

**TYRGEONET. LA RETE GEODETICA GPS DEL MEDITERRANEO CENTRALE**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 251
ABSTRACT	” 251
INTRODUZIONE	” 251
IL SISTEMA NAVSTAR - GPS	” 253
CAMPAGNE DI MISURA	” 255
PRIMI RISULTATI	” 255
BIBLIOGRAFIA	” 255

RIASSUNTO

Il progetto TYRGEONET (*TYRrhenian GEOdetic NETWORK*), realizzato con la partecipazione di varie Università ed Enti italiani e stranieri, si prefigge di misurare mediante tecniche geodetiche spaziali GPS le deformazioni crostali in un'area del Mediterraneo centrale interessata da importanti fenomeni geodinamici fin dal Cretaceo e dove l'intensa attività sismica testimonia ancora oggi una dinamica crostale attiva.

A questo scopo è stata istituita una rete geodetica di 58 vertici che copre una vasta area del Mediterraneo centrale collegando l'Italia ad alcuni paesi vicini, come Francia, Germania, Jugoslavia, Grecia e Tunisia.

Alcuni vertici della rete appartengono a reti locali che vengono periodicamente misurate sia con tecniche terrestri che spaziali.

Nel lavoro vengono descritti il progetto e i risultati preliminari delle prime due campagne di misura.

ABSTRACT

The TYRGEONET (*TYRrhenian GEOdetic NETWORK*) project was born from the cooperation of many Italian and foreign institutions to monitor crustal deformations in the Central Mediterranean area by spatial techniques.

This area was interested by a strong geodynamical activity since Cretaceous and nowadays the high seismic activity witnesses an active crustal dynamics.

Therefore a network of 58 vertices was established linking Italy to some other surrounding countries like France, Germany, Yugoslavia, Greece and Tunisia.

Some of the TYRGEONET stations belong to local networks periodically measured by terrestrial and space techniques. We describe the project and the preliminary results of the first two campaigns.

**PAROLE CHIAVE:** Deformazioni crostali, GPS, Mediterraneo centrale.

(\*) Dipartimento di Ingegneria Civile Edile - Università di Roma Tor Vergata.

(\*\*) Istituto Nazionale di Geofisica - Roma.

(\*\*\*) Dipartimento di Fisica, Settore Geofisica - Università di Bologna.

(\*\*\*\*) Dipartimento di Ingegneria Civile Edile - Università di Bologna.

**KEY WORDS:** Crustal Deformations, GPS, Central Mediterranean.

INTRODUZIONE

La realizzazione di reti geodetiche per il rilevamento delle deformazioni del suolo è attualmente una delle tecniche più efficaci per la comprensione dei fenomeni tettonici e dei loro processi evolutivi; la deformazione del suolo osservabile è infatti evidenza diretta dei processi di accumulo di sforzi che agiscono sulla crosta terrestre (MULARGIA *et al.*, 1990; ACHILLI E BALDI, 1991; DIXON, 1991).

L'osservazione geodetica ripetuta permette una stima delle dimensioni spaziali e dell'andamento temporale dei fenomeni deformativi di lungo termine (tettonici) e di breve termine (pre e post-sismici), evidenziati da deformazioni sulla superficie topografica (LOPERFIDO, 1909; GIBBONS, 1990).

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche di misura spaziali come il GPS (*Global Positioning System*), l'SLR (*Satellite Laser Ranging*) e il VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) che, a differenza dei metodi classici, permettono di avere misure di distanze di basi molto lunghe e con elevate precisioni (Fig. 1).

