

Terremoti e sismica con giroscopi laser



Rotational seismology by a laser gyroscope

J. Belfi¹, A. Di Virgilio², N. Beverini¹, A. Licciardi³, G. Saccorotti³

¹*Department of Physics, University of Pisa, Largo Pontecorvo 3, Pisa, Italy*

²*INFN Sezione di Pisa, Largo Pontecorvo 3, Pisa, Italy*

³*INGV Sezione di Pisa Via della Faggiola, 32 - 56126 Pisa*

Trieste 14 novembre 2011
GNGTS

Rotational Seismology



GROUND MOTION

Translations (3 d.o.f.)
 Strains (6 d.o.f.)
Rotations (3 d.o.f.)

$$\begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \nabla \times \mathbf{u} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ \frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \end{pmatrix}$$

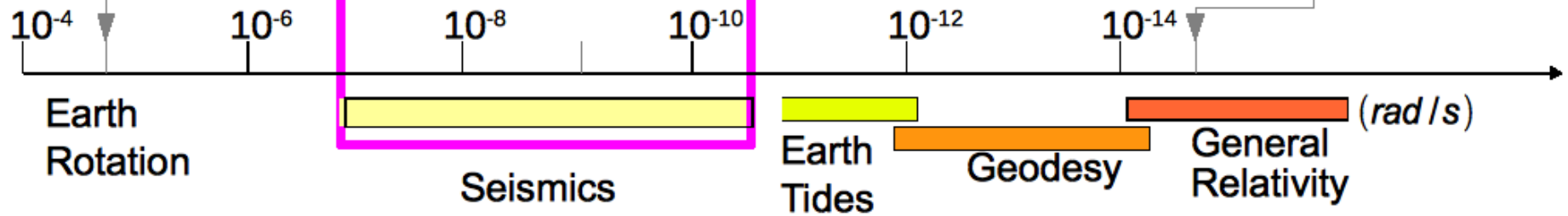
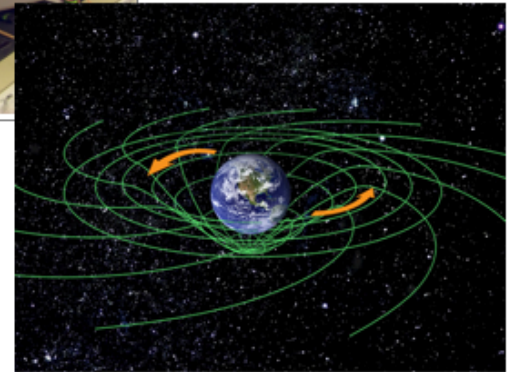
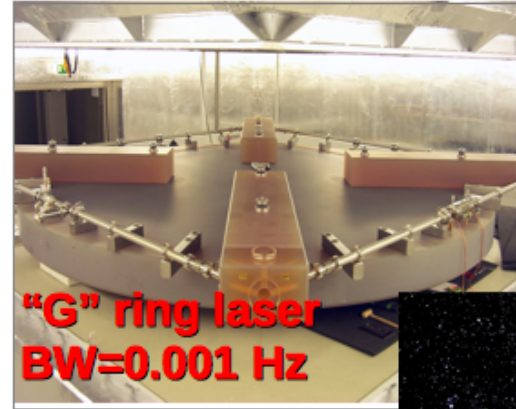
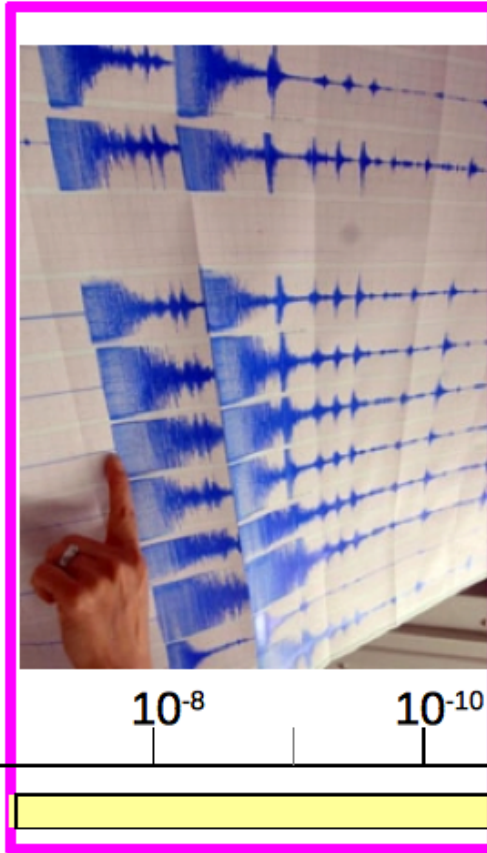
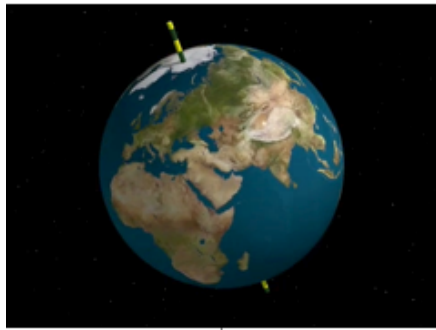
$$\begin{aligned} \ddot{u}_T &= 2c_L \Omega_z, \\ \ddot{u}_z &= \Omega_x c_R \end{aligned}$$

- allow the estimation of **wave-field properties**
- help to further constrain **rupture processes**;
- provide additional **hazard-relevant** information to **earthquake engineers**.

