

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE  
GRUPPO NAZIONALE DI GEOFISICA  
DELLA TERRA SOLIDA

# **ATTI DEL 14° CONVEGNO**

**VOL. II**

**Roma 23-25 ottobre 1995**  
Consiglio Nazionale delle Ricerche  
P.le Aldo Moro, 7

Casale Paolo\*, Morelli Andrea\*  
\* Istituto Nazionale di Geofisica, Roma

## ANALISI STATISTICA DEI MICROSISMI DI ORIGINE MARINA REGISTRATI ALLA STAZIONE DI VILLASALTO (CA)

### RIASSUNTO

La componente dominante gli spettri di rumore sismico di fondo si osserva a periodi di 6-9 secondi ed é normalmente attribuita ai microsismi marini. Abbiamo analizzato le registrazioni continue effettuate alla stazione MEDNET di Villasalto in Sardegna per studiarne le caratteristiche al variare del tempo. L'analisi dei dati sismologici, meteorologici e mareografici ha mostrato un incremento del livello dello spettro in occasione del transito di forti perturbazioni atmosferiche che causano aumento dell'altezza dell'onda marina. In questi casi si osserva una polarizzazione del moto del suolo secondo orbite di Rayleigh. Statisticamente la direzione di provenienza di queste onde sismiche punta verso la zona dove si verifica l'aumento del moto ondoso. Le caratteristiche di polarizzazione e il loro comportamento al progredire della perturbazione confermano l'applicabilit  del modello di Strobach (1965) al bacino Mediterraneo.

### A STATISTICAL ANALYSIS OF THE MARINE MICROSEISM RECORDED BY MEDNET STATION AT VILLASALTO (CA, ITALY)

#### ABSTRACT

The main component of the background seismic noise spectra is observed for periods of 6-9 seconds. It is generally attributed to sea activity and called the secondary frequency peak. We analysed the seismic data recorded by MEDNET station at Villasalto (Cagliari, Italy) in order to study their characteristics on time elapsing. The analysis of seismic, weather and marigraphic data showed an increase in the PSD of seismic noise on passing of a strong atmospheric disturbance which causes the arising of high sea-waves. In these cases, an evident polarization of the ground motion, as Rayleigh orbits, is observed. Our statistical analysis indicates a strong correlation between the direction of approach of the Rayleigh waves and the region where the maximum height of sea-wave occurs (the source area). The characteristics of the polarization and their behaviour during the evolution of the weather disturbance demonstrate the validity of Strobach's model for an enclosed basin as Mediterranean.

#### 1: OSSERVAZIONI SPERIMENTALI

Nella figura 1 é riportato uno spettro di rumore in accelerazione (a) ottenuto dalle registrazioni sismiche del giorno 18/4/91 alla stazione MedNet di Villasalto (sigla VSL) in Sardegna. Il livello di rumore é confrontato con la media mensile in quel sito (b) e, a titolo indicativo, con modello di minimo rumore LNM (c) di Agnew e Berger (1978) in cui si pu  notare la persistenza di un massimo a 6-9 secondi che viene normalmente attribuito all'azione delle onde marine sul fondale (Longuet-Higgins, 1950) e dá luogo ai cosiddetti microsismi marini (Darbyshire et al. 1969). In particolare l'instaurarsi di onde stazionarie in mare aperto, fá risentire sul fondale un'onda di pressione con frequenza doppia rispetto all'onda in superficie (Longuet-Higgins, 1950). Tra lo spettro del 18/4/91 e la media mensile si nota, intorno al periodo di 7 secondi,

un aumento del livello di circa un fattore 10. Una prima indicazione sulla causa di questa notevole differenza può venire osservando la carta meteorologica in figura 2, (Cartello Meteorologico dell'Aeronautica Militare Italiana) in cui si nota una intensa perturbazione che interessa la zona italiana. In particolare alle ore 13 del 18/4/91 il fronte freddo si trova nel medio-basso Tirreno e si sposta in direzione NO - SE. Osserviamo inoltre in figura 3, la traccia a (continua) relativa ai dati mareografici registrati dalla boa al largo di Alghero nella Sardegna nordorientale: la traccia a indica l'altezza dell'onda ed i piccoli cerchi il suo periodo.

