-Marche earthquake (Central Italy)*. Geoph. Jou. Int., 139, 283-295

- Hunstad I. and P. England (1999). *An upper bound on the rate of strain in the central Apennines, Italy, from triangulation measurements between 1869 and 1963*. Earth and Planetary Science Letters, 169, 261-267.
- Hunstad I., Selvaggi G., D'Agostino N., England P., Clarke P. and Pierozzi M. (2003). *Geodetic strain in peninsular Italy between 1875 and 2001*. Geophysical Research Letters, 30, (4), 1181.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2003). *Bollettino Sismico 2003*. Roma
- Lavecchia G., Bronzetti F., Barchi M., Keller J., e Menichetti M. (1994). *Seismotectonic zoning in east-central Italy deduced from analysis of the Neogene to present deformations and related stress field*. Soc. Geol. Americ. Bull. 106, 1107-1120
- Massonnet D., Rossi M., Carmona C., Adragna F., Peltzer G., Feigl K., Rabaute T. (1993). *The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry*. Nature, vol.364, 8.
- Massonnet D., Thatcher W. and Vadon H. (1996). *Detection of postseismic fault-zone collapse following the Landers earthquake*. Nature, vol.382.
- Mattei M., Funicello R., e Kissel C. (1995). *Paleomagnetic and structural evidence for Neogene block rotations in the central Apennines (Italy)*. J. Geophys. Res. 101, 2835-2845.
- Mazzoli S., Corrado S., De Donatis M., Scrocca D., Butler D.W.H., Di Bucci D., Naso G., Nicolai C. e Zucconi V. (1997). *Time and space variability of the "thin-skinned" and "thick-skinned" thrust tectonics in the Apennines (Italy)*. Rend. Fis. Acc. Lincei s. 9, v. 11, 5-39
- Montone P., Amato A., Frepoli A., Mariucci M.T. & Cesaro M. (1997). *Crustal stress regime in Italy*. Ann. di Geofis., 40, 3, 741-757.
- Montone P. e Salvini F (1993). *Geologia strutturale dei rilievi tra colli di Monte Bove (Carsoli) e Tagliacozzo, Abruzzo*. Geol. Rom. 29, 15-29, 13 ff., 1 tav. f.t..
- Pantosti D., D'Addezio G., e Cinti F.R. (1996). *Paleoseismicity of the Ovindoli-Pezza fault, central Apennines, Italy: a history including a large, previously unrecord earthquake in the Middle Ages (860-1300 A.D.)*. J. Geophys. Res. 101, 5937-5959.
- Parotto M. e Pratlurion A. (1975). *Geological summary of the central Apennines*. In Ogniben L., Parotto M. e Pratlurion A., (eds) Structural Model of Italy. Quad. Ric. Scient. 90, 257-311.
- Piccardi L., Gaudemer Y., Tapponier P., Boccaletti M. (1999). *Active oblique extension in the central Apennines (Italy): evidence from the Fucino region*. Geophys. Journ. International, 139, 499-530.
- Postpischl D. (1985). *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", CNR-PFG, 114, vol. 2B, Roma.
- Saastamoinen J. (1973). *Contribution to the theory of atmospheric refraction*. Bull. Geod., 107, 13.
- Salvi S., S. Stramondo, M. Cocco, E. Sansosti, I. Hunstad, M. Anzidei, P. Briole, P. Baldi, M. Tesauro, E. Lanari, F. Doumaz, A. Galvani, A. Pesci (2000). *Modelling coseismic displacement resulting from SAR interferometry and GPS measurements during the 1997 Umbria-Marche seismic sequence*. Journal of Seismology, 4, 479-499.
- Salvini F. & Vittori E. (1982). *Analisi strutturale della linea Olevano-Antrudoco-Posta (Ancona-Anzio Auct): metodologie di studio delle deformazioni fragili e presentazione del tratto meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 24, 337-355.
- 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(3), 861-880. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02618.x, 2005.
- Spakman W. (1990). *Tomographic images of the upper mantle below central Europe and the Mediterranean*, Terra Nova, 2, 542-553.
- Speranza F., Sagnotti L., e Mattei M. (1997). *Tectonics of the Umbria-Marche-Romagna arc (central northern Apennines Italy): new paleomagnetic constrains*. J. Geophys. Res. 102, 313-3166.
- Stramondo S., Tesauro M., Briole P., Sansosti E., Salvi S., Lanari R., Anzidei M., Baldi P., Fornaro G., Avallone A., Buongiorno M.F., Franceschetti G., Boschi E. (1999). *The September 26,1997 Central Italy earthquakes: coseismic surface displacement detected by sar interferometry and GPS, and fault modeling*. Geophysical Research Letters, vol.26, n.7, pp.883-886 April, 1,
- Surace L. (1993). *Il progetto IGM95*. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini 3, 220-230
- Surace L. (1997). *La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione*. Bollettino di Geodesia e Scienze Affini 3, 357-377
- Valensise, G., and D. Pantosti (2001). *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy*. Annali di Geofisica, vol. 44, Suppl. 1, with CD-ROM.
- Ward S.N. (1994). *Constraints on the seismotectonics of the Central Mediterranean sea from*