*"...as of this writing seismology still awaits a suitable instrument for making such measurements."
 AKI and RICHARDS (Quantitative Seismology, 2002)*

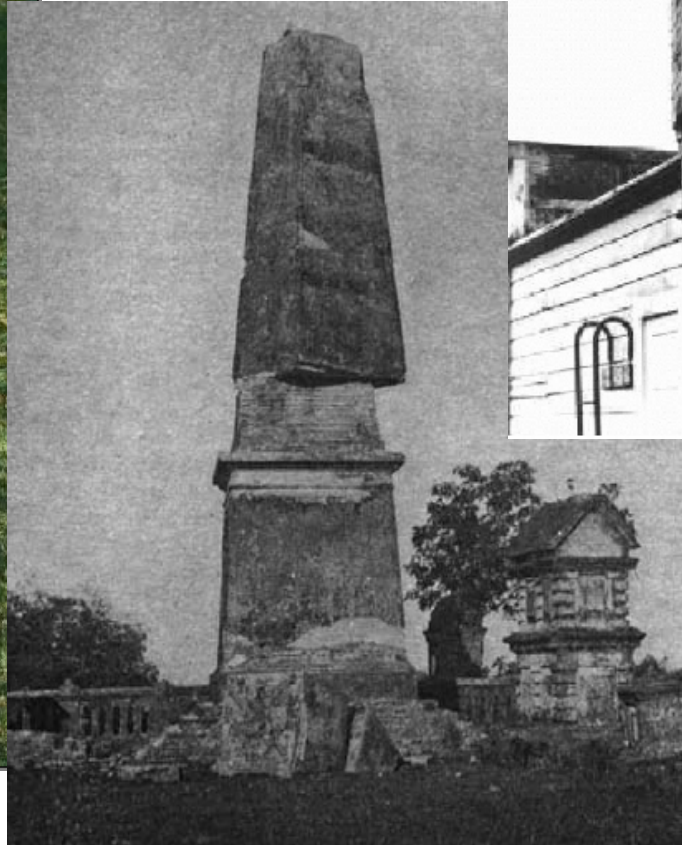
Orders of Magnitudes

K.U. Schreiber et al. (2009)



Seismic rotations

In a medium where the wave velocity is very small (e.g., soft sediment), rotations might become large and be responsible for structural damage.



