

STUDIO DELLE DEFORMAZIONI CROSTALI DELLA RETE CALABRIA CON METODO GPS

Domenica COSTANTINO (*), Marco ANZIDEI (**), Ignazio GUERRA (***), Maria Giuseppa ANGELINI (*), Giovanni CAPRINO (*)

(*) DIASS – Politecnico di Bari, Facoltà di Ingegneria di Taranto, v.le del Turismo 8 – 74100 Taranto.

E-mail: d.costantino@poliba.it; tel. +39 99 4733251, fax +39 99 4733304

(**) INGV ROMA via di Vigna Murata 605 00142 – Roma. E-mail: anzidei@ingv.it

(***) Università della Calabria. E-mail: guerra@unical.it; tel. +39 0984 4911, fax +39 0984 49 4401

Abstract

It's made the realization of an elevated precision GPS net, with the aim to evidence the geological conformation of the territory and to allow a monitoring of the Calabrian Peninsula deformation, between the provinces of Catanzaro and Vibo Valentia. The zone is studied for the seismic movements and also for the sea middle level that is in constant diminution, contrarily of the general course found on the Italian coasts. Probably, the reason of this phenomenon is connected to the presence of the Eolie islands situated in front of the Calabrian coasts and interested by an high seismicity. The Sicilian seismic area provokes a consequent tectonic modification. A net of observation has been created by means of the baselines between the different stations, each corresponding to a specific point of the two provinces territory. The obtained data set has been elaborated subsequently. The studied sessions are the data set collected in 2002, 2006, 2007 and 2008. The first data set was collected in the month of April 2002, from 5 to 8. The second data set was collected in the month of October and November 2006, precisely from October 24 to November 2. The third data set was collected in the month of March 2007, from 10 to 23, and the last in March 2008, from 12 to 29.

Riassunto

Si è realizzata una rete GPS di elevate precisione allo scopo di porre in evidenza la conformazione geologica del territorio e per consentire il monitoraggio delle deformazioni insistenti nella Penisola Calabra, nell' area ricadente tra le province di Catanzaro e Vibo Valentia. Si è studiata la zona in relazione ai movimenti sismici e allo studio del livello del medio mare, qui in costante abbassamento, contrariamente al trend generale riscontrato per le coste italiane. Probabilmente la ragione di questo fenomeno è imputabile alla presenza delle isole Eolie, interessate da alta sismicità, al largo della costa calabra. Inoltre l'area sismica siciliana produce una conseguente modifica della tettonica. Si è creata una rete di osservazioni per mezzo di baseline tra le differenti stazioni di misura, ciascuna corrispondente ad uno specifico punto ricadente nel territorio delle due province. I dati ottenuti sono stati successivamente elaborati ed analizzati con il software Bernese GPS. Si sono esaminati i dati delle sessioni del 2002, 2006, 2007 e 2008. In particolare il primo data set risale al periodo dal 5 all'8 Aprile 2002. La seconda campagna di misura è stata effettuata tra il 24 Ottobre e il 2 Novembre 2006. La terza campagna è avvenuta tra il 10 e il 23 Marzo 2007 e l'ultima tra il 12 e il 29 Marzo 2008.

1. Introduzione

L'istituzione della rete GPS è stata realizzata nella Calabria centrale tra le province di Catanzaro e Vibo Valentia. Tale zona è , in particolare, costituita dal blocco della Sila a Nord e da quello delle