Nel 1989 l'Istituto Nazionale di Geofisica e l'Università di Bologna, in collaborazione con diversi Istituti italiani ed esteri, ha istituito nel Mediterraneo cen-

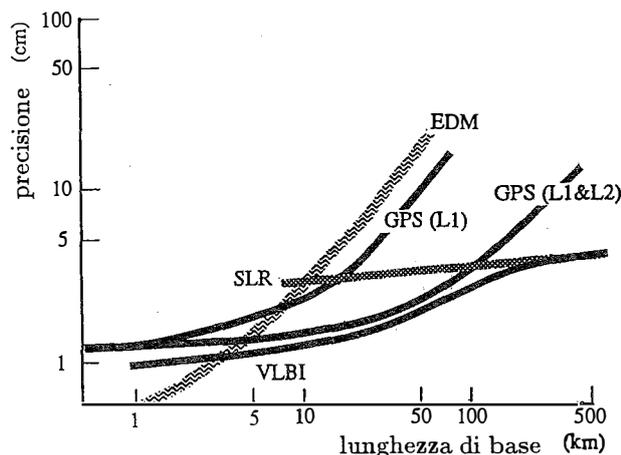


Fig. 1 - Precisioni di alcune tecniche di misura in funzione della lunghezza delle basi misurate. I metodi SLR e VLBI hanno precisioni quasi indipendenti dalla lunghezza, al contrario dei metodi EDM (classico) e GPS a una (L1) e due (L1 e L2) frequenze. Il metodo EDM non può essere utilizzato per basi superiori a 50 km circa perché è necessaria l'intervisibilità tra i punti di misura; per basi intorno ai 100 km il GPS a doppia frequenza risulta attualmente tra i più convenienti.