J. T. Kozák, 2009



Terremoto
dell'Aquila



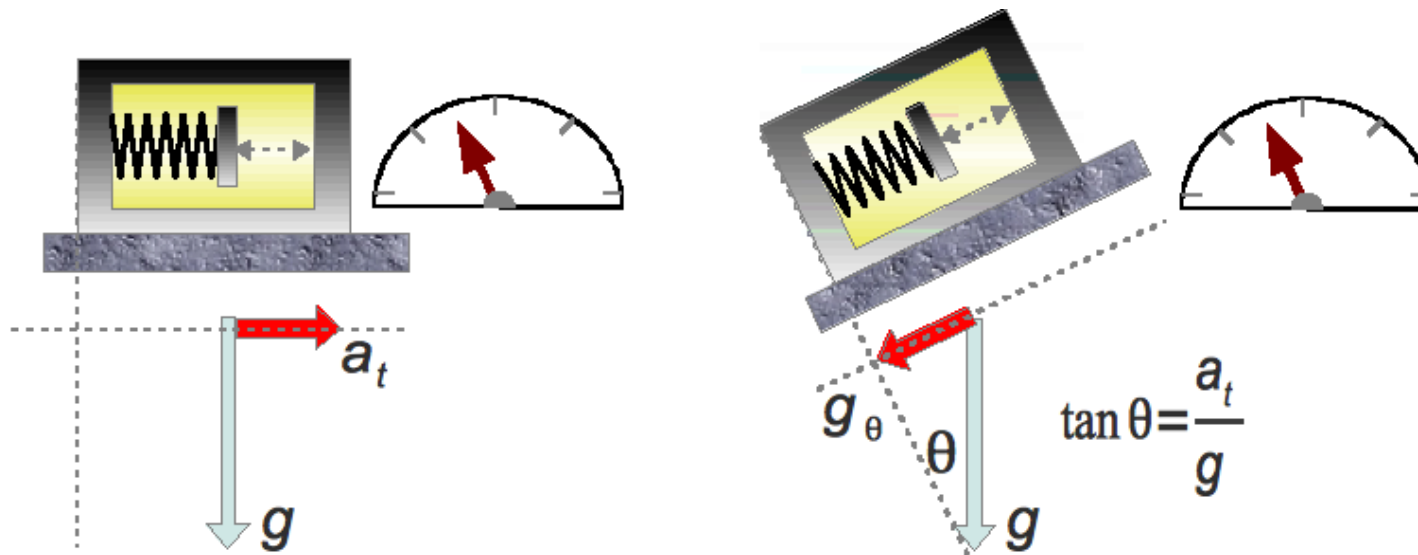
Terremoto dell'Aquila

How to?

Solide-state Gyroscopes: Vibrating MEMS sensing Coriolis force
Takeo, M. (1998). Takeo, M. (2009). (limited sensitivity --> near field/strong motion)

Finite Difference Arrays: reconstruction of rotations by linear accelerometers/seismometers
