

Rapporti tecnici

INGV

GARGANO2013

**Misure idro-oceanografiche e
accelerometriche con Nave 'Palinuro'
nel promontorio del Gargano**

Rapporto sull'attività 29 giugno - 6 luglio 2013

277



Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)
Luigi Cucci (INGV - RM1)
Nicola Pagliuca (INGV - RM1)
Umberto Sciacca (INGV - RM1)
Alessandro Settimi (INGV - RM2)
Aldo Winkler (INGV - RM2)
Salvatore Stramondo (INGV - CNT)
Gaetano Zonno (INGV - MI)
Viviana Castelli (INGV - BO)
Marcello Vichi (INGV - BO)
Sara Barsotti (INGV - PI)
Mario Castellano (INGV - NA)
Mauro Di Vito (INGV - NA)
Raffaele Azzaro (INGV - CT)
Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)
Mario Mattia (INGV - CT)
Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano
Tel. +39 06 51860068
Fax +39 06 36915617
Rossella Celi
Tel. +39 095 7165851
redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

GARGANO2013

**MISURE IDRO-OCEANOGRAFICHE E ACCELEROMETRICHE
CON NAVE 'PALINURO' NEL PROMONTORIO DEL GARGANO**

RAPPORTO SULL'ATTIVITÀ 29 GIUGNO – 6 LUGLIO 2013

Cosmo Carmisciano¹, Ilenia Batzu¹, Emanuele Biolcati¹, Maria Di Nezza¹, Francesca Giardi¹,
Lorenzo Iafolla¹, Carlo Le Fevre², Miriam Roccella¹, Mauro Panarello³, Marina Locritani¹,
Franco Italiano⁴, Pier Paolo Bruno⁵

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale)

²AGI s.r.l. - Roma

³Marina Militare Italiana (Nave 'Palinuro')

⁴INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo)

⁵INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

277

Indice

Introduzione	7
1. Assetto strutturale del Gargano	7
1.1 La faglia di Mattinata e sistema “Gondola Grifone”	7
1.2 La faglia di Apricena	9
1.3 Idrografia	9
2. La campagna di misure ‘GARGANO2013’	10
2.1 Rilievo idro-oceanografico	13
2.2 Misure accelerometriche	17
2.2.1 Analisi preliminari delle misure accelerometriche	20
2.2.2 Analisi delle accelerazioni misurate durante virate rapide della nave	23
3. Conclusioni	25
Ringraziamenti	25
Bibliografia	25
Allegato 1	27

Introduzione

In questo lavoro viene descritta la campagna geofisica e idro-oceanografica ‘GARGANO2013’ effettuata grazie ad una collaborazione tra INGV e Marina Militare Italiana nell’ambito di un accordo di collaborazione denominato CONAGEM (Coordinamento Nazionale per la Geofisica Marina). Tale accordo, siglato nel 2005 fra i principali enti pubblici di ricerca che operano in mare, prevede infatti la possibilità di attuare congiuntamente campagne di ricerca marine condividendone dati e risultati.

La campagna è stata organizzata con la finalità di raccogliere quanti più possibili elementi utili a caratterizzare l’area marina del Gargano sotto un profilo ambientale predisponendone un quadro di riferimento per successive attività di monitoraggio delle fenomenologie presenti nell’area di indagine. In quest’ottica, l’obiettivo prefissato era la mappatura di eventuali affioramenti di acque dolci in mare.

Contestualmente, è stata eseguita la sperimentazione di prototipi strumentali per future applicazioni a bordo nave: in particolare, sono state eseguite misure di tipo accelerometrico al fine di caratterizzare le sollecitazioni dinamiche cui sono sottoposti gli strumenti a bordo nave ottenendo così utili informazioni per lo sviluppo di nuove tecnologie quali piattaforme inerziali per uso scientifico e strumentazione per prospezioni gravimetriche da utilizzare su nave.

1. Assetto strutturale del Gargano

Il promontorio del Gargano costituisce un alto strutturale di carbonati Meso-Cenozoici che formano un’ampia struttura anticlinale ad asse WNW-ESE [Salvini et al., 1999]. L’ampia anticlinale del Promontorio risulta interessata da tre principali sistemi di faglie con direzione E-W, WNW-ESE e NW-SE. Le faglie sono concentrate nel settore meridionale e lungo una fascia che costituisce la cerniera dell’anticlinale.

Come mostrato in figura 1, sebbene il promontorio del Gargano, sia esterno alla principale zona sismogenetica italiana, che corre lungo l’asse della catena appenninica, esso mostra un’intensa attività sismica [si veda Di Bucci and Angeloni, 2013 e riferimenti all’interno]. Secondo i cataloghi sismici, terremoti notevoli interessano la zona ad intervalli regolari a partire dal 1200. La comprensione della tettonica regionale e la sua relazione con la struttura cinematica sono indubbiamente incomplete come testimoniato dal terremoto del Molise (2002, Mw 5.8), completamente impreveduto in base alle informazioni storiche e geologiche [Camassi et al., 2008]. Il promontorio del Gargano è una porzione dell’avampoa apulo poco nota da un punto di vista sismotettonico. Il principale elemento strutturale dell’intera area è la faglia di Mattinata, che interessa la struttura morfologica della porzione meridionale del promontorio.

A causa della difficoltà di identificare indicatori cinematici nei carbonati Mesozoico - Terziari, la datazione ed il comportamento cinematico sono ancora materia di dibattito.

1.1 La faglia di Mattinata e sistema “Gondola Grifone”

La faglia di Mattinata, ubicata lungo il fianco meridionale dell’anticlinale garganica, rappresenta la discontinuità tettonica morfologicamente più evidente della regione (figura 2).

Questa faglia, caratterizzata da una fascia di deformazione di circa 200m di larghezza, è la prosecuzione occidentale del sistema di faglie *offshore* “Gondola-Grifone”, che si estende per circa 130 km nell’Adriatico a sud del promontorio del Gargano. Sulla terraferma, nel settore orientale della faglia di Mattinata, l’omonima Piana costituisce una depressione a ridosso della costa, la cui formazione è da attribuirsi ad un meccanismo di tipo *pull-apart*; simili caratteristiche presenta il Pantano di S. Egidio.

La faglia di Mattinata, e più in generale la fascia di deformazione E-W tra questa struttura e le isole Tremiti, è considerata come l’espressione di un cambio di spessore nella litosfera adriatica che s’ispessisce verso sud [Calcagnile and Panza, 1981; Favali et al., 1993; Doglioni et al., 1994]. Il lineamento strutturale, costituito dal sistema di faglie “Gondola-Grifone” e dalla faglia di Mattinata, è stato ripetutamente riattivato con differenti regimi tettonici durante la costruzione della catena appenninica, sia con una componente di moto laterale sinistro che destro.

La complessità strutturale del sistema di faglie dell’area di Mattinata suggerisce un’attività cinematica alquanto complessa, con significative variazioni del comportamento nel corso del Pliocene e del Quaternario. Tale complessità ha generato, per ciò che concerne la cinematica di tali strutture, numerose e differenti interpretazioni che spaziano dall’interpretazione di pura faglia trascorrente destra data da Finetti [1982],

passando per le interpretazioni estensionali con una componente di movimento laterale destro di Piccardi [1988] e di Salvi et al. [1999], sino alle ricostruzioni più complesse che individuano un'inversione della direzione di trascorrenza da sinistra (Miocene superiore-Pliocene inferiore), a destra (Pliocene superiore-attuale) da Chilovi et al. [2000]. L'attività polifasica è certa, ma la cinematica della faglia è ancora materia di dibattito. La maggioranza degli autori concorda su un'attuale predominanza della componente laterale destra, come confermato dai meccanismi focali dei terremoti del 19 Giugno 1975 e del 24 Luglio 2003 oltre che dai dati GPS [Anzidei et al., 1996; Ferranti and Oldow, 2005].

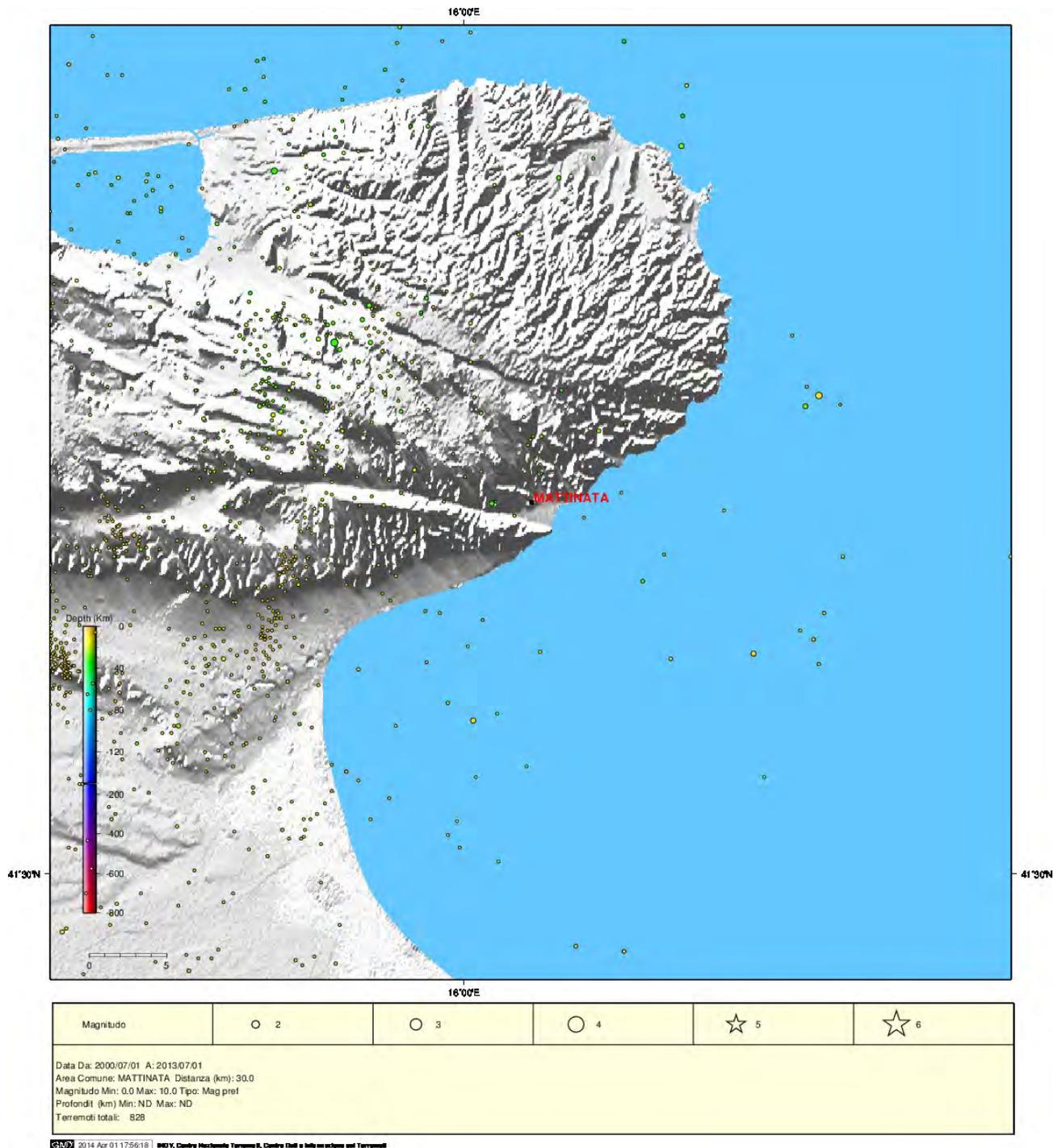


Figura 1. Distribuzione eventi sismici in area garganica, dettaglio del faglia di Mattinata (periodo 01.07.2000 ; 01.07.2013) - ISIDe (*Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base*), <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>