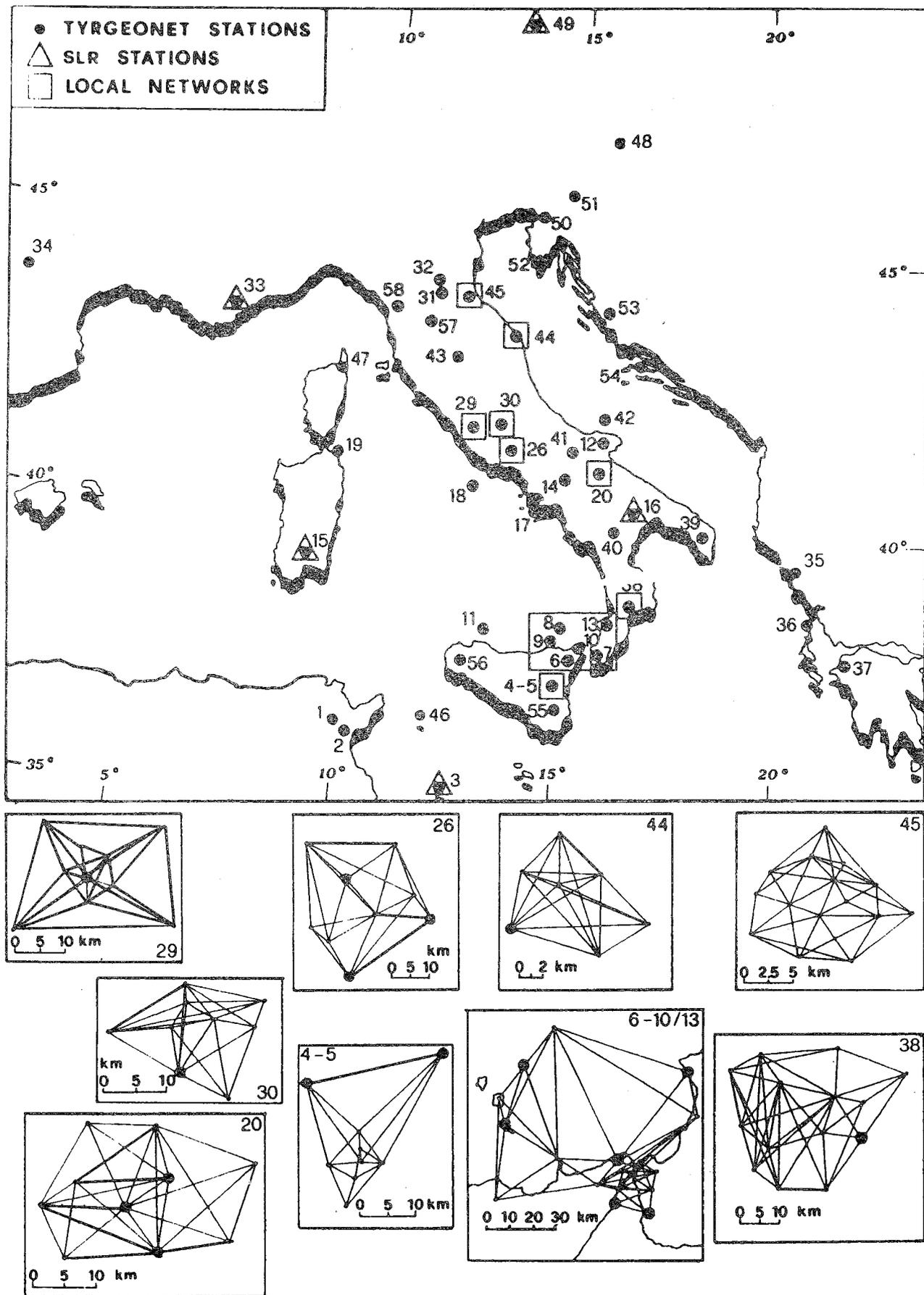


Fig. 2 - Vertici appartenenti alla rete TYRGEONET, alcuni di essi fanno parte delle reti locali riportate negli schemi: n. 29 Colli Albani, n. 30 Aquilano, n. 20 Lucera, n. 26 Cassino, n. 4-5 Stretto di Messina, n. 44 Ancona, n. 6-13 Arco Calabro, n. 45 Forlivese, n. 38 Catanzaro. Con i triangoli sono evidenziate le stazioni SLR.

trale una rete geodetica GPS con lo scopo di misurare le deformazioni crostali in quest'area tuttora interessata da importanti fenomeni geodinamici, testimoniati da una forte attività sismica.

La TYRGEONET (*TYRrhenian GEOdetic NETWORK*) è costituita da 58 vertici (I ordine IGM, rete geomagnetica ING-IGM, altri) distribuiti in un'ampia area che va dalla Germania alla Tunisia, dalla Francia alla Jugoslavia e Grecia e che ricoprono buona parte dell'Italia (Fig. 2).

Tra questi Graz, Wetzell, Cagliari, Grasse, Lampedusa e Matera sono già stazioni di misura SLR appartenenti alla rete WEGENER - MEDLAS (*Working group of European Geoscientists for the Establishment of Networks for Earthquake Research - MEDiterranean LASer*) e Medicina, oltre a Matera, è una stazione VLBI, ciò permetterà il confronto di risultati ottenuti con differenti tecniche di misura. I dati ricavati da misure GPS forniscono le coordinate dei vertici della rete nel sistema di riferimento geocentrico WGS84 (*World Geodetic System 1984*) e le loro interdistanze. Le precisioni che si ottengono con questo tipo di misure sono molto elevate, dell'ordine di circa 0.1 ppm (1ppm =  $10^{-6}$ ).

La ripetizione periodica delle campagne di misura potrà fornire un utile contributo alla stima del campo di deformazioni crostali in atto nell'area, del suo andamento temporale e delle sue possibili correlazioni con il verificarsi di eventi sismici.

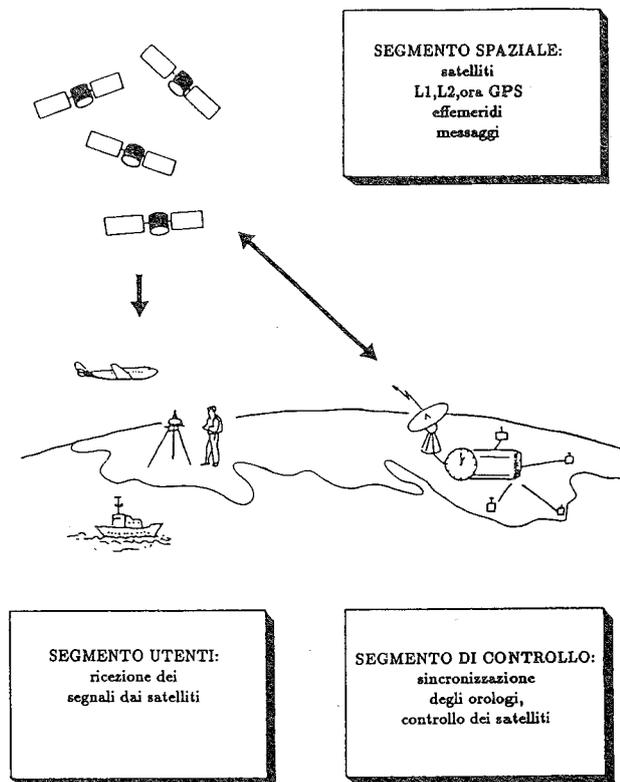


Fig. 3 - Schema del sistema NAVSTAR-GPS.

## IL SISTEMA NAVSTAR - GPS

La costellazione satellitare NAVSTAR - GPS, la cui sigla sta per *NAVigation Satellite Timing And Ranging - Global Positioning System*, è un sistema spaziale che fornisce stime molto accurate della posizione di osservatori posti sulla superficie terrestre.

Il sistema è articolato in tre parti (Fig. 3): un segmento spaziale, un segmento di controllo e un segmento utenti.

Il segmento spaziale è rappresentato da satelliti distribuiti su sei piani orbitali inclinati di  $55^\circ$  e intervallati di circa  $60^\circ$ , quota operativa di circa 20.000 Km e periodo di rivoluzione di 11 h e 58 m.

Quando la costellazione verrà completata, saranno in orbita 21 satelliti operativi e tre di riserva ciò permetterà l'osservazione contemporanea di almeno quattro satelliti in ogni istante del giorno e quindi la possibilità di calcolare le quattro incognite (latitudine, longitudine, quota e correzione degli orologi) occorrenti per la definizione della posizione del punto di osservazione rispetto al sistema di riferimento geocentrico WGS84.

Il segmento di controllo è composto da cinque stazioni distribuite lungo la fascia equatoriale e all'incirca equispaziate tra loro. Tutte e cinque sono stazioni di monitoraggio: ricevono il segnale GPS, controllano lo stato dei satelliti e le loro orbite.

La posizione di queste stazioni è nota con una accuratezza elevatissima.

Una stazione, quella di Colorado Spring, è la *master control station* che ha il compito di elaborare i dati che le vengono inviati dalle altre stazioni di controllo. L'elaborazione consiste nel calcolare le effemeridi dei satelliti e le correzioni di orologio che successivamente vengono ritrasmesse ai satelliti stessi da tre del-

le stazioni, ottenendo così un aggiornamento continuo della posizione di ciascun satellite e dell'ora GPS.

Il segmento utenti è costituito da coloro che hanno a disposizione a terra strumenti atti a ricevere e registrare i segnali trasmessi dai satelliti.

Il segnale GPS viene trasmesso da ciascun satellite su due frequenze portanti: la L1 a 1575.42 MHz e la L2 a 1227.60 MHz, con rispettive lunghezza d'onda di  $l_1 = 19$  cm e  $l_2 = 24$  cm.

Queste portanti sono modulate con due codici fondamentali e con un messaggio di navigazione.

I codici, che sono sequenze binarie ottenute modulando le portanti mediante inversioni di fase, sono: il codice P (10.23 MHz;  $l = 29.3$  m) che si ripete ogni 267 giorni e il codice C/A (1.023 MHz;  $l = 293$  m) che si ripete ogni millisecondo.

La frequenza L1 contiene entrambi i codici, mentre la frequenza L2 solo il codice P.

Il messaggio di navigazione contiene l'identificazione del satellite con la sua orbita aggiornata, l'almanacco dell'intera costellazione dei satelliti e il tempo di riferimento GPS.

Il principio di funzionamento del ricevitore è quello di generare un segnale analogo a quello trasmesso dal satellite e nell'identificare per ciascun satellite la sequenza codificata sulle portanti. Lo sfasamento esistente tra il segnale inviato dal satellite e quello generato dal ricevitore dipende fondamentalmente dalla distanza tra punto di osservazione e satellite. Poiché il satellite è in movimento, lo sfasamento non è costante e inoltre la frequenza del segnale inviato varia per effetto Doppler. Con elaborazioni che si basano su procedure differenti è possibile risalire sia alla posizione assoluta che alla posizione relativa tra diversi osservatori (nel sistema WGS84), con precisioni molto elevate.