(Castellani and Boffi, 1986; Fletcher, 2008).

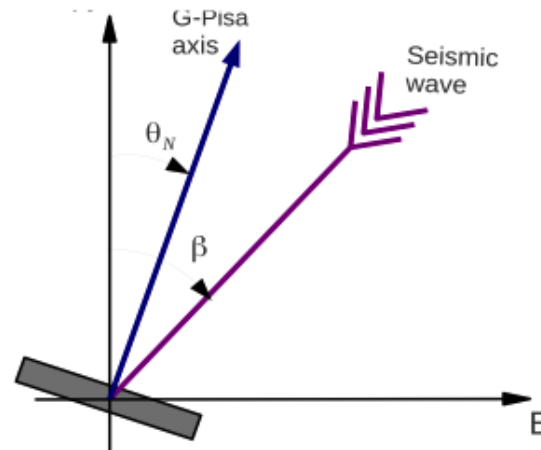
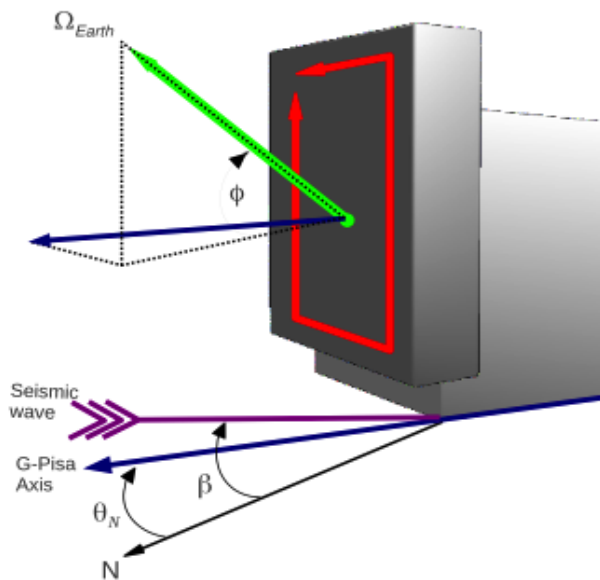
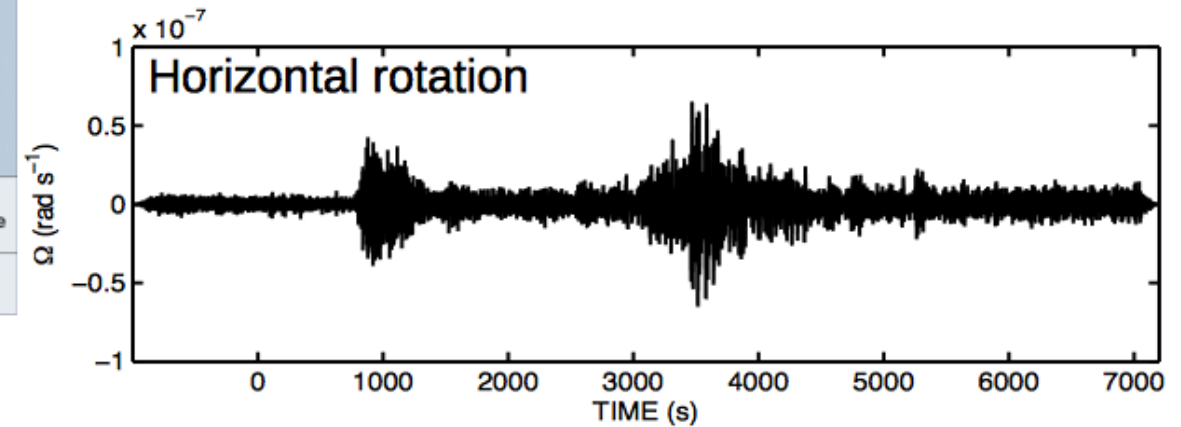
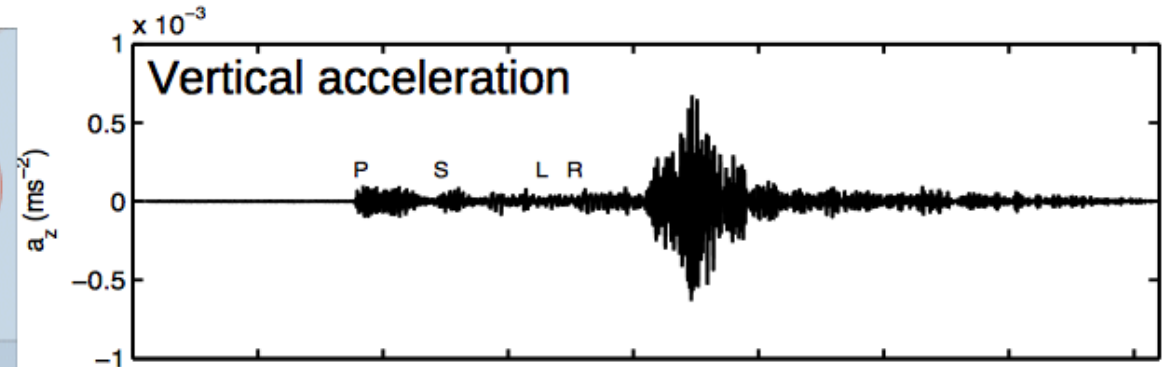
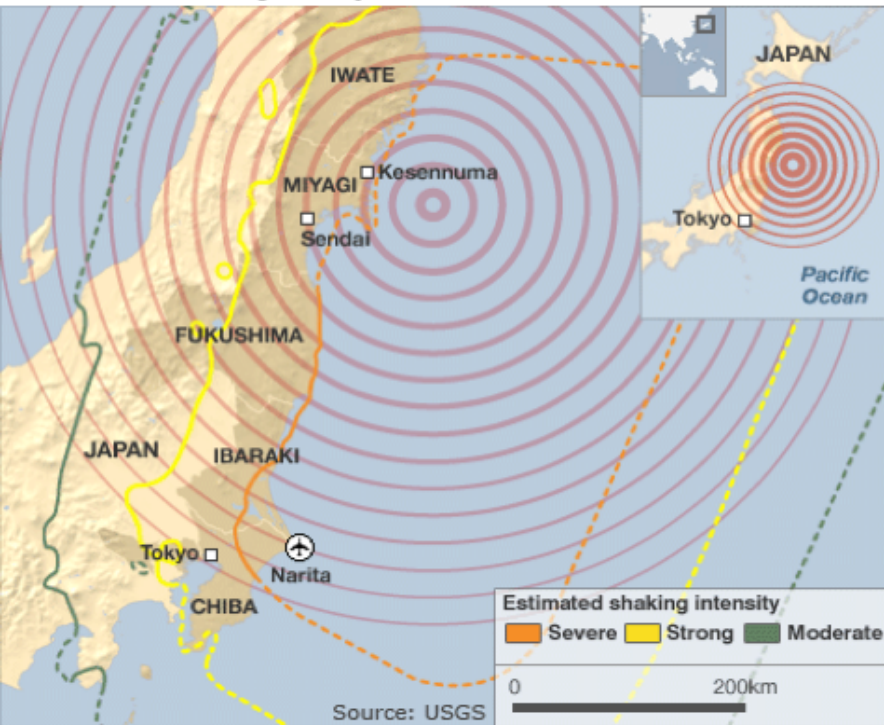
Problems: contamination Translations/ Rotations
(Graizer, 2005; Graizer, 2006; Pillet and Virieux, 2007; Pillet et al., 2009)