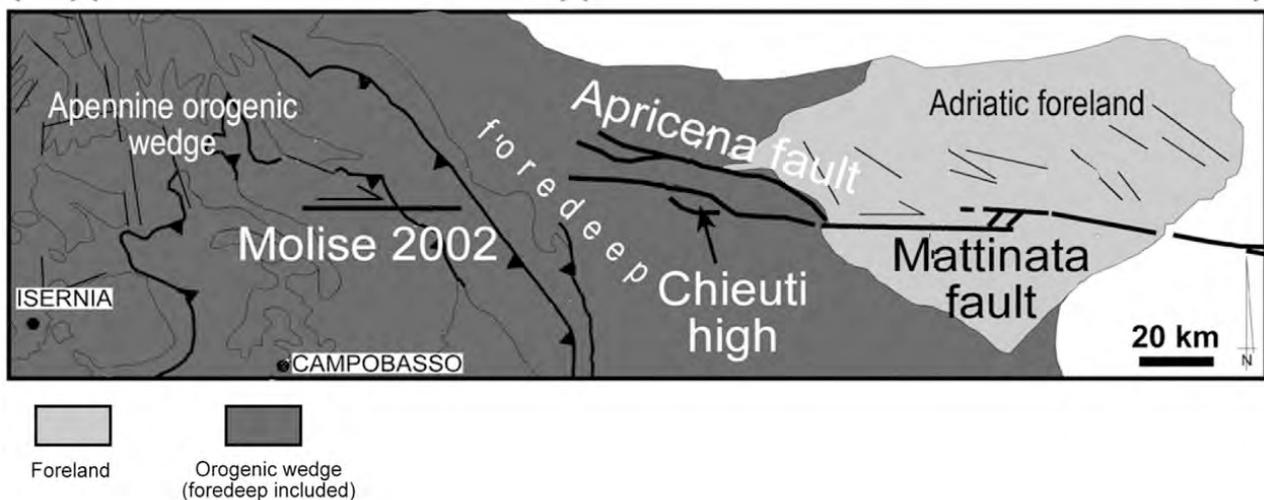


Figura 2. Inquadramento delle faglie di Mattinata ed Apricena. Il segmento di faglia indicato con “Molise 2002” è rappresentativo della probabile faglia generatrice del Terremoto di San Giuliano di Puglia del 2002 [Modificato da Di Bucci et al. 2007].

1.2 La faglia di Apricena

La faglia di Apricena, a cui Patacca and Scandone [2004] attribuiscono il terremoto di San Severo (FG) del 1697 ($M_e=6.8$), è localizzata nella zona occidentale del promontorio del Gargano e presenta un andamento WNW-ESE con direzione d’immersione SSW (figura 2). Gli stessi autori, non riconoscendo evidenze di deformazione superficiale, definiscono “cieca” tale struttura. La faglia di Apricena rappresenta la diramazione settentrionale della struttura a carattere regionale, con andamento W-E, della faglia di Mattinata ed interessa l’intera successione pleistocenica fino ad includere i termini regressivi sommatiali [Patacca and Scandone, 2001]. Secondo Di Bucci et al. [2007], la faglia di Apricena potrebbe essere interpretata come una delle diramazioni nell’avanfossa al fronte della catena orogenica, sviluppatasi da una preesistente discontinuità del basamento.

Secondo tale interpretazione, la faglia di Apricena svolge un ruolo secondario rispetto al lineamento principale (Faglia di Mattinata – “Gondola-Grifone”). Dato il carattere ausiliario rispetto alla faglia di Mattinata, anche la faglia di Apricena presenta diverse interpretazioni cinematiche che riconoscono alla struttura un comportamento principalmente estensionale [Patacca and Scandone, 2004] oppure una cinematica estensionale obliqua con componente di movimento laterale destro [Salvi et al., 1999; Piccardi, 1988].

La componente normale di dislocazione della faglia di Apricena, registrata dalla deformazione della sequenza regressiva, può essere dovuta al campo di *stress* transtensionale attivo dal Medio Pleistocene lungo la direzione WNW-ESE, al di fuori del piano della faglia di Mattinata.

La deformazione al tetto dei carbonati della piattaforma apula, in corrispondenza della faglia di Apricena, è molto maggiore della dislocazione registrata lungo la faglia di Mattinata.

Tale differenza è interpretata come deformazione pre-ereditata ed accumulata prima del Pleistocene medio [Patacca and Scandone, 2004]. Questa interpretazione suggerisce che la faglia di Apricena è una zona di deformazione pre-esistente riattivata con una cinematica laterale destra e transtensionale durante gli ultimi 650 ka [Tondi et al., 2005]. I modelli analogici confermano che la faglia di Apricena rappresenta una diramazione sviluppatasi, nei depositi d’avanfossa al fronte dell’orogene, a partire da una discontinuità profonda preesistente, confermando il ruolo di struttura sussidiaria rispetto al sistema Mattinata-“Gondola Grifone” [Di Bucci et al., 2007].

1.3 Idrografia

Dal punto di vista idrografico, sul Gargano non esiste un reticolo superficiale ad eccezione di una piccola area a Nord dove si concentrano i pochi corsi d’acqua di limitata lunghezza ed una portata con caratteristiche stagionali. Tali corsi sfociano nell’Adriatico nei territori comunali di Vico del Gargano e Rodi Garganico, oppure si immettono nei laghi costieri di Lesina e Varano, due lagune salmastre.

Il CNR ISMAR di Lesina ha censito le acque interne del Gargano [Scirocco T. and Cilenti L., 2004], individuando anche alcune sorgenti che affiorano sulla linea di costa, quindi, sulla battigia. La mappatura è riportata in figura 3 mentre l'identificazione di ciascuna sorgente è indicata in allegato 1.

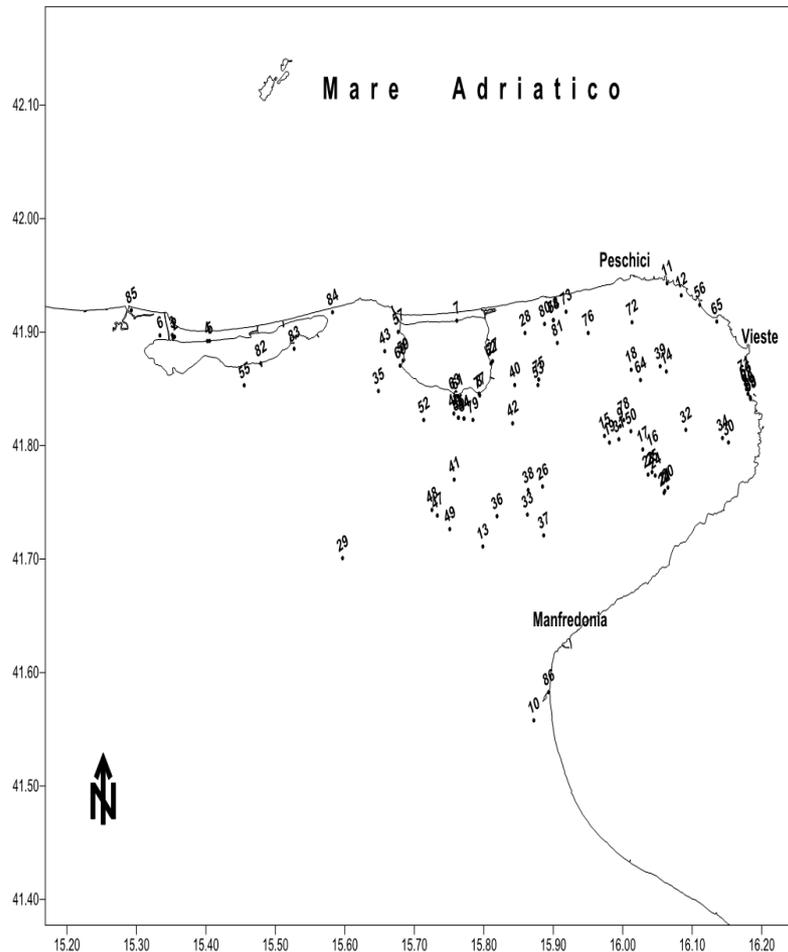


Figura 3. Mappa delle acque interne del Gargano (fonte CNR ISMAR di Lesina).

2. La campagna di misure ‘GARGANO2013’

Nel quadro di riferimento accennato, si inserisce la campagna geofisica e idro-oceanografica ‘GARGANO2013’, effettuata grazie ad una collaborazione tra INGV e Marina Militare nell’ambito di un accordo di collaborazione denominato CONAGEM (Coordinamento Nazionale per la Geofisica Marina). Tale accordo, siglato nel 2005 fra i principali enti pubblici di ricerca che operano in mare, prevede infatti la possibilità di attuare congiuntamente campagne di ricerca marine condividendone dati e risultati. Pertanto, alla campagna di misure hanno partecipato i seguenti organismi e le loro emanazioni:

Per la Marina Militare:

- Unità navale ‘Palinuro’ (figura 4)

Per l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV):

- Sezione Roma2, Unità ‘Geofisica e Tecnologie Marine’ della sede distaccata di Portovenere
- Sezione di Palermo
- Sezione ‘Osservatorio Vesuviano’ di Napoli

Ha inoltre partecipato alla campagna, offrendo una specifica collaborazione a titolo gratuito, la società AGI s.r.l. di Roma, uno spin-off dell'Istituto Nazionale di Astrofisica.

La campagna è stata organizzata con la finalità di raccogliere quanti più possibile elementi utili a caratterizzare l'area marina del Gargano sotto un profilo ambientale predisponendone un quadro di riferimento per successive attività di monitoraggio delle fenomenologie presenti nell'area di indagine. In quest'ottica, gli obiettivi prefissati erano:

- Mappatura di eventuali affioramenti di acque dolci in mare
- Sperimentazione di prototipi strumentali per future applicazioni a bordo nave.



Figura 4. Nave Palinuro.

Il Palinuro è una “Nave Goletta”. Il termine indica che la nave è dotata di tre alberi leggermente inclinati verso poppa che, partendo da prora, prendono il nome di trinchetto, maestra e mezzana. A essi si aggiunge l'albero di bompresso che sporge dall'estremità prodiera. Il trinchetto è armato con vele quadre, quelli di maestra, mezzana e il bompresso sono armati con vele di taglio (rande, controrande, fiocchi, stralli). La Nave ha un dislocamento di circa 1341 tonnellate, è lunga 59 metri (68 metri fuori tutto) ed ha una larghezza massima di 10 metri.

La superficie velica complessiva è di circa 1.000 mq., distribuiti su quindici vele. L'altezza degli alberi sul livello del mare è di 35 metri per il trinchetto, 34,5 metri per la maestra e di 30 metri per l'albero di mezzana.

Lo scafo, così come gli alberi, è in acciaio chiodato ed è costituito da un unico ponte (detto di coperta) di sotto al quale sono ubicati i locali di vita, le segreterie, i depositi, la cambusa, le celle frigorifere e la sala macchine. Sopra il ponte di coperta ci sono le strutture del castello prodiero e il cassero poppiero sul quale, a poppa estrema, è collocata la Plancia di Comando. All'interno del cassero sono ubicati gli alloggi e i locali di vita degli Ufficiali e dei Sottufficiali, la cucina e il forno. Altri locali di vita si trovano all'interno del castello di prora.

L'equipaggio del Palinuro si compone di 83 militari ed è integrato durante l'attività operativa quando imbarca un nucleo di supporto di altri 30 militari.

In tabella 1 è riportata la pianificazione di massima di GARGANO2013. La campagna ha avuto una durata complessiva di 1 settimana. È stata avviata dall'imbarco del personale e della strumentazione avvenuta il giorno 29 Giugno 2013, prima della partenza della Nave 'Palinuro' dal porto di Ancona. Le operazioni si sono definitivamente concluse con lo sbarco del personale e degli strumenti avvenuto il giorno 06 Luglio 2013 presso il porto di Bari. In figura 5 è riportata la rotta seguita durante la navigazione e in figura 6 sono indicati i *waypoint* traguardati ed una tabella riassuntiva di questi.