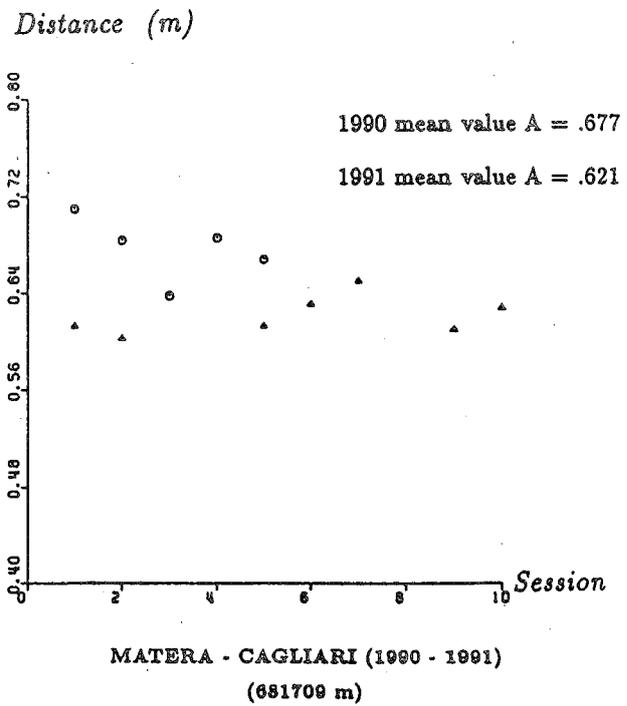
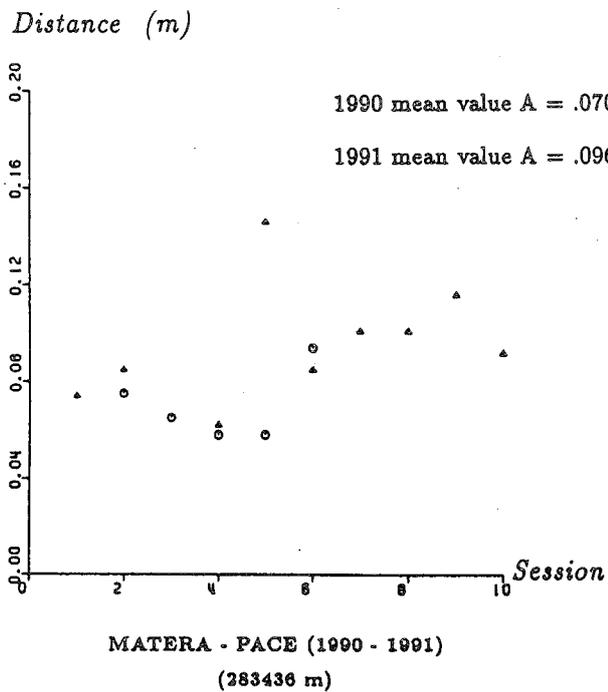