- Very Long Baseline Interferometry* . Geophys. Jour. International, 117, 441-452.
- Wells and Coppersmith (1994). *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width and surface displacements*. Bulletin of Sesmological Society of America, 84 (4), 974-1002.
- Westaway R., Gawthorpe R. & Tozzi M. (1989): *Seismological and field observations of the 1984 Lazio-Abruzzo earthquakes: implications for the active tectonics of Italy*. Geophys. J. R. astr. Soc., 98, 489-514.
- Westaway R. (1992). *Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: tectonic implication*. Jour. of Geophys. Res., 97, B11, 15437-15464.

Appendice 1 – Tabelle

Anno	Regione o località	Intensità (MCS)	Mm
-174	Sabina	X	6.6
-99	Norcia	IX	5.4
-76	Rieti	X	6.6
1277	Spoletto	VIII	5.4
1298	Reatino	IX-X	5.8
1315	Aquilano (Italia centrale)	X	6.0
1328	Norcia (App. umbro merid.)	X	6.6
1349	Laziomerid. - Molise	X	6.6
1349	Aquilano	X	6.3
1461	Aquilano	X	6.6
1496	Spoletto	VI	4.3
1498	L'Aquila	V-VI	4.0
1502	Rieti	VII	4.8
1627	Accumoli	VII-VIII	5.1
1639	Amatrice (Monti della Laga)	X	6.6
1646	L'Aquila	V-VI	4.0
1702	Norcia	VII	4.8
14 Gennaio 1703	Norcia-Cascia-Amatrice (reatino)	XI	7.1
16 Gennaio 1703	Roio di Piano (Aquilano)	VIII	-
2 Febbraio 1703	Aquilano	X	6.6
1704	Spoletto	VII	4.8
1706	Maiella	X-XI	6.3
1730	Norcia-Cascia-Amatrice	IX	5.8
1731	Abruzzo	VI	4.3
1745	Spoletto	VII-VIII	5.1
1750	L'Aquila	VI-VII	4.6
1760	Terminillo	VII	4.8
1762	Aquilano	IX-X	6.0
1767	Spoletino	VII-VIII	5.1
1776	Reatino	VI-VII	4.6
1785	Piediluco (Umbria meridionale)	VIII-IX	5.4
1786	L'Aquila	VIII	4.8
1791	L'Aquila	VII-VIII	5.1
1809	L'Aquila	VI	4.3
1821	Rieti	VII	4.8
1844	Palestrina	VI-VII	4.6
1848	Lucoli	VI	4.3
1853	Spoletto	VII	4.8
1859	Norcia	VIII-IX	5.8
1874	L'Aquila	V-VI	4.0
1876	Palestrina	VI-VII	4.6
1877	Capranica	VI	4.3
1885	Poggio Bustone	VII	4.8
1887	Lucoli	VI	4.3
1898	Rieti	VIII	5.1
1898	Visso	VII	4.8
1901	Palombara Sabina - Montelibretti	VIII	5.1
1901	Spoletto	VI	4.3
1902	Reatino	VI-VII	4.3
1903	Rieti	V-VI	4.0
1904	Rosciolo - Marsica	VIII-IX	5.8
1906	Antrodoco	VI	4.3
1908	L'Aquila	VI	4.3
1909	Terni	VI	4.3