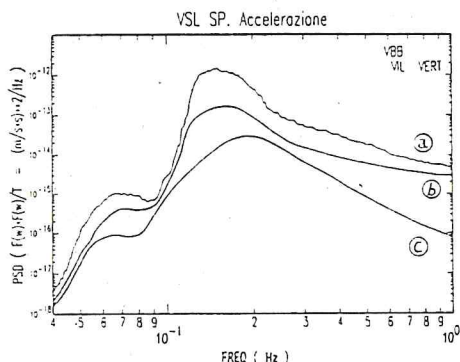


Fig. 0.1: Spettro di potenza a VSL  
a) 18/4/91 b) media mensile c) LNM  
(da Agnew e Berger, 1978)

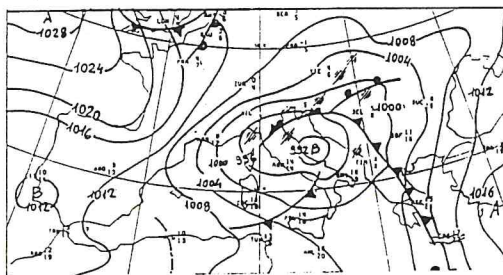


Figura 0.2: Cartello meteorologico  
Ore 13 del 18/4/91 : la Sardegna é attraversata da una perturbazione atmosferica il cui fronte freddo é indicato dalla curva con i triangoli. Il forte vento associato causa un aumento nell'altezza dell'onda marina (Mosetti, 1964)

Il 18/4/91 (giorno giuliano 108) intorno alle ore 03, l'altezza dell'onda raggiunge un massimo stagionale ed il corrispondente periodo é di circa 14 secondi, cioé il doppio del periodo T per cui si osserva un massimo nello spettro di rumore sismico, in accordo col modello di Lounguet-Higgins.

Dalla semplice osservazione sperimentale si nota finora una certa coerenza tra dati sismici, meteorologici e mareografici. Per cercare una correlazione piú quantitativa ricorriamo al modello proposto da Strobach nel 1965: in tale lavoro, l'autore studia i microsismi generati da onde dell'oceano Atlantico durante il passaggio di un intenso ciclone atmosferico e riesce ad individuare la zona sede della sorgente. Il modello viene qui applicato, su media scala, a dati di un bacino chiuso come il Mediterraneo.

## 2: ANALISI STATISTICA DELLA POLARIZZAZIONE

Secondo il modello di Strobach il sismogramma registrato é dato dalla sovrapposizione di onde di Rayleigh generate da singoli oscillatori armonici e provenienti da varie direzioni comprese in un settore angolare pari a  $2\theta$  e con il vertice nella stazione. Con queste ed altre ipotesi iniziali (Strobach 1965) si possono determinare teoricamente:

- la relazione di proporzionalitá tra la componente orizzontale H e quella verticale Z dell'onda risultante alla stazione sismica; quando Z é massima lo é anche H e punta preferibilmente verso la direzione di provenienza delle onde;
- il profilo teorico del beam pattern (fig. 4) ovvero, proiettando il moto di particella nel piano orizzontale, la distribuzione azimuthale (pesata con l'ampiezza) della direzione di polarizzazione dell'onda risultante alla stazione; o meglio la distribuzione delle ampiezze orizzontali in funzione dell'azimuth. Il beam pattern aspettato per

un'angolo  $2\theta = 60^\circ$ , è illustrato nella figura 4.

I dati analizzati sono relativi ad una stazione digitale a larga banda della rete Med-Net che utilizza un velocimetro Strekeisen STS1 e con frequenza di campionamento pari a 20 hz. Dopo una fase iniziale di trattamento dei dati (selezione di spezzoni di rumore, deconvoluzione per ottenere lo spostamento, filtraggi passa banda ecc.) abbiamo diviso ogni sismogramma in 300 spezzoni della durata di circa 7 secondi e considerato la proiezione sul piano orizzontale xy del moto di particella. Utilizzando una tecnica proposta da Montalbetti et al.(1970), abbiamo poi diagonalizzato la matrice di covarianza  $2 \times 2$  il cui elemento  $A_{12}$  è:

$$A_{12} = \frac{1}{N} \sum_k (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})$$

ove  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  sono i valori medi delle componenti x e y del sismogramma. In tal modo: a) l'autovettore associato all'autovalore massimo  $\lambda_{max}$  individua la direzione di polarizzazione dell'orbita orizzontale; b) il coefficiente di rettilineità  $S = 1 - \lambda_{min}/\lambda_{max}$  servirà per selezionare le orbite maggiormente polarizzate ad es. per  $S \geq 0.7$ . Infine si costruiscono gli istogrammi polari pesati con gli autovalori ed i diagrammi relativi alle medie di Z/H in funzione dell'angolo azimutale. I risultati non cambiano molto se si usano come pesi le ampiezze dei semiassi anziché gli autovalori.