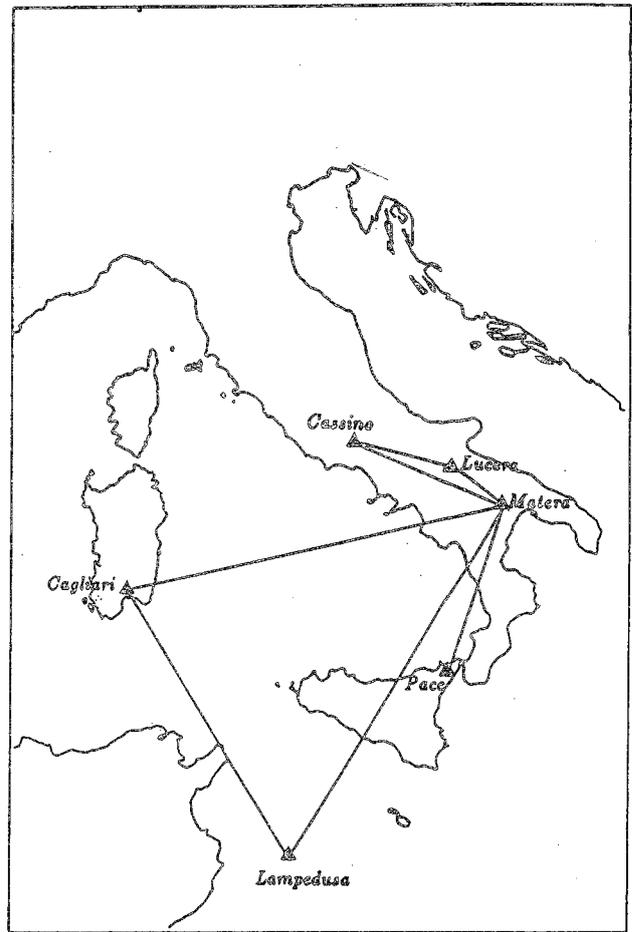
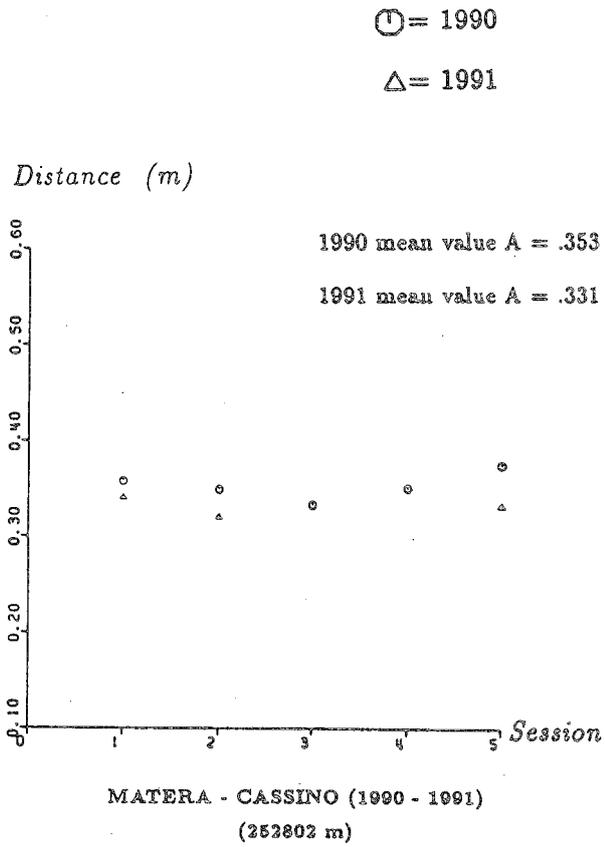


Fig. 4 - Confronto tra i risultati 1990 e 1991 per le basi Matera - Cassino, Matera - Pace, Matera - Cagliari. La ripetibilità è entro 0.1 ppm.

Lo sviluppo di questa tecnica di posizionamento ne ha consentito un impiego intensivo in geodesia consentendo la misura delle interdistanze tra punti di osservazione non intervisibili e distanti centinaia di chilometri, superando molte delle problematiche incontrate con le misure geodetiche classiche.

## CAMPAGNA DI MISURA

La prima campagna TYRGEONET è stata effettuata durante il mese di giugno del 1990 con la occupazione di 33 vertici posti in Italia, Francia e Tunisia per sei giorni di misura, utilizzando 16 ricevitori a doppia frequenza e 9 a singola frequenza (WM-101, WM-102, Trimble e Ashtech).

Nel corso della seconda campagna, effettuata durante il mese di giugno 1991, è stato realizzato un ampliamento della rete nell'area ionica e adriatica, istituendo alcuni vertici in Grecia e Jugoslavia e densificando la rete nell'area dell'Appennino centrale. Sono stati quindi misurati 36 vertici di cui 15 relativi alla campagna 1990.

Durante i 10 giorni di osservazioni sono stati impiegati 32 ricevitori a doppia frequenza (WM-102, Trimble e Ashtech).

Nel corso della seconda campagna, effettuata durante il mese di giugno 1991, è stato realizzato un ampliamento della rete nell'area ionica e adriatica, istituendo alcuni vertici in Grecia e Jugoslavia e densificando la rete nell'area dell'Appennino centrale. Sono stati quindi misurati 36 vertici di cui 15 relativi alla campagna 1990.

Durante i 10 giorni di osservazioni sono stati impiegati 32 ricevitori a doppia frequenza (WM-102, Trimble e Ashtech).

## PRIMI RISULTATI

L'elaborazione delle misure è stata effettuata inizialmente con i softwares commerciali (PoPS, Trimvec e GPPS) necessari per il processamento dei dati WM, Trimble e Ashtech. Successivamente i dati sono stati trattati con il programma Bernese V3.2 (ROTHACHER *et al.*, 1988).

Attualmente sono stati elaborati solo i dati relativi ad alcune basi con lo scopo di valutare la ripetibilità giornaliera delle misure sia per la campagna del 1990

che per la campagna del 1991 (tab. 1 e tab. 2). La Fig. 4 mostra i grafici relativi alle basi di Matera - Cassino, Matera - Pace, Matera - Cagliari per le quali è stato possibile effettuare un confronto tra i dati delle due campagne.

Ciò che si evince dai risultati finora ottenuti è la buona ripetibilità dei valori delle interdistanze ottenute sia su basi corte (circa 200 km) che su basi molto lunghe (circa 700 km) raggiungendo precisioni dell'ordine di 0.1 ppm, valore più che accettabile per una buona utilizzazione del metodo nella misura di deformazioni crostali.

## BIBLIOGRAFIA

ACHILLI V., ANZIDEI M., BALDI P., BANNI A., BARILE V., BEINAT A., BENCIOLETTI B., BETTI B., BITELLI G., BRIOLE P., BROCCIO F., CAMPOLO F., CAPONE G., CAPRA A., CHADI M., CRESPI M., DE MARCO M., DI FILIPPO R., FAVRE F., GASPARINI C., GIACOBBE G., GRASSI V., MARCHETTI M., MARSAN P., MARSELLA M., MASSUCCI A., NUNNARI G., PUGLISI G., QUARENI F., RIGUZZI F., RONDONI C., SALEMI G., SOURIAU A., TRABELSI H., UNGUENDOLI M., VECCHI M., VELARDITA R., VETTORE A. & VITTUARI L. (1990) - *TYRGEONET. La rete GPS del Tirreno*. Atti IX convegno NGTS, in stampa, Roma.

ACHILLI V. & BALDI P. (1991) - *Prospettive ed applicazioni delle tecniche geodetiche per lo studio di aree sismiche, Aree sismogenetiche e rischio sismico II*. Ed. Galileo Galilei, Roma.

BARBER G. (1989) - *GPS. Overview and status*. Seminar on the Global Positioning System. Nottingham.

DIXON T.H. (1991) - *An introduction to the Global Positioning System and some geological applications*. Reviews in Geophysics 29, 2, 249-276.

ENGLAND P. (1989) - *Geophysical application of GPS surveying*. Seminar on the Global Positioning System. Nottingham.

GIBBONS G. (1990) - *GPS and the quake*, *GPS World*, 1,1,34-39.

LOPERFIDO A. (1909) - *Livellazione geometrica di precisione*. Rel. Comm. Reale, Accademia Nazionale dei Lincei, all. D, 131-156, Roma.

MULARGIA F., ACHILLI V., BROCCIO F. & BALDI P. (1990) - *Is a destructive earthquake imminent in Southeastern Sicily? Tectonophysics*, in stampa.

ROTACHER M., BEUTLER G., GUNTER W. & SCHILDKNECHT (1988) - *Documentation for the Bernese software version 3.0*. University of Berne.

WELLS D. (1986) - *Guide to GPS Positioning*. Canadian GPS Associates, New Brunswick, Canada.