1909	Spoletto	V-VI	4.0
1910	Leonessa	VI	4.3
1910	Accumoli	VII	4.8
1911	L'Aquila	VI	4.3
1911	L'Aquila	VI	4.3
1915	Avezzano	XI	7.1
1915	Marsica	VI	4.3
1915	Cascia	VI	4.3
1915	Gioia dei Marsi	VII	4.8
1915	Stroncone	VII	4.6
1916	Venafro	VII	4.6
1916	Aquilano	VI-VII	4.6
1917	Terni	VII-VIII	5.1
1926	Trasacco	VI-VII	4.6
1927	Marsica	VII	4.8
1931	Cascia	VI	4.3
1941	Cervara di Roma	VII	4.6
1933	Maiella	IX	5.8
1948	Ternano	VI	4.3
1949	Norcia	VI	4.3
1949	Labro	VI-VII	4.6
1950	Accumoli	VII	4.8
1950	Gran Sasso	VIII	5.4
1951	Monti della Laga	VII-VIII	4.8
1954	Labro	VI	4.3
1956	Gran Sasso	VI	4.3
1957	Norcia	VI	4.3
1958	Aquilano	VII-VIII	4.8
1960	Marsica	VII	4.8
1961	Antrodoco	VIII	5.1
1963	Rieti	VII	4.8
1963	Amatrice	VII	4.3
1967	Lucoli	VI-VII	4.6
1969	Lazio Meridionale	VII-VIII	4.8
1970	Terni	V-VI	4.0
1971	Cascia	VI	4.3
1971	Norcia	VI-VII	4.6
1979	Valnerina	VIII-IX	5.8
1985	Aquilano	V-VI	4.0

Tabella 1 Sismicità storica dell'Appennino centrale dal 174 A.C. al 1985 per Intensità $I \geq V$ MCS o Magnitudo macrosismica $M_m \geq 5.1$ [da Boschi et al., 1995; Boschi et al.,1999].

Table 1 Historical seismicity of the central Apennines between 174 b.C. and 1985 A.D. for intensities $I \geq V$ MCS or macroseismic Magnitude $M_m \geq 5.1$ [from Boschi et al., 1995; Boschi et al.,1999].

Area sismica e/o tettonica	Struttura	Sigla vertice GPS	Nome vertice	Tavoletta IGMI	Sotto-struttura
1	Norcia	SCRO	Santa Croce	139 IV SE	
1	Norcia	RIFP	Rifugio Perugia	132 III NE	
1	Norcia	SROT	Selva Rotonda	139 IV NE	
1	Norcia	CAMP	Campi Alto	132 IV SE	
1	Norcia	SAVE	Savelli	132 III SE	
1	Norcia	MTSN	Monte Santo	132 III NE	
1	Norcia	AVEN	Avendita	132 II NO	
2	Cascia	MERA	Meraviglia	132 III SO	
2	Cascia	FRLC	Forca Rua la Cama	132 III SO	
2	Cascia	CHIA	Chiavano	139 IV NO	
3	Leonessa	CPSE	Villa Pulcini	138 I NE	
3	Leonessa	CLAC	Colle la Croce	139 IV SO	
3	Leonessa	LEON	Leonessa	139 IV SO	
3	Leonessa	CDAQ	Capo d'Acqua	139 IVNO	
3	Leonessa	CUMU	Cumulata	139 IVSO	
3	Leonessa	OCRE	Ocre	139 IV NO	
3	Leonessa	VCAR	Val Carpineto	139 IV SO	
4	Rieti	CEPP	Cepparotto	138 I SO	
4	Rieti	CIDA	Cima d'Arme	138 I SE	
4	Rieti	LABR	Labro	138 I SO	
4	Rieti	CANT	Cantalice	138 II NE	
4	Rieti	POGB	Poggio Bustone	138 I SE	
4	Rieti	CASB	Case S. Benedetto	138 II SE	
4	Rieti	GREC	Greccio	138 II NO	
4	Rieti	IPRA	I Prati	138 II NO	
4	Rieti	NICO	S. Nicola	138 II NE	
4	Rieti	SETC	Settecamini	138 II NO	
4	Rieti	TERR	Terria	138 II NO	
5	Laga-Campotosto-Gorzano	ACCU	Accumoli	132 II SO	Amatrice
5	Laga-Campotosto-Gorzano	CROG	Crognaleto	140 IV NO	Amatrice
5	Laga-Campotosto-Gorzano	S260	Amatrice	139 I NO	Amatrice
5	Laga-Campotosto-Gorzano	SCUO	Sacro cuore	139 I NO	Amatrice
5	Laga-Campotosto-Gorzano	SLUC	Santa Lucia	139 I SO	Amatrice
5	Laga-Campotosto-Gorzano	CTOS	Campotosto	139 I SE	Campotosto
5	Laga-Campotosto-Gorzano	MASC	Mascioni	139 I SE	Campotosto
5	Laga-Campotosto-Gorzano	POCA	Poggio Cancelli	139 I SO	Campotosto
6	alta valle dell' Aterno	CCOR	Castel di Corno	139 III SE	
6	alta valle dell' Aterno	SELL	Sella di Corno	139 III SE	
6	alta valle dell' Aterno	TARI	Tarignano	139 II NE	
6	alta valle dell' Aterno	TRNE	Termine	139 III NE	
6	alta valle dell' Aterno	MACA	Madonna Cantiere	139 II SO	l'Aquila-Scoppito
6	alta valle dell' Aterno	MOMO	Monte Omo	139 II NE	l'Aquila-Scoppito
6	alta valle dell' Aterno	PRET	Preturo	139 II SO	l'Aquila-Scoppito