Data	Attività
29 giugno	Imbarco personale e strumentazione (Ancona)
30 giugno	Kickoff meeting e allestimento strumentazione
1 luglio – 5 luglio	Attività idro-oceanografica con nave e imbarcazioni
6 luglio	Sbarco personale e strumentazione (Bari)

Tabella 1. Calendario operazioni di campagna.

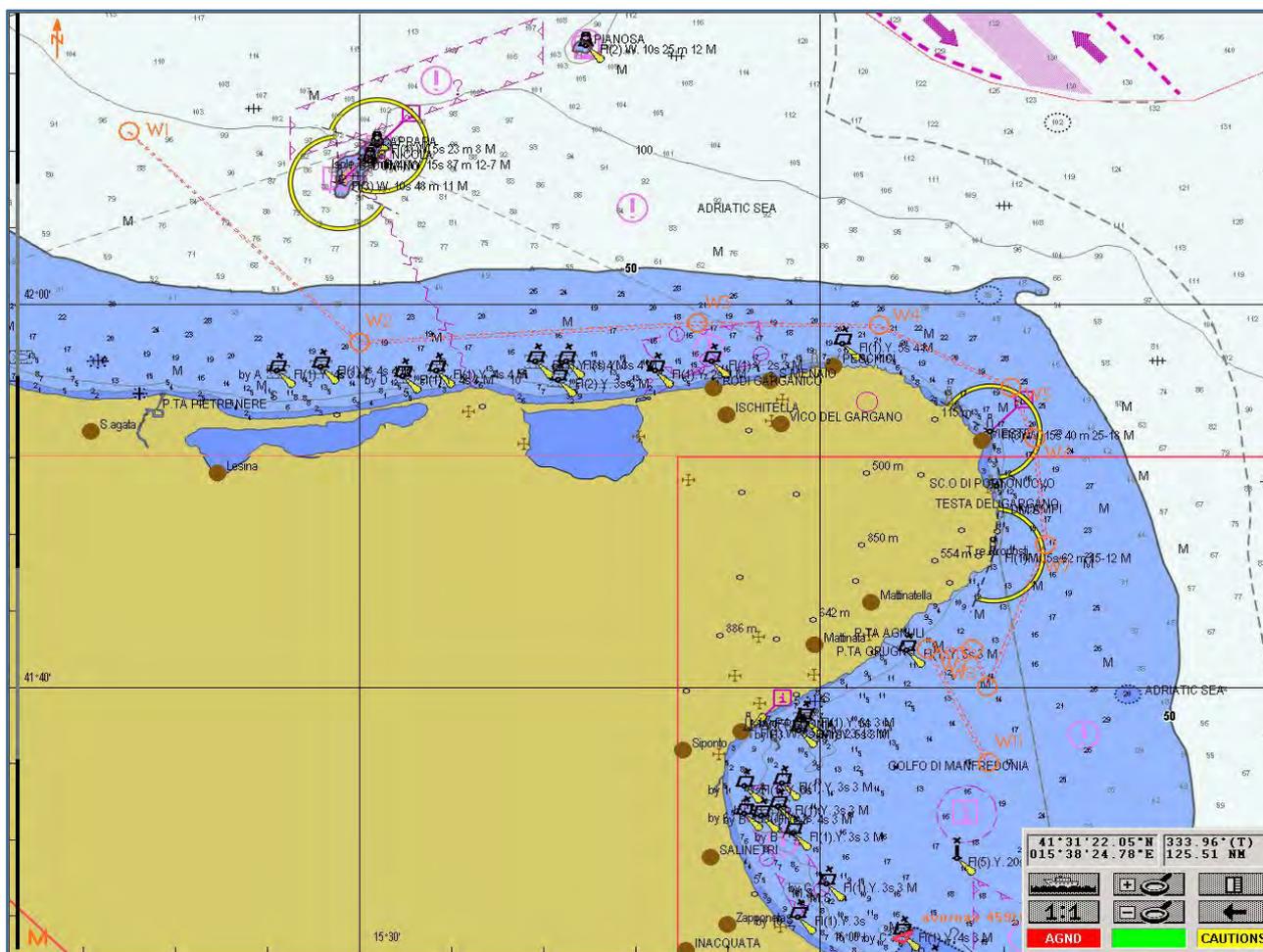


Figura 5. Screenshot del sistema di navigazione di bordo - Area di lavoro.

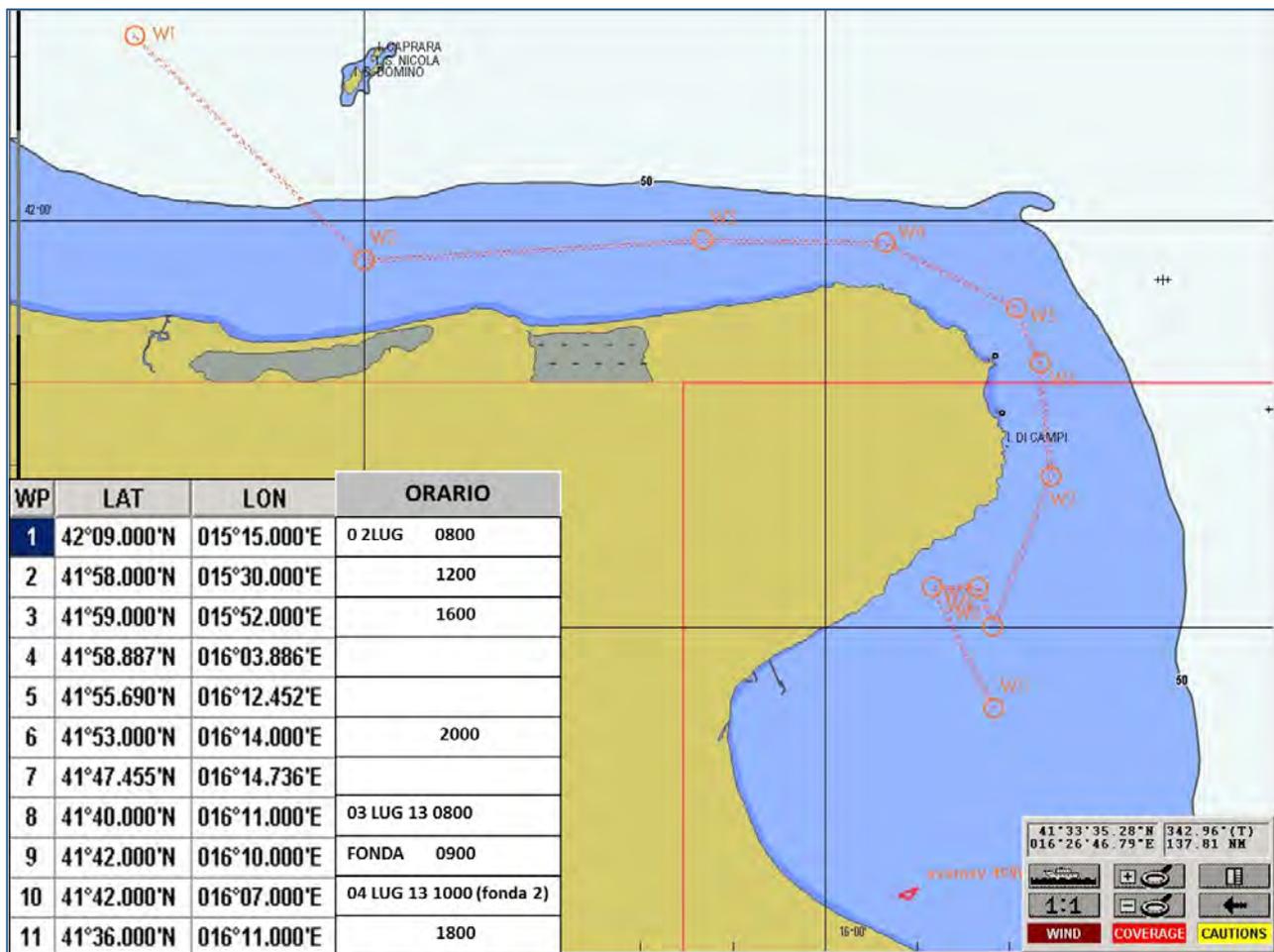


Figura 6. Screenshot del sistema di navigazione di bordo - indicazione dei waypoint.

2.1 Rilievo idro-oceanografico

Al fine di eseguire una mappatura dei possibili affioramenti di acque dolci in mare, i campionamenti sono stati effettuati sia da bordo dell'unità maggiore, la nave Palinuro, sia utilizzando le motobarce disponibili sulla nave stessa. In particolare, da nave, sono state condotte puntuali misure di conducibilità durante la traversata da Ancona fino alle acque prospicienti il promontorio garganico. In questo caso si è proceduto a campionare le acque più superficiali. Viceversa, sia a Nord che a Sud del promontorio, si è operato attraverso motobarce al fine di approssimarsi alla linea di costa ad una batimetrica contenuta (intorno ai 10 m). Infatti, le favorevoli condizioni meteo-marine hanno consentito di poter operare la messa in mare delle imbarcazioni per poter svolgere un'ispezione più diretta nella parte più superficiale dello specchio del mare.

Lungo il settore a Nord del promontorio del Gargano non sono stati riscontrati valori di salinità tali da far presupporre presenze di sorgive; viceversa, l'attenzione si è concentrata nel settore Sud, laddove sono state identificate, sia in maniera visiva durante l'ispezione da bordo dell'imbarcazione (figura 7), sia attraverso la misura diretta del valore di conducibilità, sorgenti di acqua dolce. Infatti, in alcuni punti appariva evidente il rimescolamento d'acqua evidenziato da micro vortici, cambiamenti di colore e di contrasto-luminosità rispetto al *pattern* e, talvolta, attraverso la presenza di bolle superficiali.

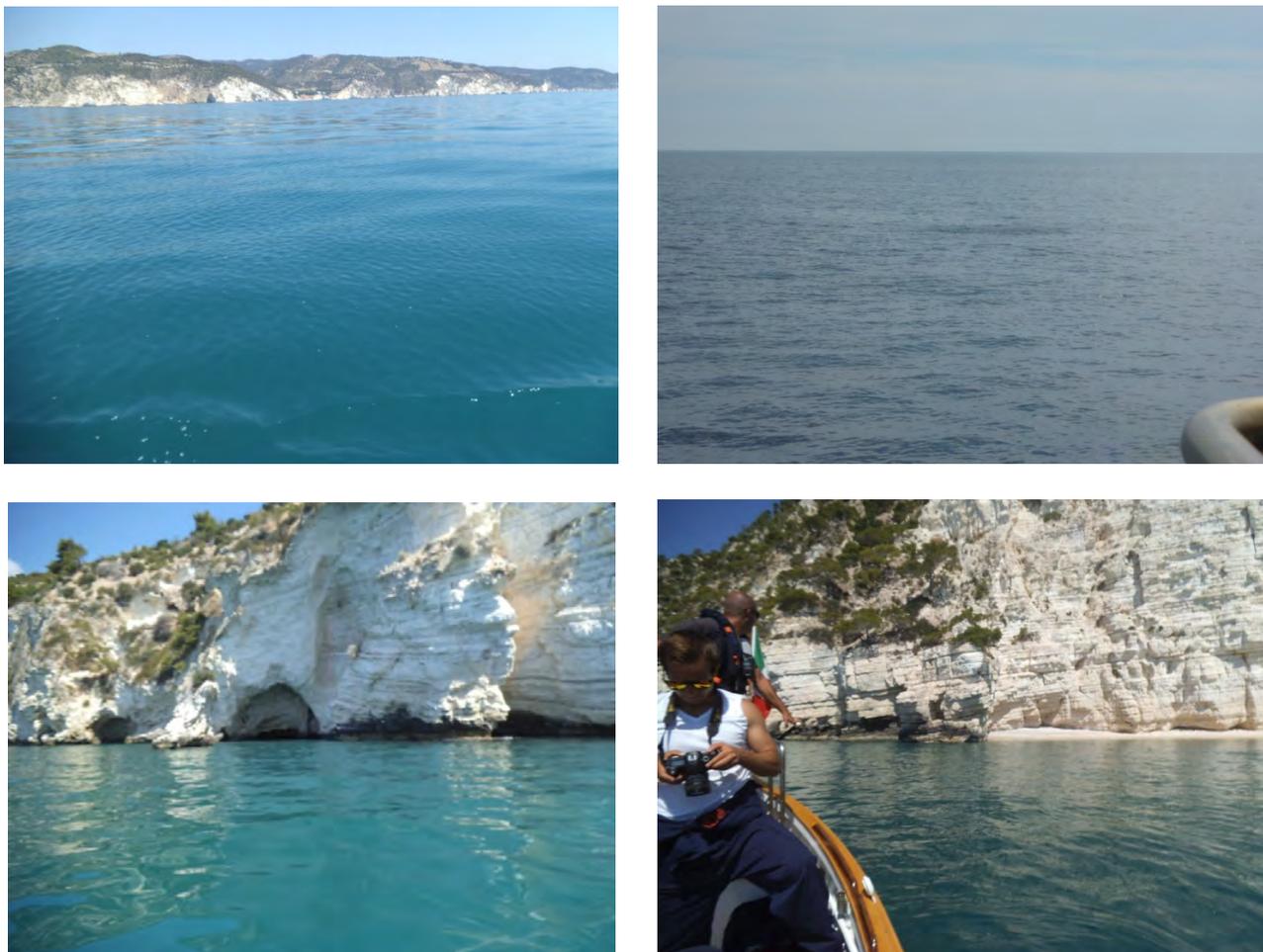


Figura 7. Alcuni esempi di avvistamento di evidenze superficiali.