Need of ultra-sensitive PURE ROTATION sensors

$M_w=9.0$, March 2011, Japan earthquake

Areas affected by the quake



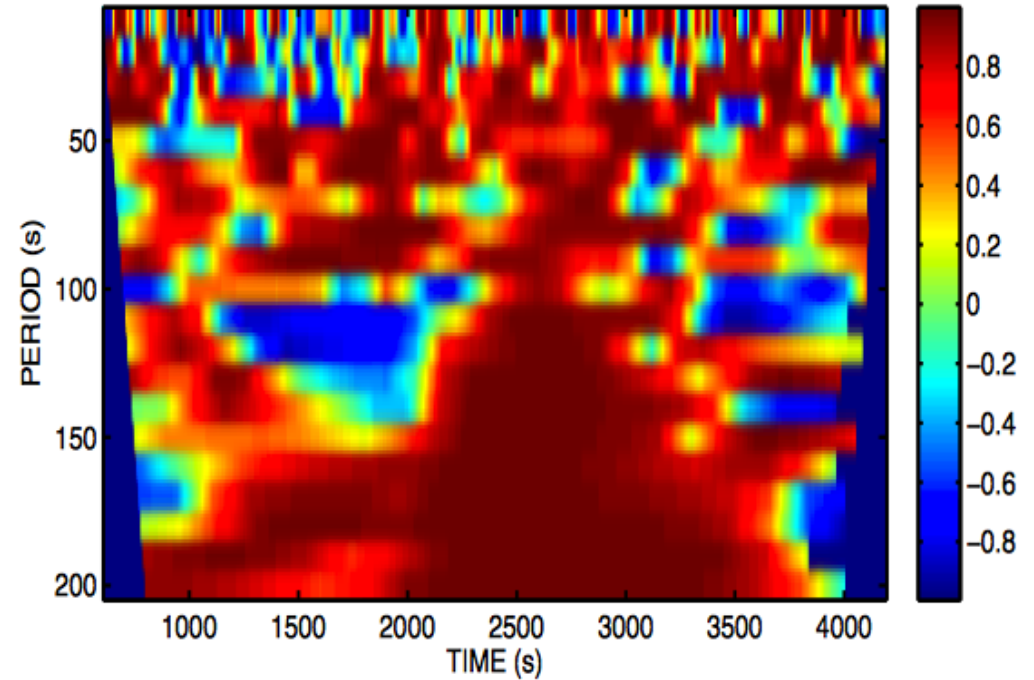
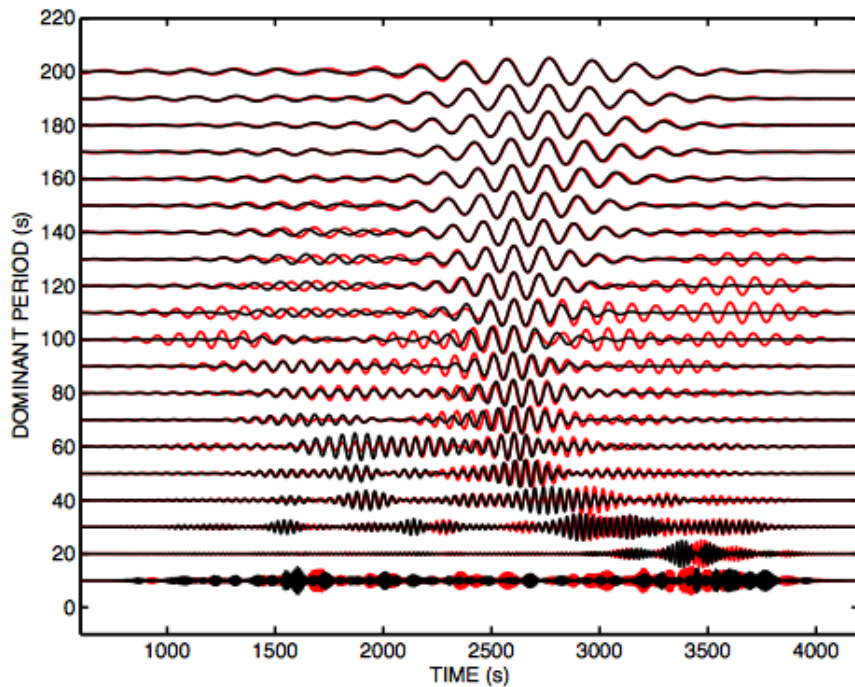
Horizontal Rotations
detection scheme in
Cascina (Pisa)

1 hour around Rayleigh arrival;

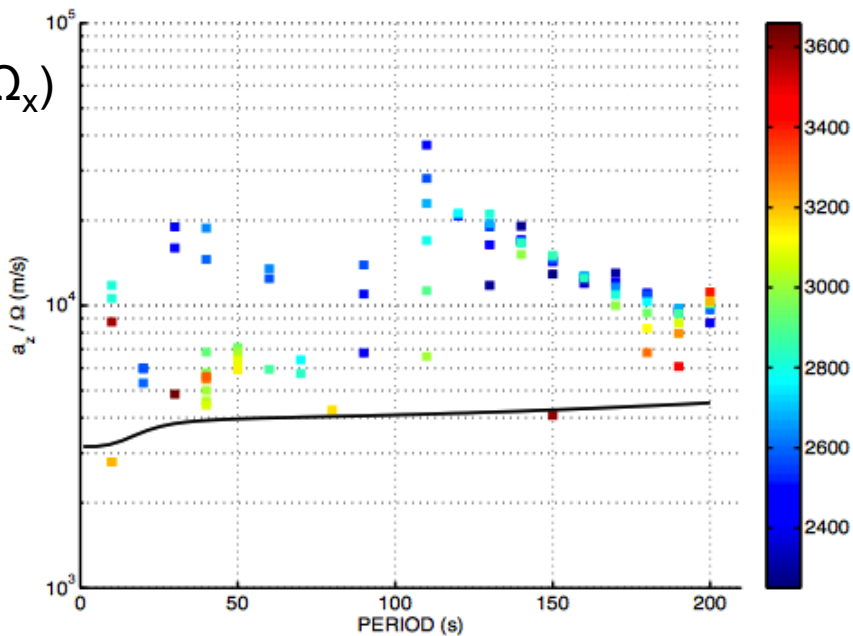
$f_l = 0.9 \times 1/T$ Hz; $f_h = 1.1 \times 1/T$ Hz,