### 3: RISULTATI ED INTERPRETAZIONE

La figura 5 (a, b) mostra gli istogrammi polari indicanti il beam pattern sperimentale

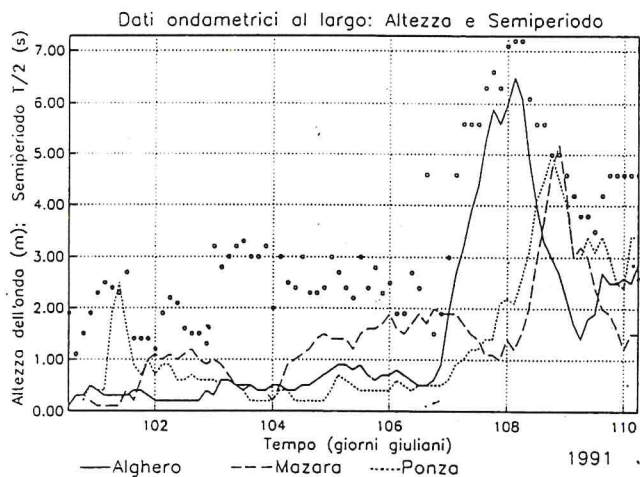


Figura 0.3: Dati mareografici al largo di : a) Alghero, b) Mazara, c) Ponza  
I piccoli cerchi indicano il semiperiodo delle onde registrate alla boa di Alghero. Le boe della Rete Ondametrica Nazionale sono situate al largo delle coste, in una zona ove l'altezza del fondale misura circa 100 metri.

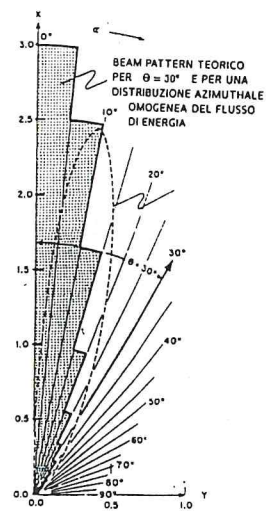


Figura 0.4: Beam Pattern  
Profilo teorico della distribuzione della direzione di polarizzazione della componente orizzontale delle orbite (Strobach, 1965)