La presenza di tali sorgive è stata osservata principalmente lungo due settori: il primo in corrispondenza della marina del paese di Mattinata (FG) e un secondo più a Nord, sempre nel Golfo di Manfredonia. Anche in corrispondenza di queste aree, alcune nelle immediate vicinanze della costa, sono stati prelevati sia campioni di superficie che in prossimità del fondo.



Figura 8. Punti di campionamento in superficie.



Figura 9. Punti di campionamento in prossimità del fondo.

I campioni prelevati in superficie (figura 8) ed in prossimità del fondo (figura 9) sono stati classificati e predisposti per un successivo invio presso i laboratori di Geochimica dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Palermo per le analisi chimico fisiche necessarie.

Il prelievo dei campioni è avvenuto mediante una bottiglia tipo *Niskin*. In pratica si tratta di un contenitore di materiale plastico o metallico utilizzato per il prelevamento di acqua subsuperficiale o di profondità (figura 10).

La bottiglia è formata da un tubo aperto alle due estremità con dei tappi azionati a distanza in maniera meccanica, attraverso l’invio di un cosiddetto “messaggero” (cioè di un contrappeso che fa scattare il meccanismo di chiusura) o da un sistema a molla. Nel secondo caso la chiusura avviene automaticamente nel momento in cui la bottiglia colpisce il fondo.

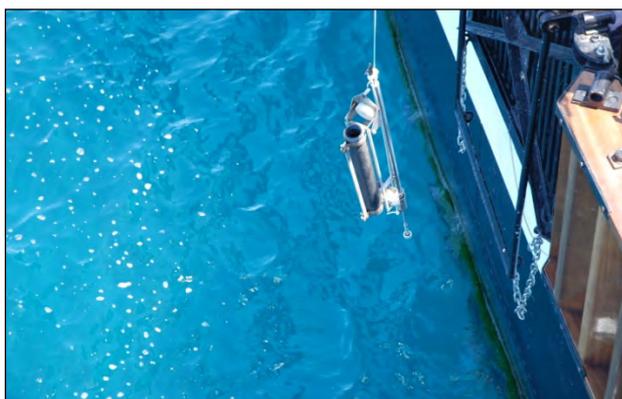


Figura 10. Bottiglia *Niskin* a molla.

Il modello utilizzato durante questa campagna di misure è quello a molla. Prima di calare la bottiglia in mare vengono aperte le due estremità in maniera tale che l’acqua abbia la possibilità di fluire al suo interno senza essere raccolta. Lo strumento viene legato ad una cima opportunamente graduata al fine di definire la profondità di prelievo del campione d’acqua anche in assenza di un sensore acustico di profondità. Una volta raggiunto il fondo, il meccanismo ad impatto fa scattare la molla che chiude i tappi posti alle due estremità raccogliendo l’acqua al suo interno (figura 11).

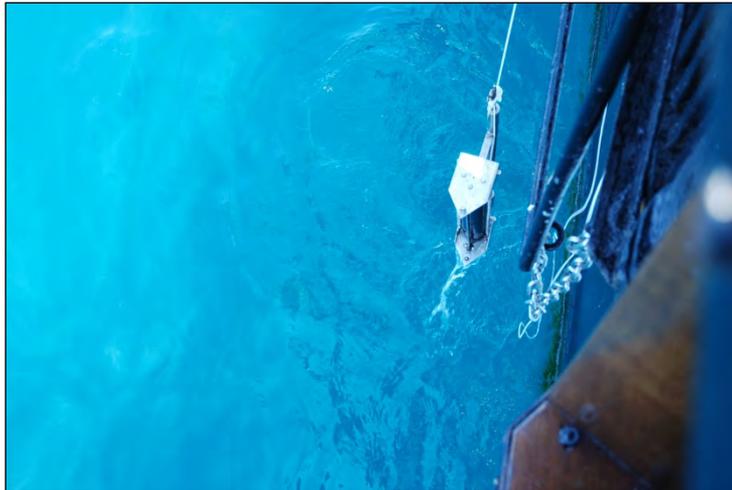


Figura 11. Recupero bottiglia *Niskin* con campione di acqua raccolto sul fondale.

Una volta recuperato lo strumento a bordo, l'acqua viene raccolta all'interno di un recipiente e successivamente travasata all'interno dei raccoglitori per campioni al fine di poter essere conservata, numerata e successivamente predisposta per l'invio ai laboratori per le analisi (figura 12).



Figura 12. Raccolta campione per la conservazione.

Durante i campionamenti, ci si è avvalsi di un conducimetro (o conduttimetro) per una misura puntuale dei valori di conducibilità utilizzandoli come indicatore della presenza di possibili sorgenti di acqua dolce.

Il conduttimetro portatile è uno strumento capace di misurare il valore di conduttività elettrica (γ) di un materiale o di una soluzione (figura 13).

La conduttività elettrica deriva dalla conduttanza, ovvero, è l'espressione quantitativa dell'attitudine di un materiale a condurre cariche elettriche, rapportata ad una dimensione nota del materiale. L'unità di misura è il Siemens su metro (S/m).



Figura 13. Conducimetro portatile.

Il circuito di misura più elementare consta di due elettrodi posti ad una distanza nota a cui viene applicata una tensione di cui si conosce il valore. La corrente misurata, quindi, può essere espressa dalla seguente formula:

$$\gamma = G (l/A)$$

dove:

G è la Conduttanza, l è la lunghezza del campione (m) ed A è l'area descritta dagli elettrodi (m^2).

Lo strumento utilizzato è inoltre in grado di misurare la temperatura dell'acqua (in °C) ed è particolarmente indicato per misure in situ, attraverso il prelievo di una piccola quantità di acqua all'interno di un recipiente.

2.2 Misure accelerometriche

Come detto in precedenza, durante la campagna di misure è stato condotto anche un esperimento con l'obiettivo di delineare l'ampiezza massima di escursione delle accelerazioni, dovute ai possibili effetti del moto presenti durante la navigazione, che si possono presentare a bordo di una nave. Nel caso specifico della Palinuro, proprio per le sue caratteristiche costruttive, non è la nave particolarmente predisposta per *survey* geofisici, soprattutto per una campagna di media durata. Pertanto, l'aver eseguito misure in questo contesto, ci ha consentito di collezionare dati accelerometrici nel 'caso limite' e, per le modalità con la quale sono stati raccolti, in modo da realizzare un *test* statisticamente e qualitativamente significativo.

L'accelerometro installato è uno strumento capace di misurare le componenti inerziali dell'accelerazione e le componenti della gravità locale che agiscono lungo i suoi assi sensibili. La sua alta dinamica permette la misura del beccheggio del rollio e dell'ondeggiamento verticale della nave, sia in porto che durante la navigazione.

Lo scopo delle misure è quello di caratterizzare le accelerazioni e oscillazioni a cui è sottoposto uno strumento a bordo di una nave per poter determinare gli effetti che esse potrebbero produrre su di esso e i requisiti di un eventuale sistema di compensazione (piattaforma inerziale). Questa caratterizzazione suscita interesse in funzione di una serie di esperimenti a cui l'INGV prende parte e che prevedono l'uso di strumentazione di precisione (gravimetri assoluti, gravimetri relativi, gradiometri gravitazionali, *laser-scan*, etc.) a bordo di imbarcazioni e le cui misure sono inficiate dalle accelerazioni e dalle inclinazioni della stessa.

L'esperimento condotto durante la campagna di misura è quindi funzionale ai progetti menzionati e avviati nell'ambito del Distretto Ligure per le Tecnologie Marine che qui si richiamano sinteticamente:

- USV (*Unmanned Surface Vehicle*) per *Blue Water - SWAD Sea Watch Dog*, ovvero “Guardiano del mare”. Questo progetto che prevede lo sviluppo e la prototipizzazione di un battello tele-operato antipirateria, è altresì caratterizzato da una piattaforma inerziale di secondo livello finalizzata ad ospitare, in configurazione duale, strumenti di misura gravimetrica ad alta sensibilità;
- SCANCOAST che prevede l’installazione di sistemi inerziali per le correzioni in *post-processing* di dati acquisiti mediante scansione tridimensionale basata su tecnologia *laser-scanning* e finalizzata al monitoraggio di versanti di frane lungo le coste alte, integrati da dati di batimetria.

Allo stesso tempo, le misure accelerometriche effettuate saranno un prezioso ausilio in futuri progetti di ricerca volti a migliorare i sistemi inerziali applicabili sia in campo marino che in quello terrestre (per esempio: misure assolute di gravità, progettazione di innovativi sensori dedicati, etc.).

Il punto di partenza dello studio è costituito dalla misura relativa delle accelerazioni presenti a bordo della nave durante le sue diverse configurazioni di navigazione. Queste accelerazioni hanno fondamentalmente due contributi: uno di natura gravitazionale e uno di natura inerziale.

Il principale effetto gravitazionale è dovuto alle variazioni di assetto (es. rollio e beccheggio) della nave che producono una variazione della proiezione dell’accelerazione di gravità sui tre assi di riferimento della nave stessa.

Gli effetti inerziali sono quelli determinati da ogni variazione di velocità, sia in termini di intensità che di direzione del vettore di riferimento. A bordo di una nave di questo tipo non si attendono variazioni importanti in termini di intensità, piuttosto, il contributo dominante è dovuto alle variazioni di direzione. Queste sono dovute in parte alla fisica di un qualsiasi oggetto galleggiante (rollio e beccheggio) e in parte ai cambiamenti di rotta in fase di navigazione.

Lo scopo principale delle misure è quello di realizzare una mappatura dei suddetti contributi accelerometrici in diversi punti della nave. Poiché tali contributi sono fortemente dipendenti dalle condizioni al contorno del sistema (esempio: condizioni atmosferiche, direzione del vento, altezza dell’onda, configurazione di navigazione, etc.), le misure sono state effettuate anche in modo differenziale confrontando i due accelerometri sempre posti in posizioni differenti sulla nave.