(a_z, Ω_x)

Correlazione (a_z, Ω_x)



(a_z/Ω_x)



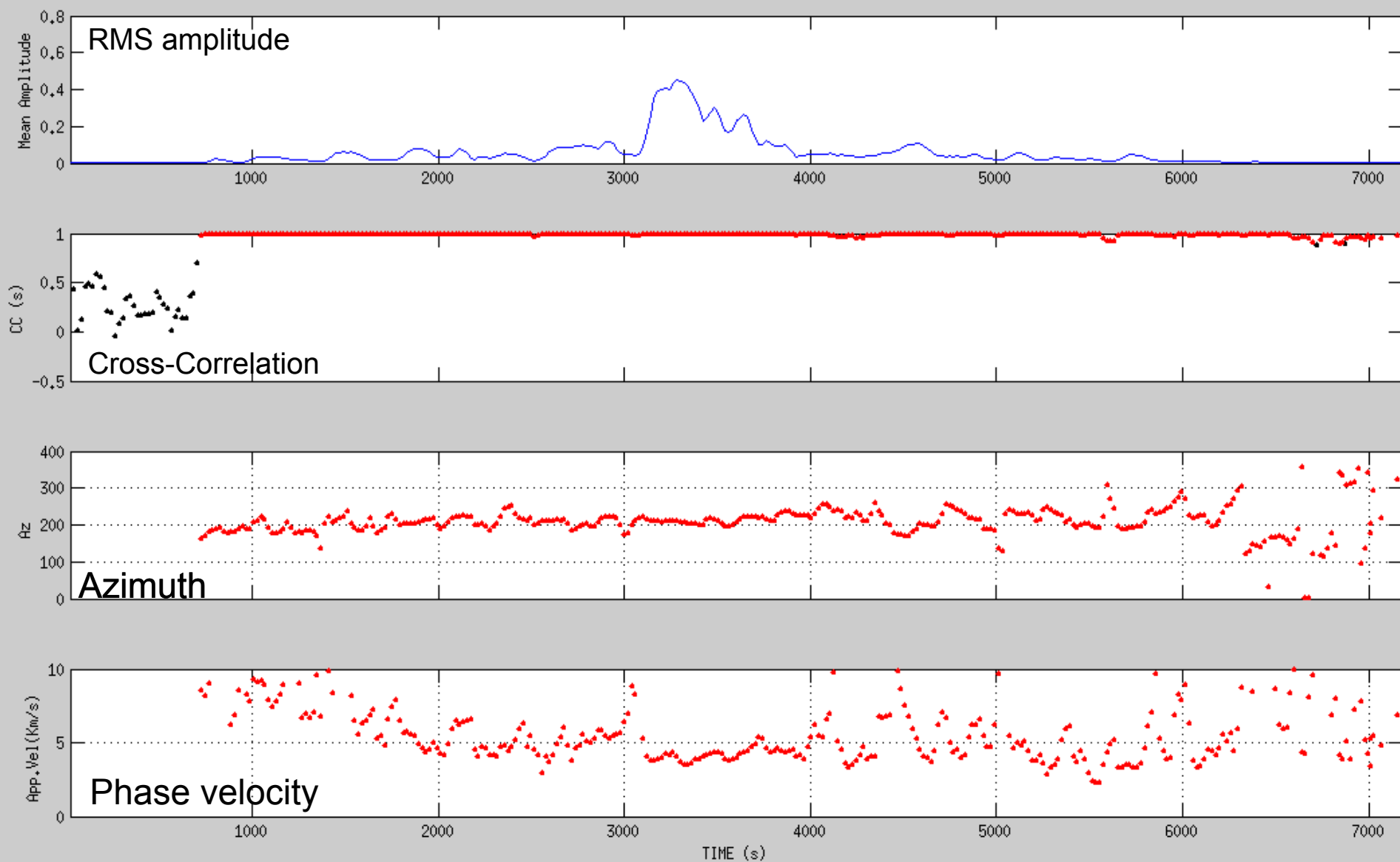
Rayleigh-wave phase velocity dispersion function

-Confirmation of Rayleigh rotations

Unknown angles between laser plane and azimuth:

-Systematic over-estimation of the velocities

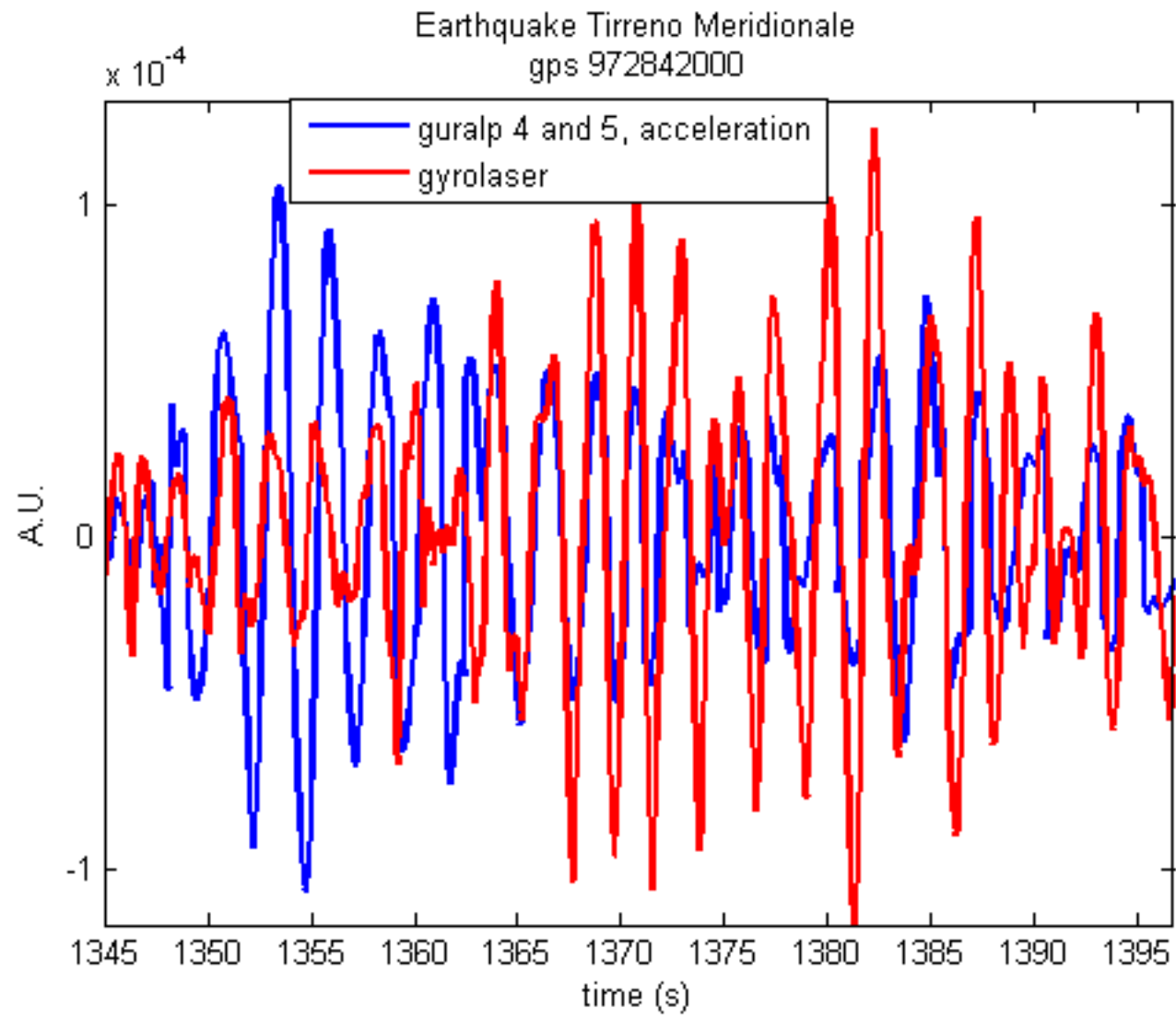
Reconstruction of the wave vector



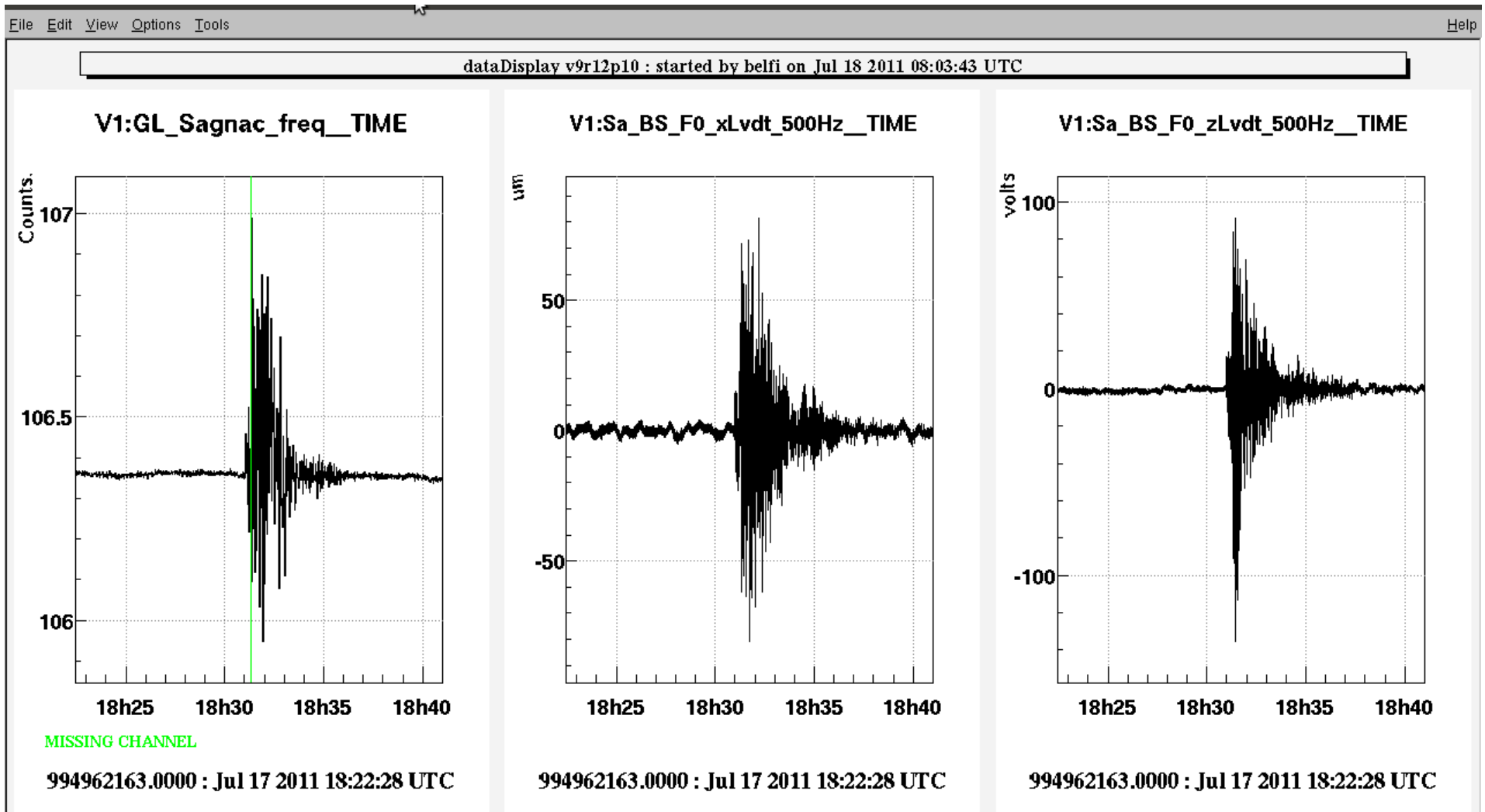
[BW=0.02 - 0.05 Hz]

...Work is in progress...

3/11/2010



17 / 7 / 2011



1 Hz sulla frequenza di Sagnac equivale a $\Delta\Omega \approx 7 \cdot 10^{-7}$ rad/s

Progetto osservatorio sismico

- ❑ progettare un giroscopio laser biassiale, con due laser ad anello di forma quadrata con lato dell'ordine di 1 – 1.5 m, l'uno con l'asse orientato lungo la verticale, l'altro con l'asse orizzontale, nella direzione del meridiano locale.
- ❑ installare l'apparato nel Laboratorio di S. Piero a Grado dell'INFN, in luogo a basso rumore ambientale, controllato termicamente e ben attrezzato
- ❑ ottimizzare l'apparato, in particolare per migliorarne le prestazioni di stabilità a frequenze inferiori al mHz (tempi di misura dell'ordine dell'ora o più)
 - i. perfezionare il disegno dell'apparato per ridurre con tecnologie di stabilizzazione passiva ed attiva la sensibilità alle fluttuazioni ambientali,
 - ii. messa a punto di tecniche di trattamento del segnale (filtri di Kalman).
- ❑ installare strumentazione sismometrica a banda larga (Trillium 240) a fianco del sistema giroscopico e con essa
 - i. studiare le correlazioni tra i segnali sismici registrati dai sismometri lineari e dai nostri giroscopi,
 - ii. analizzare la contaminazione del segnale rotazionale sul segnale dei sensori sismometrici,
 - iii. correlare i segnali rotazionali rivelati con le dinamiche locali del suolo associate sia al rumore sismico di fondo (principalmente di origine marina) che ai terremoti.

Progetto osservatorio sismico

- Collaborazione con INGV

Applicazioni

- ❑ *Studio della propagazione delle onde sismiche*
- ❑ *Fisica dei terremoti*
- ❑ *Analisi della pericolosità sismica*
- ❑ *Geodesia*
- ❑ *Monitoraggio dei moti indotti da attività antropiche*
 - *estrazione di gas naturale o al suo immagazzinamento in serbatoi geologici)*
 - *sfruttamento di campi geotermici*
 - *intrappolamento geologico della CO₂ generata da attività produttive.*