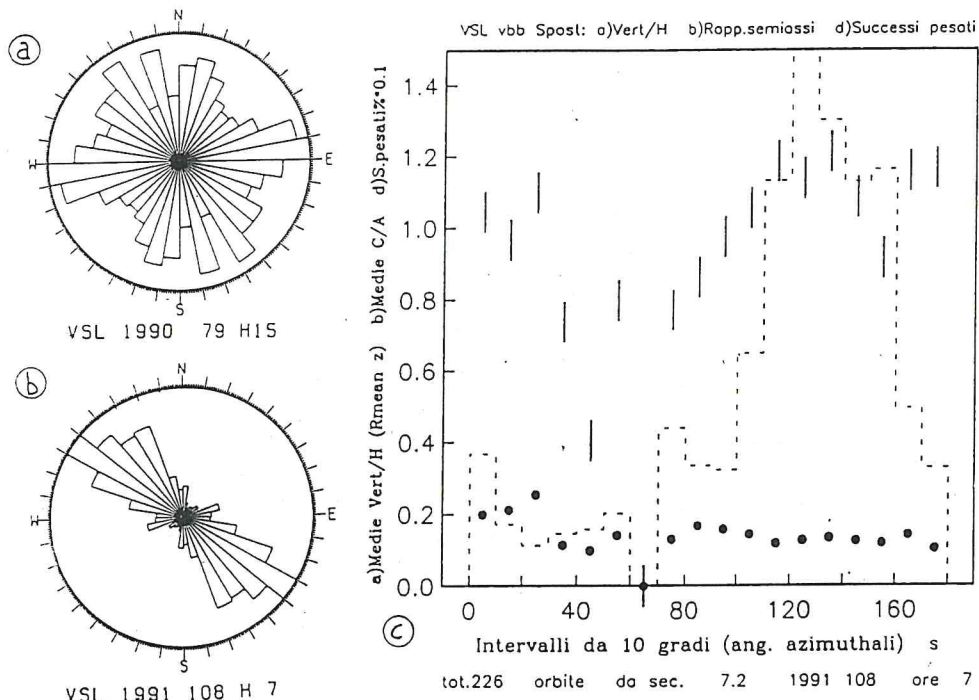


Figura 0.5: Istogrammi cartesiano e polari per le orbite polarizzate  
 L'istogramma tratteggiato in c) è equivalente a quello polare in b). In c) sono inoltre riportate, per ogni settore angolare, le medie dei rapporti Z/H indicate con una barra e le medie dei rapporti C/A indicate con un cerchio pieno.

alla stazione di Villalato (VSL) : a) durante un giorno meteorologicamente "quieto" in cui si nota una distribuzione sostanzialmente isotropa come è lecito aspettarsi; b) alle ore 07 del 18/4/91, quando viceversa la distribuzione azimuthale mostra una direzione di preferenza per le 226 orbite selezionate aventi  $S \geq 0.7$ . Il diagramma tratteggiato nella figura 5c è equivalente alla fig. 5b ma stavolta in coordinate cartesiane. Le barre verticali e i cerchi pieni rappresentano rispettivamente e per ogni settore angolare, la media dei rapporti Z/H e la media dei rapporti C/A (tra i due semiassi orizzontali). L'istogramma ed il rapporto Z/H assumono valori massimi e minimi negli stessi settori angolari: questo indica che le onde di Rayleigh arrivano preferibilmente dalla direzione di massima polarizzazione. Le figure 6 e 7a mostrano i profili (beam pattern) sperimentali ottenuti dalle registrazioni alla stazione VSL durante la mattina e durante la sera del giorno 18/4/91. I diagrammi serali mostrano una piccola rotazione (di 15 - 20 gradi) della direzione di massima polarizzazione rispetto ai diagrammi della mattina. Per interpretare questi risultati può essere utile guardare la situazione meteorologica del giorno precedente (17/4/91) in fig. 7 e confrontarla con quella del 18/4/91 (fig. 2). Dal confronto possiamo ricostruire l'andamento del

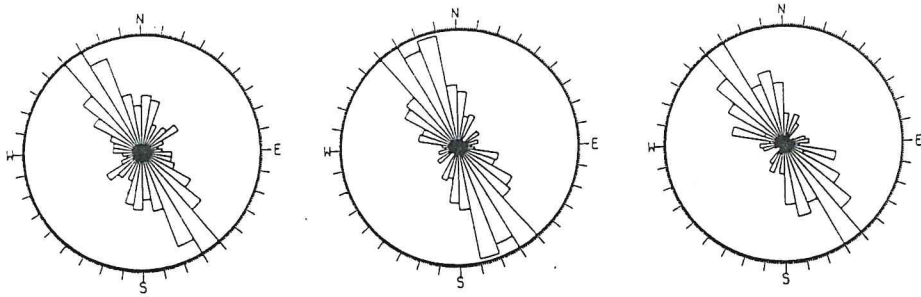


Figure 0.6: Istogrammi polari per VSL  
 I tre istogrammi sono relativi alle ore 03 , 04 , 05 della mattina del 18/4/91