Per l’esecuzione delle misure sono stati impiegati due accelerometri tri-assiali ad elevata sensibilità sviluppati presso i laboratori di gravitazione sperimentale dell’Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) in collaborazione con AGI srl. Gli strumenti (figura 14) sono dei trasduttori capacitivi che trasformano gli spostamenti relativi di un oscillatore armonico in accelerazioni, con una risoluzione che consente di misurare accelerazioni dell’ordine di $10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Questa tipologia di sensore nasce dall’attività di ricerca di fisica fondamentale nell’ambito della missione spaziale ‘*Bepicolombo*’.



Figura 14. Vista fronte/retro degli accelerometri.

L'esecuzione delle misure è avvenuta in due fasi distinte. Durante una prima fase, uno degli accelerometri (denominato A) è stato posto nel locale della nave Palinuro in cui è situata la girobussola (pos. 0 nella figura 15). Si ritiene che tale posizione sia in prossimità del metacentro della nave, compatibilmente con gli spazi a disposizione dello scafo. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con continuità durante tutta la giornata. Viceversa, un altro accelerometro (denominato B) è stato posto in 5 diverse posizioni della nave (figura 15):

- Alloggio Comandante di Classe, ovvero sulla stessa sezione trasversale della nave, spostato rispetto all'asse longitudinale di circa 3 metri verso dritta e 3 metri verso l'alto (pos. 1);
- Officina Meccanica, ovvero sulla stessa sezione longitudinale della nave, spostato verso prora di circa 35 metri e circa 3 metri verso il basso; (pos. 2);
- Quadrato Ufficiali, ovvero sulla stessa sezione longitudinale della nave, spostato verso poppa di circa 6 m e circa 3 metri verso l'alto; (pos. 3);
- Plancia di comando, ovvero sulla stessa sezione longitudinale della nave, spostato verso l'alto di circa 9 metri; (pos. 4);
- Nel locale alloggi collocato a prora della nave (pos. 5).

Anche l'accelerometro B è stato lasciato in acquisizione in modo continuo per un tempo variabile. I dati così rilevati saranno processati in seguito attraverso software sviluppati da AGI srl. In particolare, saranno trattati in modo da evidenziare le varie componenti in diverse bande di frequenza.

Durante una seconda fase, invece, è stato possibile acquisire gli effetti accelerometrici al variare delle operazioni di manovra della nave.

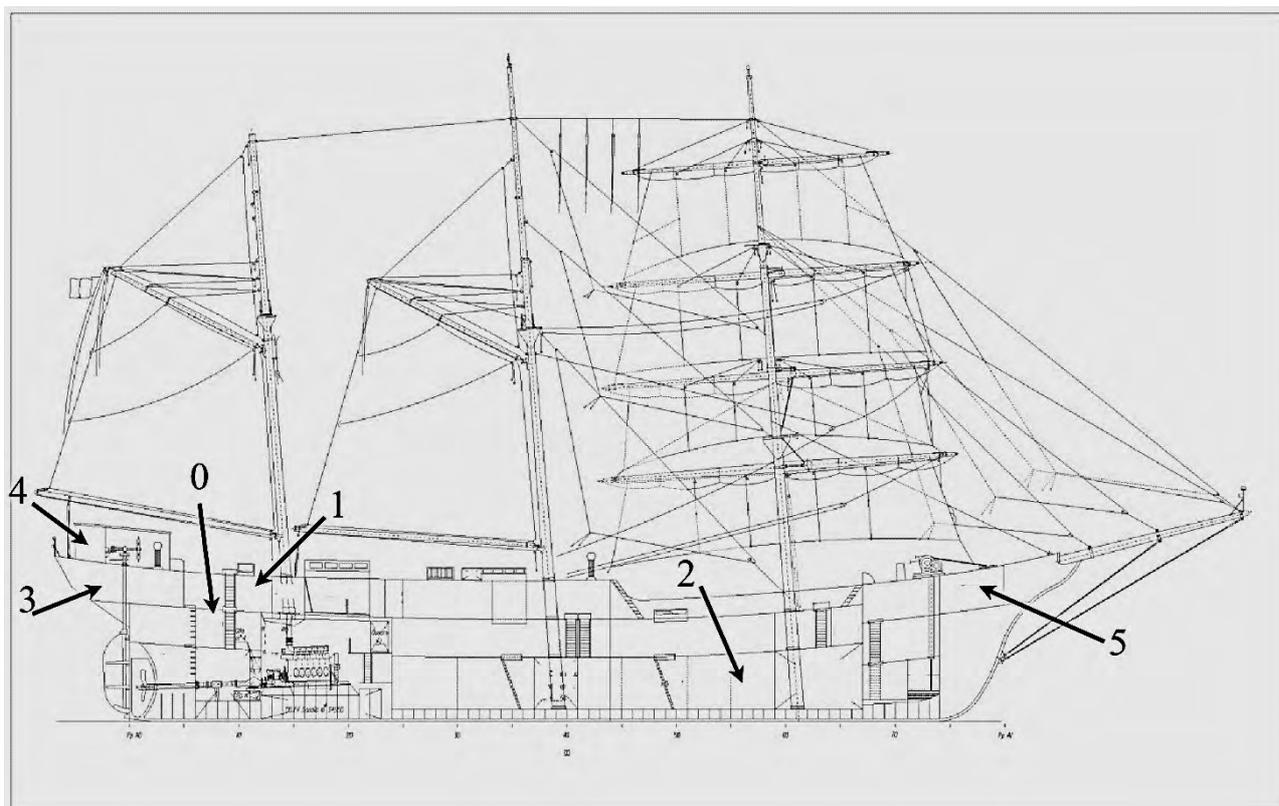


Figura 15. Posizioni di misura per gli accelerometri A e B.

2.2.1 Analisi preliminari delle misure accelerometriche

In questo sottoparagrafo sono raccolti i grafici di alcune misure eseguite simultaneamente nel locale girobussola, nell'officina meccanica e nella plancia. Essendo la nave, almeno in prima approssimazione, un corpo rigido, ci si aspetta che ci sia una forte correlazione tra i segnali misurati nei diversi locali. Allo stesso tempo si dovrebbero evidenziare delle accelerazioni inerziali maggiori in punti lontani dal baricentro della nave; tale punto è stato individuato approssimativamente in corrispondenza del locale girobussola. Come si può vedere dalle seguenti figure, entrambe queste considerazioni sono state verificate.

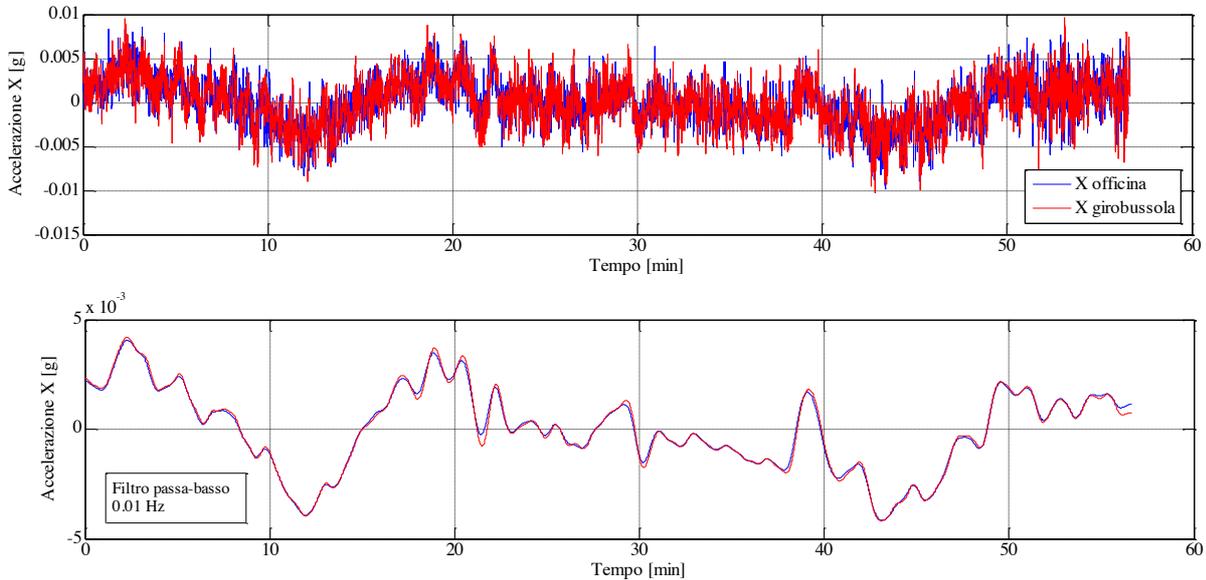


Figura 16. Accelerazioni lungo la direzione X (trasversale) in funzione del tempo (minuti dalla mezzanotte) misurate nell'officina e nel locale girobussola dai due accelerometri AGI. Nel grafico in alto, le misure non filtrate; in quello in basso, sono stati evidenziati le componenti spettrali a bassa frequenza tramite l'uso di un filtro passa-basso con frequenza di taglio a 0.01 Hz. Come si può notare, per la componente x c'è una perfetta corrispondenza sia per le alte che per le basse frequenze.

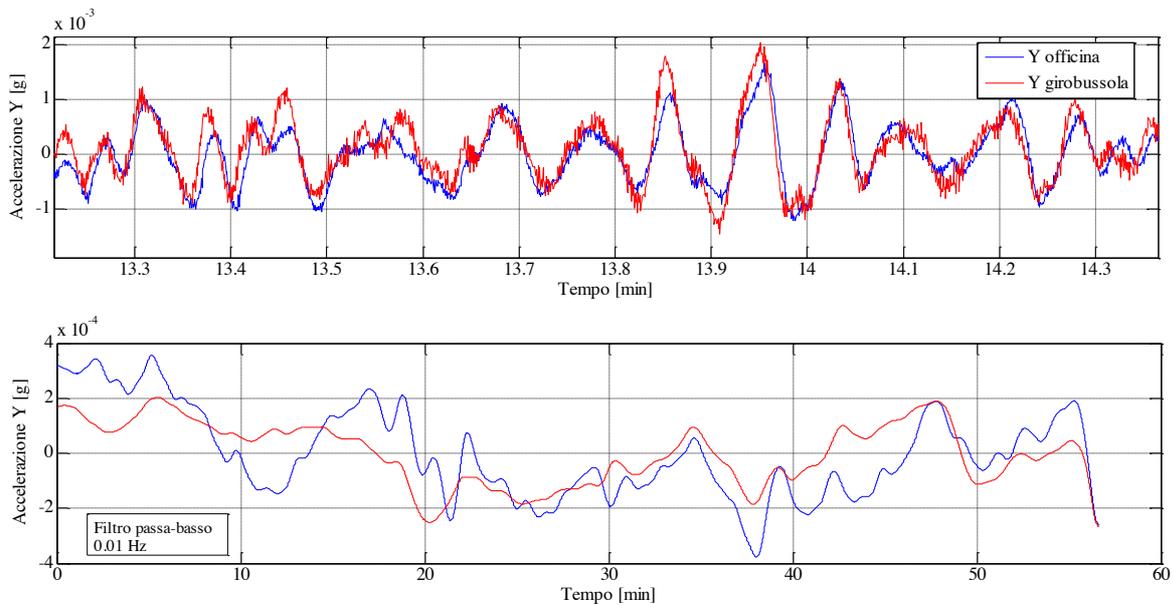


Figura 17. Nella direzione Y si può notare che c'è una ottima corrispondenza per le componenti spettrali ad alta frequenza (grafico in alto) mentre le misure si discostano per le componenti a frequenza minori di 0.01 Hz (grafico in basso).