6	alta valle dell' Aterno	ROIO	Roio	145 I NE	l'Aquila-Scoppito
6	alta valle dell' Aterno	SMAR	San Marco	139 II SO	l'Aquila-Scoppito
6	alta valle dell' Aterno	BORB	Borbona	139 IV SE	Montereale-Capitignano
6	alta valle dell' Aterno	CAPI	Capitignano	139 I SO	Montereale-Capitignano
6	alta valle dell' Aterno	CPAG	Castel Paganica	139 I SO	Montereale-Capitignano
6	alta valle dell' Aterno	SP30	Busci	139 I SO	Montereale-Capitignano
7	Campo Imperatore - Assergi	ROFA	Monte Rofano	140 III SO	
7	Campo Imperatore - Assergi	SFRA	Monte San Franco	139 II NE	
7	Campo Imperatore - Assergi	PACA	Passo Capannelle	139 II SE	
7	Campo Imperatore - Assergi	ARAG	Aragno	140 III SO	
7	Campo Imperatore - Assergi	STAB	Monte Stabiata	139 II NE	
7	Campo Imperatore - Assergi	SCIN	Scindarella	141 III SO	
8	media valle dell' Aterno	BSSI	Bussi sul Tirino	146 I SO	Conca del Tirino
8	media valle dell' Aterno	CPNO	Capestrano	146 I NO	Conca del Tirino
8	media valle dell' Aterno	BARI	Barisciano	140 III SE	Fossa-San Demetrio
8	media valle dell' Aterno	BOMI	Bominaco	146 IV SE	Fossa-San Demetrio
8	media valle dell' Aterno	BSPI	Bivio San Pio	146 IV NE	Fossa-San Demetrio
8	media valle dell' Aterno	CADO	Castello d'Ocre	146 IV NO	Fossa-San Demetrio
8	media valle dell' Aterno	ROCA	Rocca Calascio	146 I SO	Fossa-San Demetrio
8	media valle dell' Aterno	SSTS	S. Stefano Sessanio	140 III SE	Fossa-San Demetrio
8	media valle dell' Aterno	ACCI	Acciano	146 I SO	Conca Subequana
8	media valle dell' Aterno	CVSE	Castel V. Subequo	146 II NO	Conca Subequana
8	media valle dell' Aterno	SECI	Secinaro	146 III NE	Conca Subequana
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	RDCA	Rocca di Cambio	146 IV SO	Altopiano delle Rocche
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	TNER	Terre nere	146 IV SO	Altopiano delle Rocche
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	TORN	Tornimparte	145 I NO	Piana di Campo Felice
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	ANAT	Anatella	146 IV SO	
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	COCA	Colle Campoli	145 I NE	Piana di Campoli
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	ILMO	Il Monte	145 I NE	
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	QUAR	Le Quartora	145 I NE	
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	PSMA	Prati di Santa Maria	146 III NE	
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	OVIN	Ovindoli	146 III NO	
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	PPEZ	Piano di Pezza	145 I SE	Piano di Pezza
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	VPEZ	vado di Pezza	146 IV SO	Piano di Pezza
9	Campo Felice-Ovindoli-Pezza	PSIR	Prati del Sirente	146 IV SE	Prati del Sirente
10	Fucino	MSEL	Monte della Selva	146 II SO	
10	Fucino	TRAS	Trasacco	152 IV NO	
10	Fucino	SMPQ	Avezzano	145 II SE	
10	Fucino	MMAR	Magliano dei Marsi	145 II NE	
10	Fucino	SIER	Vallemora	152 IV NE	
10	Fucino	MRPN	Monte Rapanella	152 IV SE	
10	Fucino	VEVE	S. Venere	152 IV NE	
10	Fucino	CINC	Cincile	145 II SE	
10	Fucino	PESC	Pescina	146 III SE	
10	Fucino	ASCH	Aschi Vecchio	152 IV NE	
10	Fucino	FCLM	Celano	146 III NO	