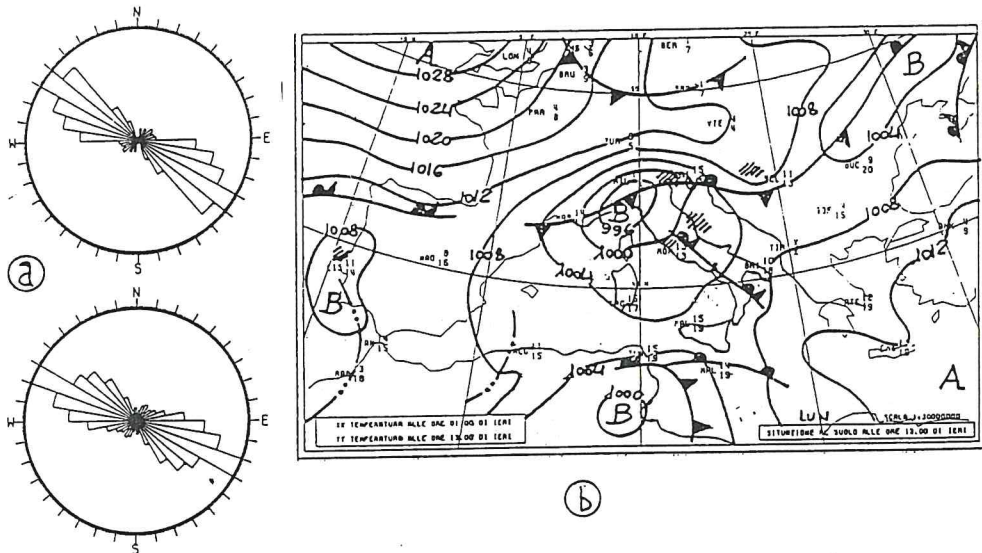


Figura 0.7: a) VSL ore 19 e 20 b) Cartello meteo 17/4/91.  
 Sulla sinistra sono riportati gli istogrammi relativi alle ore 19:00 e 20:00 del 18/4/91 . Nella mappa sulla destra, la Sardegna sta per essere attraversata da una perturbazione atmosferica il cui fronte freddo é indicato dalla curva con i triangoli.

fronte freddo della perturbazione che si sposta, rispetto alla stazione, da NNO verso SE. Considerando anche i dati mareografici della figura 3, un ipotetico osservatore posto nella stazione sismica avrebbe visto un incremento dell'altezza dell'onda marina nella regione di NO durante la mattina ed a SE in serata. I dati mareografici della stazione di Alghero (fig 3a) e delle stazioni di Ponza nel medio-basso tirreno e di Mazara nel canale di sicilia (fig.3b e 3c) testimoniano un incremento dell'onda marina in serata, in ritardo quindi rispetto alla stazione di Alghero.

Siamo quindi portati a concludere che i microsismi della mattina provengono da direzioni quasi opposte a quelli della sera pur essendo gli istogrammi polari molto simili. A conferma di ciò nelle ore centrali della giornata, in cui tutta la zona di mare intorno alla Sardegna è interessata dall'aumento dell'altezza dell'onda, non si osservano istogrammi polari particolarmente significativi cioè non c'è una direzione privilegiata, pur essendo ugualmente incrementato il livello di rumore.

#### 4: CONCLUSIONI

- Gli istogrammi polari seguono il profilo di Strobach mostrando una direzione azimutale privilegiata
  - I rapporti Z/H e C/A identificano onde di Rayleigh
  - La loro direzione di arrivo punta ove è massima l'altezza dell'onda marina come mostra il confronto con i dati mareografici e meteorologici.
- Il modello di Strobach trova quindi applicazione anche a media scala per un bacino chiuso come il Mediterraneo e viene inoltre confermato il meccanismo di generazione dei microsismi marini alla frequenza secondaria secondo il modello di Longuet-Higgins.

#### BIBLIOGRAFIA

- Agnew D.C. e Berger J. (Nov.1978): "Vertical seismic noise at very low frequencies". *Journal of Geophys. Research* vol.83, N. B11
- Darbyshire J. e Okeke E.O.(1969) "A study of primary and secondary microseism recorded in Anglesey". *Geophysics Journal* 17, 63-92
- Longuet-Higgins M.S. (1950) "A theory of the origin of microseism". (*Philos. Trans. Roy. Soc. London, ser.A - 243, 1-35*)
- Montalbetti J.F. e Kanasevich E.R. (1970) "Enhancement of telesismic body phases with a polarization filter". (*Geophys. Jour. R.A.S. 21, pp.119-129*)
- Mosetti F.(1964) "Oceanografia" 1964 (Ed. Del Bianco)
- Strobach K. (1965) "Origin and properties of microseism from the standpoint of oscillator theory". (*B.S.S.A., 55, 365-390*)

#### RINGRAZIAMENTI:

- Il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare ha fornito le tavole del Cartello Meteorologico ;
- il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale ha fornito i dati delle boe per le otto stazioni della Rete Ondametrica Nazionale;
- Vincenzo Torello (I.N.G.) ha collaborato nella gestione dei dati mareografici.

*Testo controllato dal prof.E. Del Pezzo (Dip.to di Fisica, Univers. di Salerno)*