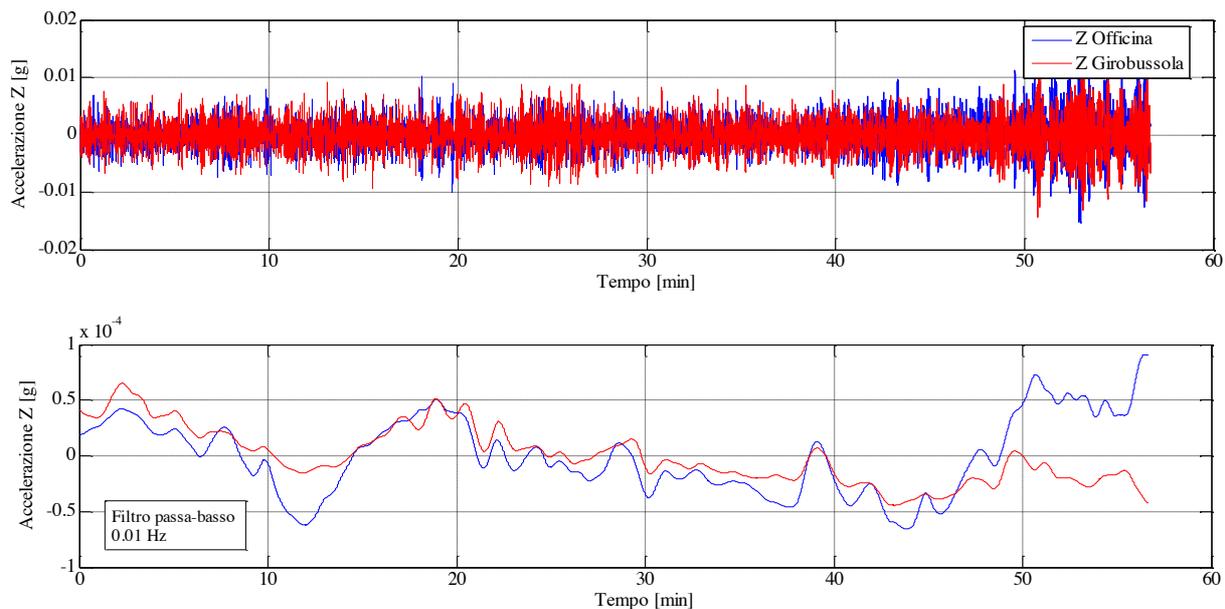


Figura 18. Per la componente z valgono considerazioni analoghe a quelle fatte per la componente y.

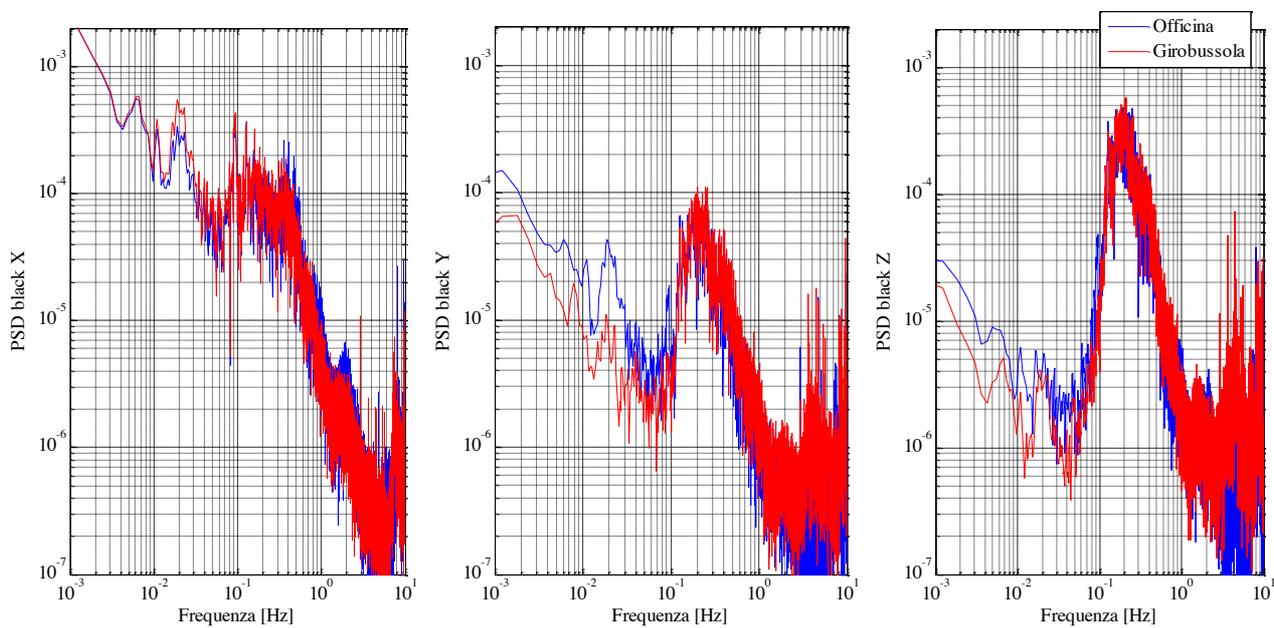
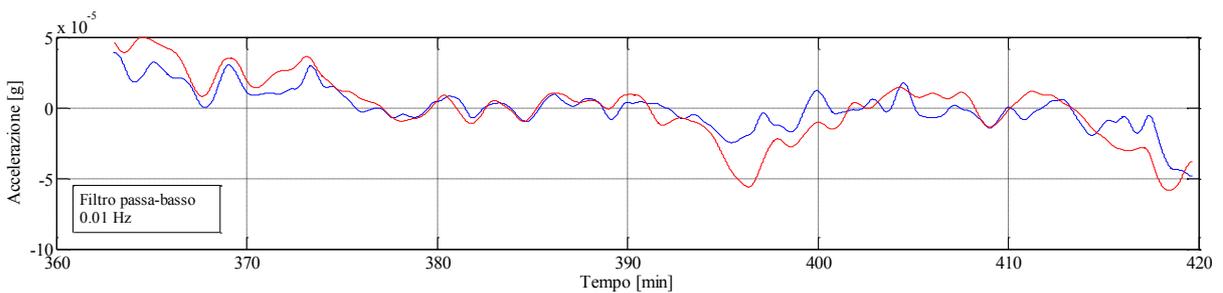
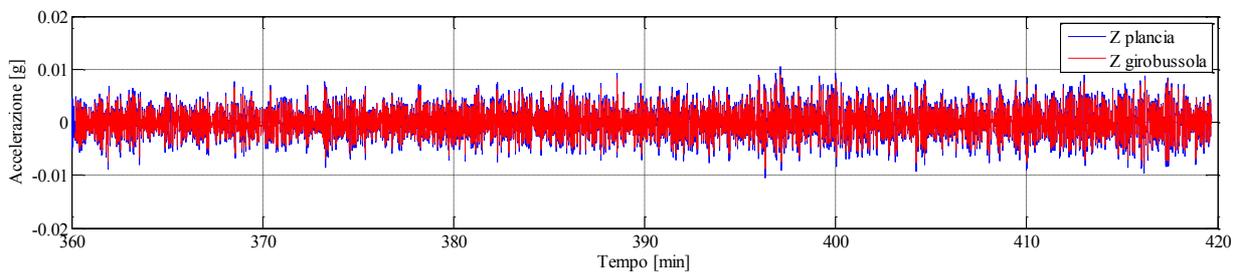
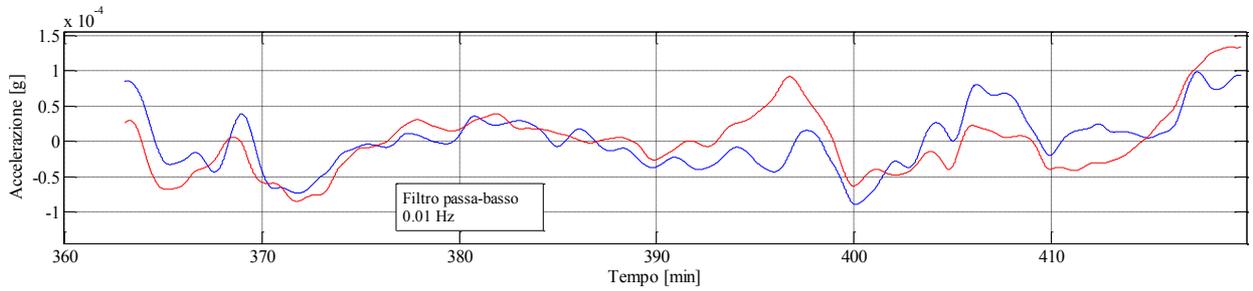
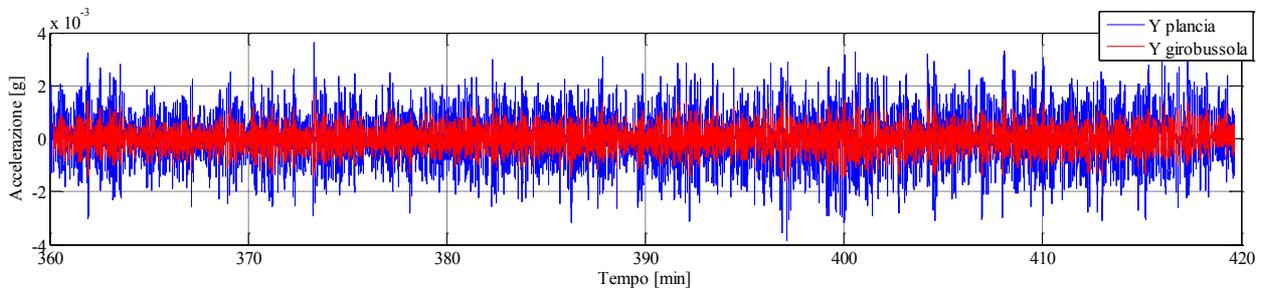
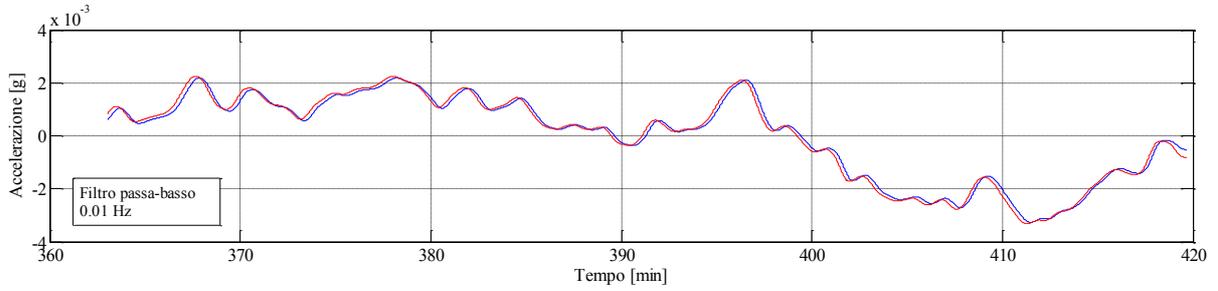
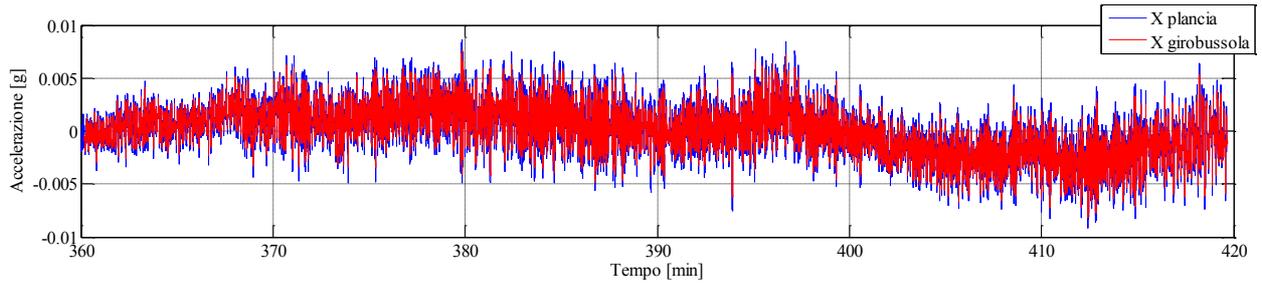


Figura 19. Le medesime osservazioni fatte analizzando i segnali in funzione del tempo; sono state evidenziate da uno studio nel dominio delle frequenze.