10	Fucino	FRCA	Forca Caruso	146 III NO	
11	Vallelonga	MLNN	Madonna Lanna	152 II NO	
12	Valle del Salto	MAMA	Corvaro	145 I SO	Piana di Corvaro
12	Valle del Salto	VVRI	Val di Varri	145 IV SE	Val di Varri
12	Valle del Salto	SORB	Sorbo	145 II SO	Val di Varri
12	Valle del Salto	SSMF	S.Stefano-M.Faito	145 II NO	Val di Varri
13	Val Roveto	CPPD	Cappadocia	151 I NO	
13	Val Roveto	FTTI	Filettino	151 I SE	
13	Val Roveto	REND	Rendinara	152 IISO	
13	Val Roveto	PRCA	Prati di Campoli	152 III NO	
13	Val Roveto	PAMA	Pagliara dei Marsi	145 IISE	
13	Val Roveto	MVIP	Monte Viperella	151 I NE	
13	Val Roveto	CVDA	Civita d'Antino	152 IV SO	
13	Val Roveto	DOAB	Dolomiti d'Abruzzo	145 III NE	
13	Val Roveto	TRMT	Tremonti	145 II NO	
13	Val Roveto	PSCA	Pietrasecca	145 III NE	
13	Val Roveto	RIDO	Ridotti	152 II NO	
13	Val Roveto	VRCE	Verrecchie	145 II SO	
14	M.Marsicano-V.Sangro-Barrea	PASS	Passo del Diavolo	152 I SO	Pescasseroli
14	M.Marsicano-V.Sangro-Barrea	SS83	Pescasseroli	152 I SO	Pescasseroli
14	M.Marsicano-V.Sangro-Barrea	ORTO	Ortona dei Marsi	152 INO	
14	M.Marsicano-V.Sangro-Barrea	SSEB	S. Sebastiano	152 I NO	
15	valle del Sagittario	CVAL	Castrovalva	152 I NO	
15	valle del Sagittario	VLAG	Villalago	152 I NE	
16	Valnerina	CORT	Cortigno	132 III NO	
16	Valnerina	MPET	Monte Petano	138 I NE	
16	Valnerina	MOSP	Monte leone di Spol	138 I NE	
16	Valnerina	VTFU	Valico T.Fuscello	138 I SE	
16	Valnerina	TRIV	Trivio	139 IV NO	
17	Gole del Velino	TERM	Terminillo	139 III NO	
17	Gole del Velino	FAVI	Favischio	139 IV SE	
17	Gole del Velino	MICI	Micigliano	139 III NO	
17	Gole del Velino	LACU	Laculo	139 III NE	
17	Gole del Velino	NURI	Nuria	139 III SE	

Tabella 2 Distribuzione delle stazioni GPS in rapporto alle aree di interesse sismico e tettonico identificate da precedenti studi.

Table 2 Distribution of the GPS stations with respect to seismic and tectonic areas identified from previous studies.

S T A Z I O N E	N U M E R O	Anno				
		1	2	2	2	2
		9	0	0	0	0
		9	0	1	2	3
ACCI	1			x		
ACCU	2		x	x		
ANAT	1			x		
AQUI	4	x	x	x	x	x
ARAG	2		x	x		
ASCH	1			x		
AVEN	2		x	x		
BARI	1			x		
BOMI	2			x	x	
BORB	3		x	x	x	x
BSPI	1			x		
BSSI	1			x		
CADO	2		x	x		
CAME	3		x	x	x	x
CAMP	2		x	x		
CANT	2	x		x		
CAPI	2		x	x		
CASB	3	x		x	x	x
CCOR	2		x	x		
CDAQ	2	x		x		
CEPP	3	x		x	x	x
CHIA	2		x	x		
CIDA	1			x		
CINC	1			x		
CLAC	2	x		x		
COCA	1			x		
CORT	2		x	x		
CPAG	2		x	x		
CPNO	1			x		
CPPD	1			x		
CPSE	2	x		x		
CROG	3		x	x	x	x
CTOS	2		x	x		
CUMU	2	x		x		
CVAL	1			x		
CVDA	1			x		
CVSE	1			x		
DOAB	1			x		
FAVI	3		x	x	x	x
FCLM	1			x		
FRCA	1			x		
FRLC	2	x		x		
FTTI	1			x		
GREC	2	x		x		
ILMO	2		x	x		
INGR	4	x	x	x	x	x
IPRA	3	x		x	x	x
LABR	2	x		x		
LACU	3		x	x	x	x
LEON	2	x		x		
MACA	2		x	x		
MAMA	2			x	x	
MASC	2		x	x		
MER2	2			x	x	
MERA	2	x		x		
MICI	1		x	x		
MLNN	1			x		
MMAR	2		x	x		
MOMO	2		x	x		
MOSP	3	x	x	x	x	x
MPET	2	x		x		
MRPN	1			x		
MSEL	1			x		
MTSN	3		x	x	x	x
MVIP	1			x		
NICO	2	x		x		
NURI	2			x	x	
OCRE	2	x		x		
ORTO	1			x		
OVIN	2		x	x		
PACA	1			x		
PAMA	2			x	x	
PASS	2		x	x		
PESC	2		x	x		
POCA	3		x	x	x	x
POGB	2	x		x		
PPEZ	1			x		
PRCA	1			x		
PRET	3		x	x	x	x
PSCA	1			x		
PSIR	1			x		
PSMA	1			x		
QUAR	1			x		
RDCA	1			x		
REND	1			x		
RIDO	1			x		
RIFP	2		x	x		
ROCA	1			x		
ROFA	3		x	x	x	x
ROIO	3		x	x	x	x
RSTO	1			x	x	
S260	2		x	x		
SAVE	2		x	x		
SCIN	2		x	x		
SCRO	1		x			
SCUO	3		x	x	x	x
SECI	1			x		
SELL	2		x	x		
SETC	2	x		x		
SFRA	3		x	x	x	x
SIER	1			x		
SLUC	2		x	x		
SMAR	2		x	x		
SMPQ	2			x	x	
SORB	1			x		
SP30	2		x	x		
SROT	3		x	x	x	x
SS83	1			x		
SSEB	1			x		
SSMF	2			x	x	
SSTS	1			x		
STAB	2		x	x		
TARI	1		x	x		
TERM	4	x	x	x	x	x
TERR	2	x		x		
TNER	1			x		
TORN	2		x	x		
TRAS	2		x	x		
TRIV	2	x		x		
TRMT	1			x		
TRNE	2		x	x		
UNPG	3	x	x		x	
VCAR	2	x		x		
VENE	2			x	x	
VLAG	1			x		
VPEZ	3		x	x	x	
VRCE	2			x	x	
VTFU	2	x		x		
VVLO	3		x	x	x	
VVRI	1			x		

Tabella 3 Occupazioni annuali dei vertici della rete tra il 1999 e il 2003.

Table 3 Annual occupations of the GPS benchmarks between 1999 and 2003.

<i>anno</i>	<i>giorni giuliani</i>									
1999	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279
AQUI	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CANT						x	x			
CASB						x	x	x		
CDAQ	x	x	x	x	x					
CEPP			x	x					x	x
CLAC			x	x						
CPSE		x	x	x	x					
CUMU		x	x							
FRLC				x						
GREC						x	x			
INGR	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IPRA						x	x	x	x	
LABR						x	x	x	x	
LEON	x	x	x							
MERA				x	x					
MOSP		x	x	x	x					
MPET								x	x	
NICO								x	x	
OCRE		x		x						
POGB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
SETC								x	x	x
TERM	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TERR								x	x	
TRIV			x	x						
UNPG	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
VCAR		x		x						
VTFU			x	x						

Tabella 4 Campagna di misura del 1999: schema delle occupazioni giornaliere (giorni giuliani, J.D.) delle stazioni.

Table 4 Campaign 1999: daily occupations (Julian days, J.D.) of the stations.

anno	giorni giuliani																													
	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286
2001																														
ACCI														X	X															
ACCU																														
ANAT																														
AQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ARAG																														
ASCH																														
AVEN																														
BARI																														
BOMI																														
BORB																														
BSPI																														
BSSI																														
CADO																														
CAME	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CAMP																														
CANT																														
CAPI																														
CASB																														
CCOR																														
CDAQ																														
CEPP																														
CHIA																														
CIDA																														
CINC																														
CLAC																														
COCA																														
CORT																														
CPAG																														
CPNO																														
CPPD																														
CPSE																														
CROG																														
CTOS																														
CUMU																														
CVAL																														
CVDA	X	X	X																											
CVSE																														
DOAB																														
FAVI																														
FCLM																														
FRCA																														
FRLC																														
FTTI																														
GREC																														
ILMO																														
INGR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
IPRA																														
LABR																														

anno	giorni giuliani																
	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2002	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AQUI	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BOMI						x	x	x	x								
BORB													x	x	x		
CAME	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CASB													x	x	x	x	
CEPP													x	x	x	x	
CROG							x	x	x	x							
FAVI													x	x	x	x	
INGR	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IPRA															x	x	x
LACU																x	x
MAMA	x	x	x	x													
MER2													x	x	x	x	
MTSN																x	x
NURI																x	x
PAMA		x	x	x													
POCA													x	x	x	x	
PRET						x	x	x	x								
ROFA							x	x	x								
ROIO							x	x	x								
SCUO													x	x	x	x	
SFRA						x	x	x	x								
SMPQ	x	x	x	x													
SROT																x	x
SSMF		x	x	x	x												
TERM		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
UNPG	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
VENE	x	x	x	x	x	x											
VPEZ						x	x	x	x								
VRCE		x	x	x	x												
VVLO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 7 Campagna di misura 2002: schema delle occupazioni giornaliere (giorni giuliani, J.D.) delle stazioni.

Table 7 Campaign 2002: daily occupations (Julian days, J.D.) of the stations.

<i>anno</i>	<i>giorni giuliani</i>								
	294	295	296	297	298	299	300	301	302
2003									
AQUI	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BORB	x	x							
CAME	x	x	x	x					
CASB			x	x	x				
CEPP			x	x	x				
CROG	x	x	x						
FAVI			x	x	x				
INGR	x	x	x	x	x	x	x	x	x
IPRA			x	x	x				
LACU	x	x	x						
MOSP			x	x					
MTSN			x	x	x				
POCA	x	x							
PRET	x	x	x						
ROFA	x	x							
ROIO	x	x	x						
RSTO	x	x	x	x	x	x	x	x	x
SCUO			x	x	x				
SFRA	x	x	x						
SROT			x	x					
TERM	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TNER						x	x	x	
UNPG	x	x	x	x	x	x	x	x	x
VPEZ						x	x	x	
VVLO	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabella 8 Campagna di misura 2003: schema delle occupazioni giornaliere (giorni giuliani, J.D.) delle stazioni.

Table 8 Campaign 2003: daily occupations (Julian days, J.D.) of the stations.



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma - Italy
www.ingv.it