Serre a Sud, uniti da una lingua di terra nota come la Stretta di Catanzaro, dove il Mar Ionio e il Mar Tirreno si trovano a soli 30 km di distanza. La Stretta presenta al suo interno settori distinti dal punto di vista morfologico. Il territorio ad Est di Catanzaro si divide in una parte bassa costituita da sedimenti di origine marina del Pliocene medio – Pleistocene e da una parte relativamente più rilevata costituita da sedimenti del Miocene. Il margine orientale delle superfici al tetto di entrambi i depositi segue l'andamento della costa ed è caratterizzato dalla presenza di un fitto reticolo idrografico con aste fluviali ortogonali alla linea di costa. Ad est, questa striscia di terreno è chiusa dal Promontorio di Crotona, costituito da resti di terrazzi marini sollevati. Il lato Tirrenico della Stretta di Catanzaro è, invece, costituito dalla piana costiera di Sant'Eufemia, caratterizzata da depositi alluvionali e dalla presenza del Fiume Amato, che si snoda circa da est ad ovest. Anche il margine settentrionale della Piana di Sant'Eufemia ha un andamento circa est-ovest ed è associato alla linea tettonica nota come Lamezia - Catanzaro. Una delle principali particolarità di tutta la Calabria, a scala regionale, è il veloce sollevamento a cui tutto questo settore è sottoposto.

I settori a nord e sud della Stretta di Catanzaro in passato sono stati sede di molti terremoti (figura 1) tra i più distruttivi della Calabria, tutti con magnitudo superiore a 6.5.

Due degli elementi fondamentali per descrivere la sismicità calabrese consistono nello studio dei terremoti del passato e nello studio della geologia e tettonica di questa regione, riconosciuta da sempre come uno dei luoghi maggiormente attivi di tutto il Mediterraneo.



Figura 1 – Localizzazione epicentrale dei principali terremoti della Calabria centrale e meridionale, tratta dal Catalogo dei Forti Terremoti in Italia.

Questi elementi confluiscono in modelli di pericolosità sismica, che puntualmente fotografano una propensione di questa terra a dare terremoti più forti e più frequenti di quanto non avvenga in qualunque altra zona della penisola.

Tale relazione si avvale di risultati di ricerche recenti, condotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

2. Progettazione della rete calabra

Per monitorare le eventuali deformazioni crostali derivanti dalla cospicua attività sismica, nella zona esaminata è stata realizzata una rete di monitoraggio di misure GPS ad alta precisione. In particolare, sono state condotte diverse campagne di misura, la prima risalente all'aprile del 2002, l'ultima a marzo del 2008 (figure 2-3 e tabella 1).

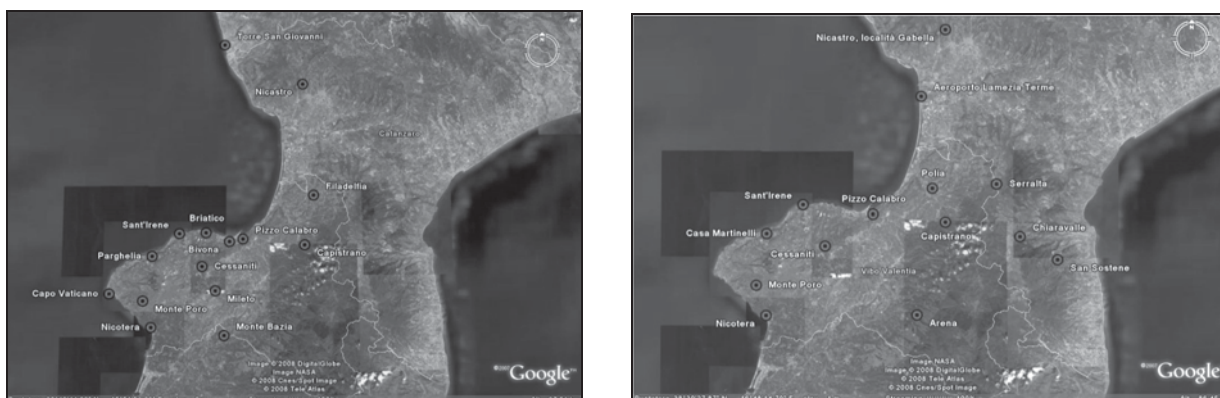


Figura 2 – Stazioni della campagna del 2002(sinistra) e del 2006 (destra).

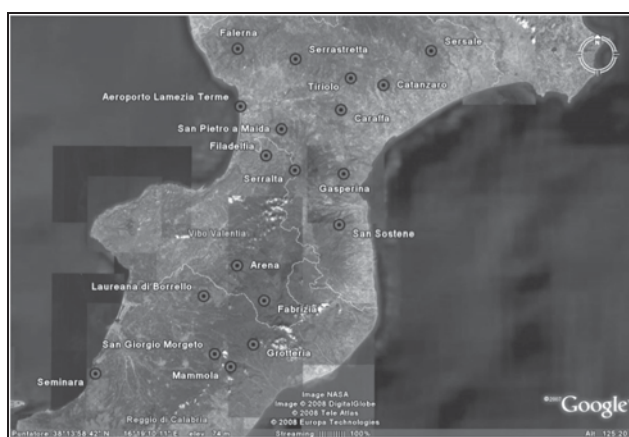


Figura 3 – Stazioni della campagna del 2007(sinistra)

Campagne di misura	n. stazioni istituite
5-8 aprile 2002	15
24 ott. – 2 nov. 2006	14
10-23 marzo 2007	19
12-29 marzo 2008	19

Tabella 1 – Campagne di misure e relative stazioni.

È stata utilizzata la strumentazione a doppia frequenza *LEICA GX1230* e *Trimble 4000SSI* con antenna,rispettivamente, *LEIAX1202* e *TRM22020 Ground Plane*.

L'elaborazione dei dati è stata condotta con il *Bernese GPS Software* (versione 5.0). Il processamento delle baselines è avvenuto in tre diverse fasi consecutive, ciascuna ripetuta per ogni sessione: nella prima fase si sono calcolate le correzioni per gli orologi dei ricevitori; nella seconda fase utilizzando la strategia *OBS-MAX*, che ottimizza le singole differenze in base al numero di osservazioni comuni di entrambe le stazioni di ogni baseline, si sono formate le *single differenze*; nell'ultima, utilizzando la combinazione lineare *Ionosphere Free*, si sono analizzati i *cycle slip*.

La rete è stata compensata inizialmente in modalità *BASELINE* per produrre una soluzione ambiguity – free, successivamente con strategia *QIF* (Quasi Ionosphere free) sulle frequenze L1 ed L2 risolvendo le ambiguità ed infine in modalità *CORRECT* generando le equazioni normali per ciascuna sessione.

3. Risultati delle campagne di misura

Di seguito (tabelle 2- 5) si riportano le coordinate geocentriche, con i relativi rms, delle diverse stazioni nelle diverse campagne di misura.

STAZIONE	X [m]	RMS [m]	Y [m]	RMS [m]	Z [m]	RMS [m]
Bivona	4788241.3084	0.0020	1382326.4107	0.0012	3967041.2471	0.0016
Briatico	4788815.9876	0.0018	1376691.6798	0.0008	3968296.6941	0.0015
Capo Vaticano	4800684.3435	0.0013	1361574.4114	0.0006	3959191.2316	0.0011
Cessaniti	4792817.3720	0.0017	1378131.8991	0.0010	3963455.5923	0.0014
Capistrano	4784804.1390	0.0022	1396599.0709	0.0021	3966566.0342	0.0017
Filadelfia	4778771.8441	0.0028	1396787.2707	0.0022	3974316.8437	0.0019
Monte Bazia	4799580.9887	0.0018	1384539.1758	0.0013	3952989.4380	0.0015
Mileto	4794992.6705	0.0020	1381446.5310	0.0012	3959776.0068	0.0017
Nicastro	4765734.7241	0.0030	1391060.7689	0.0018	3991821.4802	0.0028
Nicotera	4802526.1429	0.0019	1370666.0776	0.0008	3954270.1737	0.0017
Parghelia	4794110.7471	0.0011	1368346.7772	0.0004	3964931.0359	0.0010
Torre S. Giovanni	4764476.0349	0.0028	1374491.0865	0.0006	3998042.4536	0.0031
Monte Poro	4800243.0120	0.0000	1368324.1290	0.0000	3958535.1020	0.0000
Sant'Irene	4789505.1105	0.0018	1373286.8687	0.0007	3968602.8915	0.0015
Pizzo Calabro	4787299.5775	0.0019	1384803.4333	0.0014	3967487.4229	0.0017

Tabella 2 – Coordinate geocentriche della rete Calabria 2002 (Bernese software)

STAZIONE	X [m]	RMS [m]	Y [m]	RMS [m]	Z [m]	RMS [m]
Aeroporto	4771950.1546	0.0023	1388685.7871	0.0011	3984255.0497	0.0019
Arena	4795638.3612	0.0043	1394839.3713	0.0015	3954594.1024	0.0034
Casa martinelli	4794110.7670	0.0021	1368346.7726	0.0008	3964931.0352	0.0018
Capistrano	4784804.1677	0.0047	1396599.0698	0.0030	3966566.0483	0.0036
Cessaniti	4792817.3984	0.0026	1378131.9026	0.0010	3963455.5962	0.0021
Chiaravalle	4783033.5465	0.0026	1408922.4049	0.0016	3964869.0272	0.0021
Nicastro (loc.Gabella)	4765734.7452	0.0030	1391060.7594	0.0012	3991821.4773	0.0024
Nicotera	4802526.1559	0.0044	1370666.0786	0.0013	3954270.1766	0.0031
Polia	4781924.9040	0.0027	1393519.3383	0.0013	3970796.7068	0.0023
Monte Poro	4800243.0120	0.0000	1368324.1290	0.0000	3958535.1020	0.0000
Pizzo Calabro	4787299.5967	0.0038	1384803.4371	0.0022	3967487.4297	0.0032
Serralta	4779235.0396	0.0024	1403779.8642	0.0014	3971912.4537	0.0019
Sant'Irene	4789505.1240	0.0030	1373286.8694	0.0015	3968602.8827	0.0026
San Sostene	4783519.6653	0.0035	1415589.6230	0.0020	3961751.4746	0.0028

Tabella 3 – Coordinate geocentriche della rete Calabria 2006 (Bernese software)

STAZIONE	X [m]	RMS [m]	Y [m]	RMS [m]	Z [m]	RMS [m]
Aeroporto Lamezia T.	4771950.3311	0.0002	1388685.8527	0.0001	3984255.2163	0.0002
Arena	4795638.5732	0.0007	1394839.4547	0.0002	3954594.2618	0.0005
Serrastretta	4763626.1711	0.0005	1399424.1739	0.0002	3991683.1721	0.0005
Caraffa	4767382.5784	0.0004	1411328.9299	0.0002	3982395.1251	0.0004
Catanzaro - Timpone	4761341.3927	0.0010	1419705.2758	0.0004	3986902.5211	0.0007
Fabrizia	4799018.3652	0.0005	1402289.8278	0.0002	3948594.9002	0.0004
Filadelfia	4778759.5556	0.0005	1396779.4406	0.0002	3974336.5600	0.0004
Gasperina	4776311.9188	0.0004	1414573.0824	0.0002	3971073.9474	0.0003
Mammola	4810065.3689	0.0006	1397470.7784	0.0003	3936403.5671	0.0005
Grotteria	4805675.1241	0.0005	1401625.5154	0.0002	3940614.1581	0.0004
Falerna	4766213.9617	0.0005	1386408.7878	0.0003	3993894.7127	0.0005
Serralta	4779235.0396	0.0000	1403779.8642	0.0000	3971912.4537	0.0000
Laureana di Borrello	4802028.3100	0.0006	1388710.7996	0.0002	3949119.3488	0.0005
Seminara	4819743.4729	0.0004	1367763.0930	0.0003	3934893.5063	0.0003
Tiriolo	4762692.4570	0.0004	1412290.5126	0.0002	3988308.6461	0.0004
Sersale	4753668.6270	0.0006	1428799.0327	0.0003	3993101.3911	0.0005
San Giorgio Morgeto	4809521.3821	0.0006	1393505.1457	0.0002	3938853.8103	0.0005
San Pietro a Maida	4773976.3725	0.0005	1399054.0632	0.0002	3979023.2710	0.0004
San Sostene	4783519.8912	0.0005	1415589.7127	0.0002	3961751.6442	0.0004

Tabella 4 – Coordinate geocentriche della rete Calabria 2007 (Bernese software)

STAZIONE	X [m]	RMS [m]	Y [m]	RMS [m]	Z [m]	RMS [m]
Aeroporto Lamezia T.	4771950,3324	0.0002	1388685,8521	0.0003	3984255,2150	0.0005
Seminara	4819743,4727	0.0007	1367763,0924	0.0003	3934893,5067	0.0005
San Giorgio Morgeto	4809521,3792	0.0013	1393505,1555	0.0004	3938853,8253	0.0010
Sorbo S. Basile	4755502,6844	0.0005	1412378,0351	0.0003	3997423,7151	0.0004
San Sostene	4783519,8883	0.0012	1415589,7297	0.0005	3961751,6425	0.0009
Casa martinelli	4794110,9726	0.0015	1368346,8603	0.0005	3964931,2089	0.0013
Catanzaro - Timpone	4761341,3962	0.0022	1419705,2916	0.0008	3986902,5290	0.0014
Gasperina	4776311,9177	0.0011	1414573,0837	0.0005	3971073,9483	0.0009
Filadelfia	4778759,5270	0.0011	1396779,4419	0.0004	3974336,5442	0.0009
Nicastro (loc.Gabella)	4765734,9265	0.0015	1391060,8415	0.0005	3991821,6265	0.0011
Cessaniti	4792817,6017	0.0010	1378131,9884	0.0004	3963455,7655	0.0009
Nicotera	4802525,2118	0.0030	1370665,3352	0.0013	3954268,2822	0.0018
Caraffa	4767382,5732	0.0010	1411328,9330	0.0004	3982395,1187	0.0008
Fabrizia	4799018,3672	0.0012	1402289,8311	0.0005	3948594,8981	0.0009
SVIT	4779235,2511	0.0009	1403779,9403	0.0004	3971912,6339	0.0008
Arena	4795638,5842	0.0016	1394839,4593	0.0005	3954594,2817	0.0012
Chiaravalle	4783033,7743	0.0014	1408922,4965	0.0006	3964869,2034	0.0011
Laureana di Borrello	4802028,3171	0.0016	1388710,8084	0.0006	3949119,3617	0.0013
Tiriolo	4762692,4391	0.0013	1412290,5068	0.0006	3988308,6367	0.0011

Tabella 5 – Coordinate geocentriche della rete Calabria 2008 (Bernese software)

Considerando le stazioni comuni alle due campagne di misura è stata effettuata una *Trasformazione di Helmert* del 2006 sul 2002 (figura 3) ottenendo gli scostamenti, riassunti nella tabella 6.

STAZIONE	ΔX [mm]	ΔY [mm]	ΔZ [mm]
<i>Cessaniti</i>	16.1	4.6	0.6
<i>Capistrano</i>	1.0	2.1	-2.0
<i>Nicastro</i>	1.0	-1.8	0.6
<i>Nicotera</i>	9.1	-0.3	0.0
<i>Pizzo Calabro</i>	2.6	6.0	0.7
<i>Monte Poro</i>	-1.1	-0.2	1.4
<i>Sant'Irene</i>	7.9	2.0	-4.9

Tabella 6 – Scostamenti tra le campagne 2006 e 2002 dopo la *Trasformazione di Helmert*

In riferimento alle successive campagne non è stato possibile eseguire una trasformazione al 2002 non avendo dati sufficienti in comune e non essendo i vertici di queste ultime di interessante confronto con le precedenti. È stata pertanto eseguita una trasformazione di Helmert del 2008 sul 2007 di cui si riportano nella tabella di seguito i risultati.

STAZIONE	ΔX [m]	ΔY [m]	ΔZ [m]
Aeroporto Lamezia T.	0,0013	-0,0006	-0,0013
Seminara	-0,0002	-0,0006	0,0004
Fabrizia	0,0020	0,0033	-0,0021
Filadelfia	-0,0286	0,0013	-0,0158
Laureana di Borrello	0,0071	0,0088	0,0129
San Giorgio Morgeto	-0,0029	0,0098	0,0150
Caraffa	-0,0016	0,0031	-0,0064
Gasperina	-0,0011	0,0013	0,0009
Tiriolo	-0,0179	-0,0058	-0,0094
Arena	0,011	0,0046	0,0199
San Sostene	-0,0029	0,0170	-0,0017
Catanzaro - Timpone	0,0035	0,0158	0,0079

Tabella 7 – Scostamenti tra le campagne 2007 e 2008 dopo la *Trasformazione di Helmert*

4. Conclusioni

Dall'analisi della tabella 6, sembrerebbe, per la maggior parte dei vertici, che non vi siano spostamenti planoaltimetrici relativi. In modo anomalo rispondono Cessaniti, Santa Irene e Nicotera, in cui l'ordine di grandezza della trasformazione risulta maggiore della precisione della rete. In realtà, un esame complessivo più attento induce ad una certa prudenza in un'interpretazione di tali dati che potrebbe risultare superficiale.

Infatti, è opportuno notare, che due campagne di misura (la campagna 2007 non può essere confrontata con le altre perché composta da stazioni diverse) sono un numero insufficiente per trarre conclusioni certe e che tutte le considerazioni esposte possono essere eventualmente validate solo con l'ausilio di dati ricavati da ulteriori campagne.

Anche per quel che attiene alla campagna 2008 non è stato possibile eseguire confronti con le precedenti a meno della 2007 la quale possedeva un numero di vertici comuni e per cui è stata eseguita la trasformazione di Helmert. Pertanto le eventuali anomalie presenti in quest'ultima trasformazione non possono indurre a nessuna oggettiva interpretazione avendo anche in questo caso un numero ancora limitato di campagne di misura. Ulteriori analisi verranno condotte per stabilire se si tratta di movimenti locali (ad esempio frane o altro).

Bibliografia

A. Capra, D. Costantino, A. Galeandro – “*Analisi delle deformazioni crostali dell'arco Ionico tarantino*” – 9a Conferenza Nazionale ASITA, Catania 15-18/11/05, ISBN 88-900943-9-7, II vol., pp. 1129-1134;

M. G. Angelini, A. Bellanova, A. Capra, D. Costantino, A. Galeandro – “*Tecnica speditiva di stima del geode a scala locale*” - 10a Conferenza ASITA, ISBN 88-900943-0-3, vol. I, pp. 63-68 Bolzano 14-17/11/06;

Serpelloni, E., Anzidei, M., Baldi, P., Casula, G. and Galvani, A. – “*Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks*”- Geophysical Journal International 161(3), pp. 861-880. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02618.x, 2005;

M. Anzidei, A. Esposito, F. Antonioli, A. Benini, A. Tertulliani, C. Del Grande, “*I movimenti verticali nell'area di Briatico: evidenze da indicatori archeologici marittimi nell'area del terremoto del 1905*”. A cura di I. Guerra e A. Savaglio Regione Calabria, Università della Calabria, Deputazione di Storia Patria per la Calabria “*8 settembre 1905 – Terremoto in Calabria*”, 2006;

M. Anzidei, A. Esposito, “*Linee guida per l'identificazione di siti idonei alla realizzazione di stazioni GPS permanenti e non permanenti*” – 2003 – Rapporti Tecnici INGV n°18;

I. Guerra, P. Harabaglia, A. Moretti, “*La sismicità della Calabria nel contesto geodinamico del Mediterraneo*” – tratto da: “*8 Settembre 1905, terremoto in Calabria*” a cura di I. Guerra, A. Savaglio;

M.M. Tiberti, U. Fracassi, G. Valensise, “*Il quadro sismo tettonico del grande terremoto del 1905*” – tratto da: “*8 Settembre 1905, terremoto in Calabria*” a cura di I. Guerra, A. Savaglio.

Ringraziamenti

The Engineering Faculty of Taranto of the Technical University of Bari has financially supported the participation of the authors at the conference, using funds of the Provincia di Taranto for the support of the faculty's didactic and scientific activities.