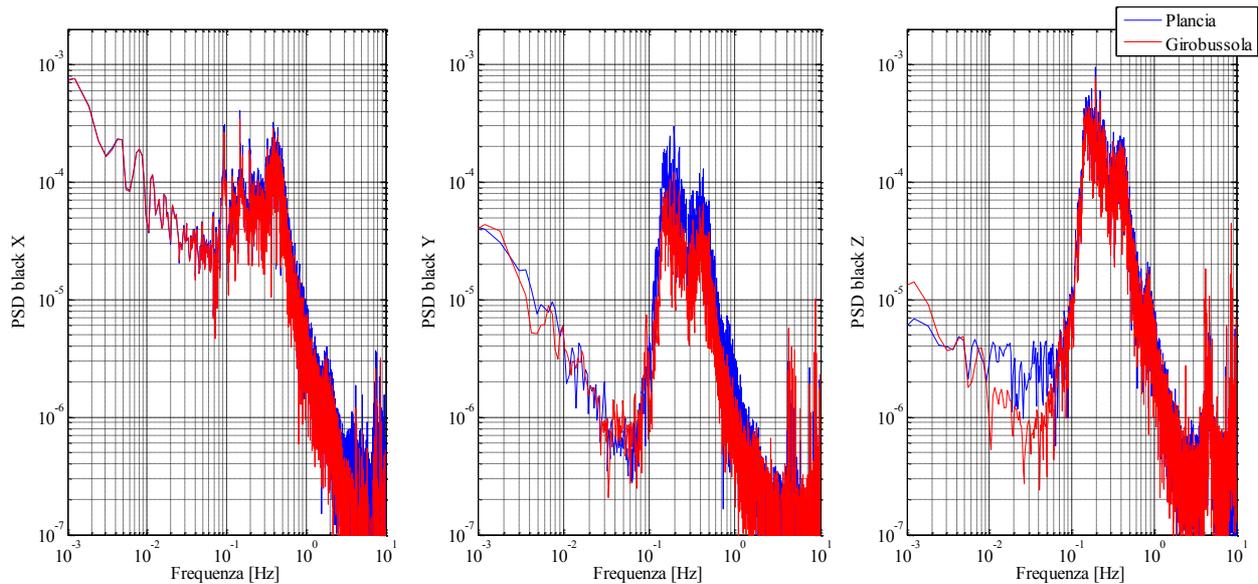


Figura 20. Confronto tra le misure eseguite nella plancia e nel locale girobussola.

2.2.2 Analisi delle accelerazioni misurate durante virate rapide della nave

In questo sottoparagrafo sarà illustrata l'interpretazione dei dati accelerometrici misurati durante alcune manovre di virata della nave (Tabella 2) in termini di assetto della stessa.

Durante una virata la nave assume due assetti sbandati differenti. Una prima sbandata, detta "di saluto", è rivolta verso l'interno del cerchio di accostata. Essa è di breve durata e lieve entità e si verifica subito dopo aver messo il timone alla banda. Una seconda e più evidente sbandata, rivolta verso l'esterno del cerchio di accostata, subentra alla prima non appena la nave comincia ad accostare.

Dal Diario di bordo	
Ora	Sviluppo cronologico
9:07	Tutta BR a SN
9:08	Tutta BR a DR
9:08	Barra DR

Tabella 2. Indicazione orario e manovra.

L'interpretazione dei dati non è facile perché, come si evince dal grafico di figura 21 (curve rosse), la nave era sottoposta ad una continua oscillazione di rollio (x) e beccheggio (y) la cui ampiezza era maggiore di quella dovuta agli effetti della manovra: questo ci fa capire il motivo per cui alcune dinamiche dei movimenti della nave, come la sbandata di saluto, non sono facilmente percepibili dalle persone a bordo.

Come noto, gli accelerometri, al contrario delle girobussole, non distinguono tra l'accelerazione di gravità, che cambia al variare dell'inclinazione della nave, e le accelerazioni della stessa.

Per evidenziare meglio gli effetti delle manovre abbiamo filtrato i dati (linee nere) eliminando le oscillazioni più veloci e quindi tenendo solo i contributi più lenti cui appartengono le sbandate.

Nella figura 22 viene riportato solo il grafico relativo ai dati filtrati. Dalle accelerazioni misurate longitudinalmente (y, quelle relative al beccheggio) si evincono in modo sufficientemente chiaro le fasi della manovra riportate anche in tabella 2. Purtroppo il tempo tra una e l'altra non è stato sufficientemente lungo e questo ha fatto sì che alcuni effetti siano sovrapposti e poco chiaramente distinguibili.

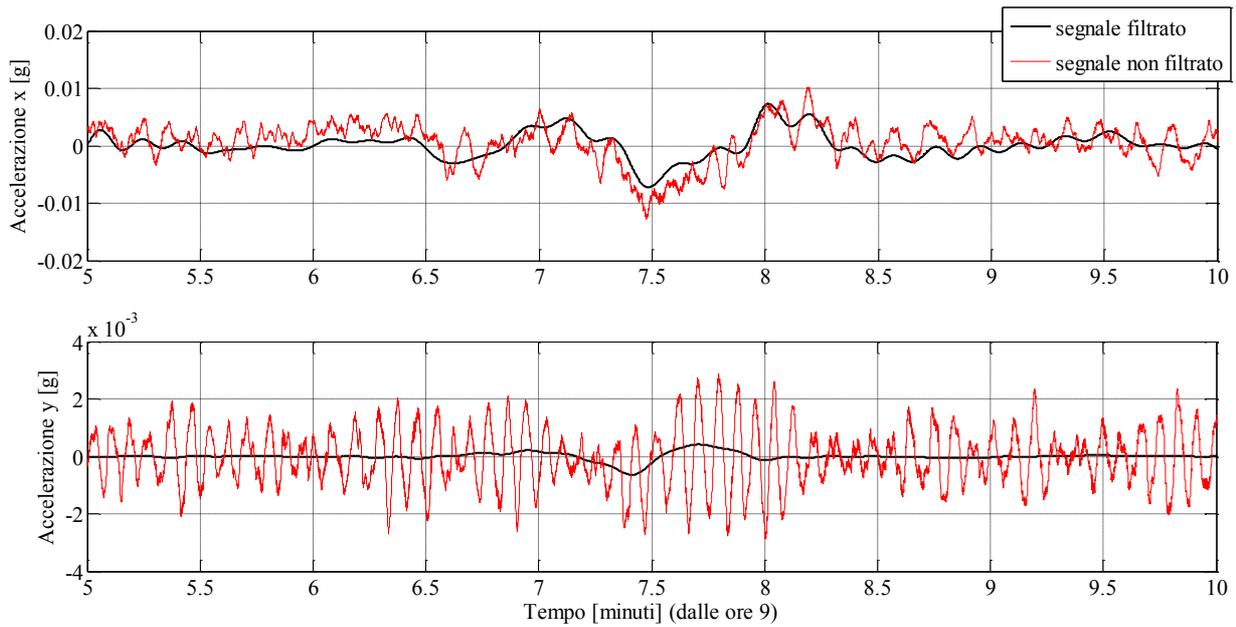


Figura 21. Oscillazioni della nave e relative accelerazioni.

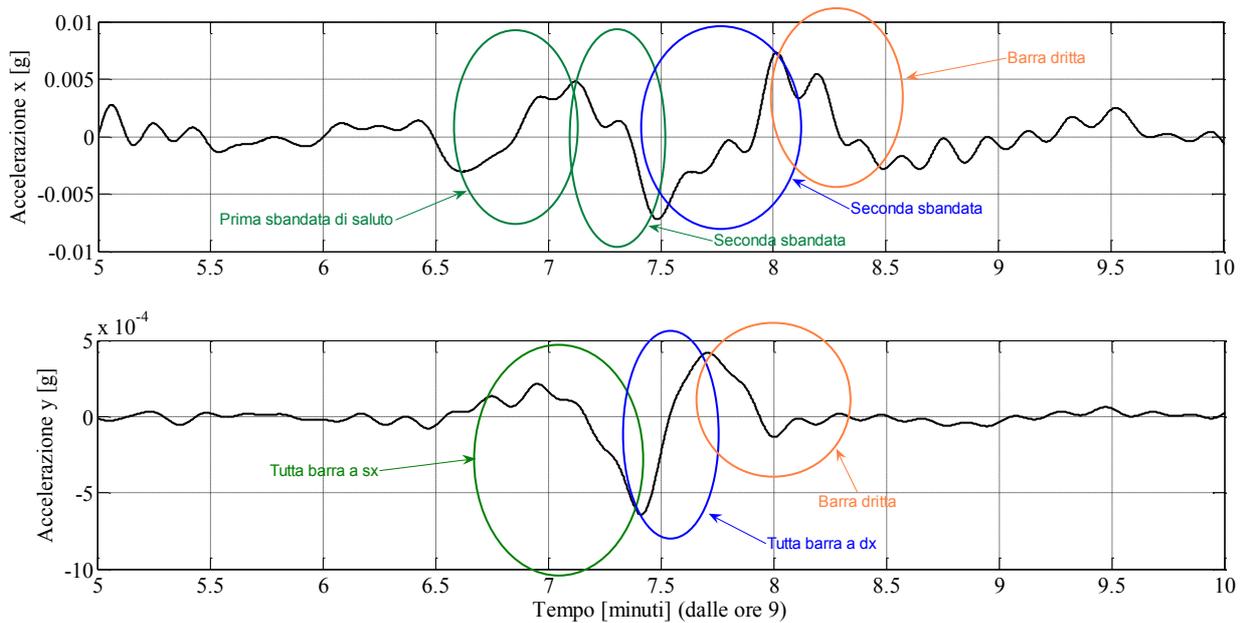


Figura 22. Valori di accelerazione a seguito di filtraggio.

Dalla pendenza dell'accelerazione lungo y si individuano tre differenti fasi che potrebbero essere ricondotte alle tre manovre: in corrispondenza di queste possiamo osservare l'andamento orizzontale (x, quello relativo al rollio) dell'accelerazione. Mentre per la prima manovra possiamo osservare una fase che potrebbe essere riconosciuta come sbandata di saluto, per le altre due sembrano evidenziarsi solo le sbandate principali.

3. Conclusioni

È in programmazione una nuova campagna di misure idro-oceanografica che sarà condotta attraverso campionamenti che saranno effettuati con l'ausilio del ROV (*Remotely Operated Vehicle*) in dotazione alla sede INGV di Portovenere ed attualmente in fase di completamento di allestimento. Mediante il ROV saranno effettuate anche ispezioni visive in prossimità del fondo e in corrispondenza delle evidenze superficiali censite nel corso della campagna di misure fin qui descritta.

Le analisi condotte sui dati accelerometrici vengono attualmente utilizzati nell'ambito delle sperimentazioni sullo scafo *SWAD* per il progetto sinteticamente descritto in precedenza. In particolare, le misure fin qui condotte hanno consentito di misurare le frequenze caratteristiche e i limiti di escursione delle accelerazioni a bordo di un mezzo navale 'non specializzato' permettendo di fissare il *range* di massima escursione all'interno del quale si prevede debba funzionare una piattaforma inerziale di primo livello.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Marina Militare per la preziosa collaborazione nell'organizzazione ed esecuzione dell'attività GARGANO2013.

Si ringraziano Raffaele D'Adamo e Tommaso Scirocco dell'Istituto di Scienze Marine del CNR di Lesina per il prezioso supporto nella fornitura dei dati relativi al censimento delle acque interne del Gargano.

Si ringrazia la ditta AGI S.r.l. per il prezioso supporto nella sperimentazione degli accelerometri.

Bibliografia

- Anzidei, M., Baldi, P., Casula, G., Crespi, M., Riguzzi, F., (1996). *Repeated GPS surveys across the Ionian Sea: Evidence of crustal deformations*: Geophysical Journal International, 127, pp. 257–267.
- Calcagnile, G., and Panza G.F., (1981). *The main characteristics of the lithosphere-asthenosphere system in Italy and surrounding regions*. Pure Appl. Geophys., 119, 865 – 879.
- Camassi R., Bernardini F., Castelli V., Meletti C., (2008). *A 17th Century Destructive Seismic Crisis in the Gargano Area: Its Implications on the Understanding of Local Seismicity*, Journal Of Earthquake Engineering, 00:1–23.
- Chilovi, C., De Feyter, A.J., Pompucci, A., (2000). *Wrench zone reactivation in the Adriatic Block: the example of the Mattinata Fault System (SE Italy)*, Boll. Soc. geol. ital. 119, 3–8.
- Di Bucci, D., and P. Angeloni (2013), *Adria seismicity and seismotectonics: Review and critical discussion*, Mar. Pet. Geol., 42, 182–190.
- Di Bucci D., Ramaglia A, Seno S., Toscani G., Fracassi U., Valensise G., (2007). *Modes of fault reactivation from analogue modeling experiments: Implications for the seismotectonics of the Southern Adriatic foreland (Italy)*. Quaternary International 171–172, 2–13.
- Doglioni C., Mongelli F., Pieri P.,(1994). *The Puglia uplift (SE Italy): An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*, Tectonics, 13(5), 1309 – 1321.
- Favali, P., Funicello R., Mattiotti G., Mele G., Salvini F., (1993). *An active margin across the Adriatic Sea central Mediterranean Sea*, Tectonophysics, 219, 109 – 117.
- Ferranti, L. and Oldow J.S., (2005). *Latest Miocene to Quaternary horizontal and vertical displacement rates during simultaneous contraction and extension in the Southern Apennines orogen, Italy*. Terra Nova, 17, 209-214.
- Finetti, I., (1982). *Structure, stratigraphy and evolution of the centralMediterranean*, Boll. Geofis. Teor. Appl., 24, 247 – 312.
- Patacca E. and Scandone P., (2001). *Identificazione di strutture sismo genetiche*. Rapporto tecnico, Convenzione di Ricerca tra ENEA e Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa.

- Patacca E. and Scandone P., (2004). *The 1627 Gargano earthquake (Southern Italy): Identification and characterization of the causative fault*. Journal of Seismology, 8, pp. 259-273.
- Piccardi, L., (1998). *Cinematica attuale, comportamento sismico e sismologia storica della faglia di Monte Sant'angelo (Gargano, Italia): La possibile rottura superficiale del "leggendario" terremoto del 493 d.C.*, Geogr. Fis. Din. Quat., 21, 155 – 166.
- Salvi, S., Quattrocchi, F., Brunori, C.A., Doumaz, F., Angelone, M., Billi, A., Buongiorno, F., Funicello, R., Guerra, M., Mele, G., Pizzino, L., Salvini, F., (1999). *A multidisciplinary approach to earthquake research: implementation of a Geochemical Geographic Information System for the Gargano site, southern Italy*. Nat. Hazards 20, 255–278.
- Salvini, F., Billi, A., Wise, D.U., (1999). *Strike-slip fault propagation cleavage in carbonate rocks: The Mattinata fault zone*: Journal of Structural Geology, v. 21, pp. 1731–1749.
- Scirocco T., Cilenti L., (2004), *Flora e fauna delle acque interne del Parco Nazionale del Gargano (Indagini biologiche preliminari di piccole raccolte d'acqua dolce: Paludi, Fantine, Cutini e Sorgenti), Monte Sant'Angelo*, Edizioni del Parco, Claudio Grenzi Editore, Foggia.
- Tondi E., Piccardi L., Cacon S., Kontny B., Cello G. ,(2005). *Structural and time constraints for dextral shear along the seismogenic Mattinata Fault (Gargano, southern Italy)*. J. Geodyn., 40, 134-152.

Allegato 1

Tabella acque interne del Gargano (*fonte CNR ISMAR Lesina*)

Siti	Nome del Sito	Lat.	Long.	Idroperiodo
1	Fantine Bosco Isola 01(Lesina)	41,8950000	15,3528000	T
2	Fantine Bosco Isola 02 (Lesina)	41,8959200	15,3549000	T
3	Fantine Bosco Isola 03 (Lesina)	41,8974167	15,3515833	T
4	Fantine Bosco Isola (Zappino-01) (Lesina)	41,8921200	15,4021600	T
5	Fantine Bosco Isola (Zappino-02) (Lesina)	41,8922222	15,4052778	T
6	Fantina Lesina (Lesina)	41,8971111	15,3338056	T
7	Fantine Tombolo Varano (Ischitella)	41,9100556	15,7610833	T
8	Palude Orti di Tullio (Cagnano Varano)	41,8456906	15,7931567	T
9	Laghetto d'Umbra - Foresta Umbra (Vico del Gargano)	41,8171944	15,9964444	P
10	Lago Salso Manfredonia (Manfredonia)	41,5578667	15,8720611	P
11	Palude Usmai (Peschici)	41,9430278	16,0638333	T
12	Palude Sfinale (Peschici)	41,9323889	16,0842778	T
13	Pantano di Sant'Egidio (S. Giovanni Rotondo)	41,7110528	15,7986472	T
14	CutinoRevitali -Foresta Umbra (Vico del Gargano)	41,8652778	16,0627778	T
15	CutinoScaranappe Foresta Umbra (Monte Sant'Angelo)	41,8085278	15,9737500	T
16	Cutino Torre Palermo Foresta Umbra (Monte Sant'Angelo)	41,7934300	16,0428600	T
17	Cutino d'Otri Foresta Umbra (Monte Sant'Angelo)	41,7966111	16,0288333	T
18	CutinoSciurello Foresta Umbra (vico del Gargano)	41,8668056	16,0122222	T
19	Cutino del Lupo Foresta Umbra (Monte Sant'Angelo)	41,8026944	15,9808889	T
20	Cutino della Tagliata 01(Mattinata)	41,7630600	16,0650000	T
21	Cutino della Tagliata 02 (Mattinata)	41,7600000	16,0605556	T
22	Cutino della Tagliata 03 (Mattinata)	41,7583333	16,0594444	T
23	Cutino della Signora (Monte Sacro) Mattinata	41,7744639	16,0365000	T
24	Cutino Monte Sacro (Mattinata)	41,7735556	16,0467778	T
25	Cutino Monte Sacro (Mattinata)	41,7766667	16,0421944	T
26	CutiniPandolfe (Monte Sant'Angelo)	41,7639444	15,8845278	T
27	CutinoIrchio (Ischitella)	41,8743611	15,8126389	T
28	Cutino SSV del Gargano Uscita Ischitella (Ischitella)	41,8992222	15,8593611	T
29	Cutini Dolina Centopozzi (Rignano)	41,7008333	15,5966667	T
30	Cutino Lama la Vita (Vieste)	41,8027778	16,1522222	T
31	CutinoFalascone (Monte Sant'Angelo)	41,8055556	15,9944444	T
32	Piscina del Signore (Vieste)	41,8138889	16,0908333	T
33	Piscina di Manfredonia (Monte Sant'Angelo)	41,7391667	15,8627778	T
34	Piscina San Salvatore (Vieste)	41,8066667	16,1436111	T
35	Piscina Femmina Morta (San Nicandro)	41,8480556	15,6483333	T
36	Piscina Principessa (S. Giovanni Rotondo)	41,7378056	15,8190278	T
37	Piscina (SST S. Giovanni-M.S. Angelo)	41,7208556	15,8862500	T
38	Piscina Valle Ragusa (Monte Sant'Angelo)	41,7608333	15,8638889	T
39	Piscina-C.ma Caritate Foresta Umbra (Vico del Gargano)	41,8699167	16,0539167	T
40	Piscina 01Carpino	41,8533611	15,8445833	T
41	Piscina "Chiancate" (San Giovanni Rotondo)	41,7700000	15,7573611	T

42	Piscina SSP Carpino-S. Giovanni Rotondo (San Giovanni Rotondo)	41,8195861	15,8415083	T
43	Piscina (SSVS Nicola Umbuti) (Cagnano Varano)	41,8831667	15,6574167	T
44	Piscina 01 (Cagnano Varano)	41,8239722	15,7713056	T
45	Piscina 02(Cagnano Varano)	41,8245833	15,7635278	T
46	Piscina 03 (Cagnano Varano)	41,8282778	15,7568889	T
47	Piscina Monte Calvo 01 (San Giovanni Rotondo)	41,7383611	15,7331111	T
48	Piscina Monte Calvo 02 (San Giovanni Rotondo)	41,7433333	15,7253333	T
49	Piscina Monte Calvo 03 (San Giovanni Rotondo)	41,7263778	15,7509944	T
50	Piscina della Ginestra (Vieste)	41,8126561	16,0116989	T
51	Piscina Fondate (Cagnano Varano)	41,8245700	15,7634200	T
52	Piscina "La Vallata" (Cagnano Varano)	41,8225811	15,7134897	T
53	Piscina Niuzi (Ischitella)	41,8533611	15,8779164	T
54	Pozzo dei Monaci (Cagnano Varano)	41,8238056	15,7716111	P
55	Sorgente di S. Nazario (Poggio Imperiale)	41,8530800	15,4551200	P
56	Sorgente la Salata (Vieste)	41,9238889	16,1108333	P
57	Sorgente Coccia (Cagnano Varano)	41,9001667	15,6768056	P
58	Sorgente-Fontana SSV del Gargano (Ischitella)	41,9105833	15,9001944	P
59	Sorgente di San Nicola Imbuti (Cagnano Varano)	41,8748889	15,6837139	P
60	Sorgente dell'Ospedale (Cagnano Varano)	41,8704300	15,6795900	P
61	Sorgente Bagno (Cagnano Varano)	41,8431200	15,7622000	P
62	Sorgente di Irchio (Ischitella)	41,8723750	15,8102770	P
63	Sorgente Pannoni (Cagnano Varano)	41,8434444	15,7578611	P
64	Sorgente Fontana Sfilzi (Foresta Umbra) (Vieste)	41,8577778	16,0255556	T
65	Sorgente 01 (Vieste)	41,9092778	16,1354722	P
66	Sorgente 02 Spiaggia del Castello (Vieste)	41,8542222	16,1764444	P
67	Sorgente 03 LidoPortonuovo (Vieste)	41,8496944	16,1781389	P
68	Sorgente 04 Lido Portonuovo (Vieste)	41,8410833	16,1840000	P
69	Sorgente 05 Lido Portonuovo (Vieste)	41,8425833	16,1835556	P
70	Sorgente 06 Spiaggia Portonuovo (Vieste)	41,8455278	16,1803333	P
71	Sorgente 07 Spiaggia del Castello (Vieste)	41,8586111	16,1742500	P
72	Sorgente e Palude Molinella (Vieste)	41,9086267	16,0133383	P
73	Sorgente-Fontana Canneto (Vico del Gargano)	41,9179600	15,9184400	P
74	Sorgente Acqua d'Antra (Ischitella)	41,9104800	15,9001400	P
75	Sorgente San Francato (Ischitella)	41,8581925	15,8790433	P
76	Sorgente Asciatizza (Vico del Gargano)	41,8992300	15,9503200	T
77	Sorgente Fiumicello (Cagnano Varano)	41,8442306	15,7941958	T
78	Fontana del Carpino (Monte Sant'Angelo)	41,8225000	16,0013889	P
79	Fontana di San Michele (Cagnano Varano)	41,8226389	15,7843889	P
80	La Fontana "La Pescara" (Ischitella)	41,9071700	15,8874600	P
81	Le Fontanelle (Ischitella)	41,8904400	15,9058700	P
82	Fiume Zannella (Lesina)	41,8724600	15,4788500	P
83	Fiume Lauro (San Nicandro G.co)	41,8852778	15,5269444	P
84	Fiume Lungo (San Nicandro G.co)	41,9175000	15,5822222	P
85	Foce Fiume Fortore (Serracapriola)	41,9192944	15,2926278	P
86	Foce Fiume Candelaro (Manfredonia)	41,5826750	15,8933472	P

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia