



RELAZIONE FINALE

Titolo del progetto: *Topographic waves and coastal dynamics in the Adriatic Sea*

BENEFICIARIO Davide Bonaldo, Istituto di Scienze Marine CNR-ISMAR, Venezia

ENTE OSPITANTE Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbenistvo in geodezijo -
Università di Lubiana, Facoltà di Ingegneria Civile e Geodetica

INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca associato al presente finanziamento di mobilità di breve durata è stato svolto dal giorno 11 Gennaio al 1 Febbraio 2018 presso l'Università di Lubiana, in collaborazione con il Prof. Dušan Žagar (Professore Associato presso la Facoltà di Ingegneria Civile e Geodetica), nonché con il supporto del Dr. Matjaž Ličer (Ricercatore presso il *Nacionalni Institut za Biologijo – NIB*, Istituto Nazionale di Biologia di Pirano) e di Vesna Bertonec, tesista presso l'Università di Lubiana.

Il lavoro svolto nell'ambito di questo progetto di *Short Term Mobility* è consistito nell'analisi di dati osservativi e risultati modellistici per la caratterizzazione di una serie di pulsazioni osservate nei segnali di velocità e livello medio del mare misurati, in prima istanza, in una stazione correntometrica situata nel bacino nord Adriatico. Sebbene la prima ipotesi formulata nel tentativo di interpretare i segnali osservati, ossia l'occorrenza di onde topografiche, non abbia trovato conferma ad una analisi più approfondita, è stato possibile identificare alcuni tratti delle oscillazioni a bassa frequenza che interessano l'intero bacino Mediterraneo e le loro relazioni con i processi meteo-oceanografici a larga scala.

Lo studio prende le mosse dai dati raccolti da un correntometro (e ondometro) acustico AWAC posizionato al largo del litorale di Jesolo (VE) nell'ambito del Progetto Bandiera RITMARE per il biennio 2013-2014, corredato da un sistema di monitoraggio delle dinamiche della linea di riva nel contesto di un sistema osservativo integrato idromorfodinamico (Archetti et al., 2016).

L'evento considerato in prima battuta per lo studio affrontato nell'ambito del progetto fa riferimento al periodo Gennaio-Marzo 2014, caratterizzato in particolare da



Figura 1: Posizione del correntometro e del sistema di videocamere sulla spiaggia di Jesolo (Adattata da Archetti et al., 2016)

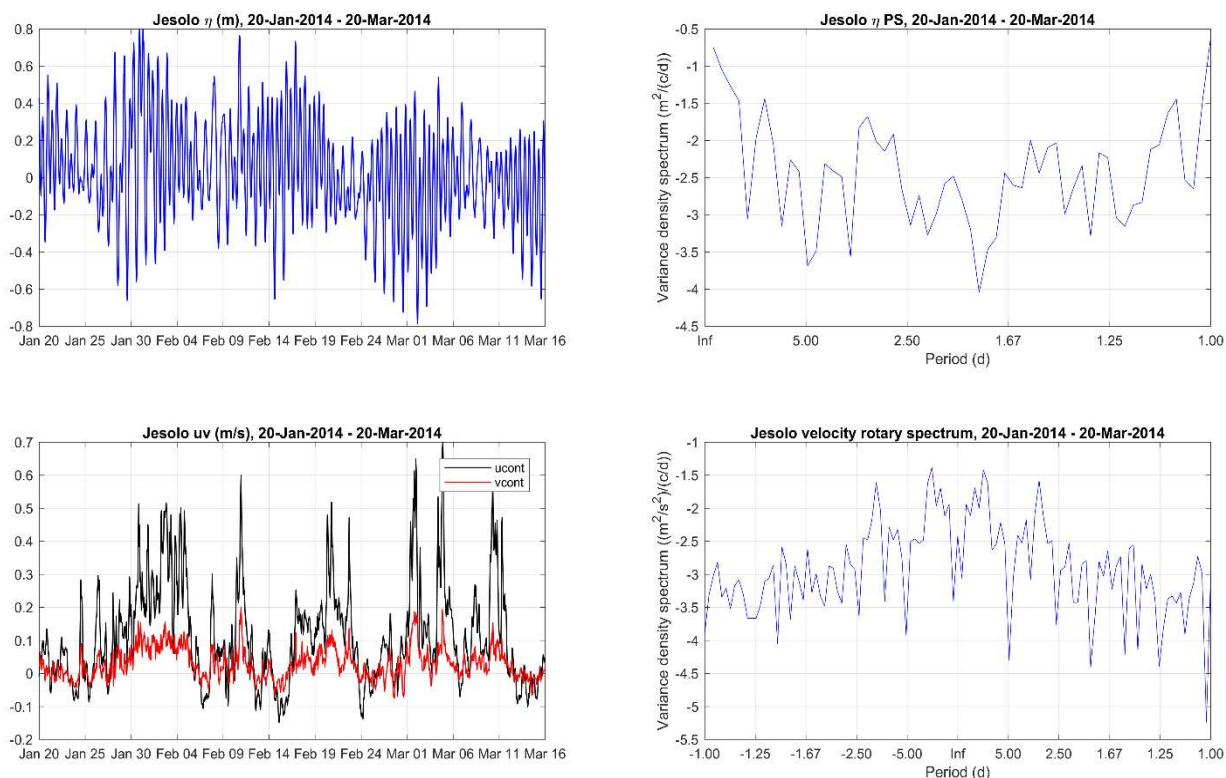


Figura 2: rappresentazione nel dominio del tempo (sinistra) e delle frequenze (destra) dei livelli della superficie marina (sopra) e delle componenti di velocità medie sulla verticale (sotto) osservate a Jesolo, con riferimento al periodo 20 Gennaio - 20 Marzo 2014

un'intensa e duratura mareggiata che ha coinvolto il nord Adriatico tra la fine di Gennaio e l'inizio di Febbraio 2014 (Falcieri et al., 2014), in cui si è riscontrata la presenza di picchi particolarmente pronunciati negli spettri delle velocità in corrispondenza di periodi di circa 3.5 giorni. Di seguito si presenta un rapido resoconto delle attività svolte e dei risultati preliminari.

DATI UTILIZZATI E ANALISI EFFETTUATE

Dati correntometrici nell'Area Test Jesolo

La stazione correntometrica dell'area test di Jesolo, attiva dal Marzo 2013 ad Ottobre 2014, era posizionata a circa 1 km dalla costa (coordinate 45°30'28"N; 12°41'33"E, Fig. 1) ad una profondità di circa 7 metri, con una frequenza di campionamento del livello del mare e dei profili verticali di corrente 3D pari a 10 minuti ed una risoluzione verticale pari a 50 cm. Per ulteriori dettagli sulla configurazione sperimentale si rimanda all'articolo di Archetti et al. (2016).

Dati mareografici dalla Rete Mareografica Nazionale e dal portale Emodnet

Ulteriori serie storiche di misure mareografiche lungo le coste italiane e mediterranee (soprattutto relative al Mediterraneo occidentale) sono state raccolte rispettivamente dalla banca dati della Rete Mareografica Nazionale (<http://www.mareografico.it/>), gestita da ISPRA, e dal portale Emodnet (sezione "Physics", <http://www.emodnet-physics.eu/>). I dati, che dipendentemente dalla stazione coprivano diversi periodi con

frequenze di acquisizione variabili, sono stati recuperati rispettivamente in formato ASCII e NetCDF, sottoposti a controllo di qualità, armonizzati e pre-processati prima di procedere all'analisi dei segnali da essi registrati.

Campi modellistici NEMO

Per l'analisi dei campi idrodinamici tridimensionali si è fatto affidamento ai risultati di una simulazione dedicata, effettuata dal NIB con la versione 3.6 del modello NEMO. I campi messi a disposizione coprono il Nord Adriatico nel periodo dal 1 Gennaio al 31 Marzo 2014, con risoluzione spaziale e temporale rispettivamente pari a $1/48^\circ$ e 1 ora.

I dati considerati sono stati sottoposti a vari tipi di processamento con script appositamente predisposti in linguaggio MATLAB. In particolare, gran parte dell'analisi è stata effettuata con metodi spettrali e di *rotary analysis* (Emery and Thompson, 1998) e mediante filtraggi passa-banda (nella banda di frequenze 0.25-0.5 c/d) secondo l'algoritmo di Parks-McClellan implementato in MATLAB.

RISULTATI PRELIMINARI E SVILUPPI FUTURI

L'analisi spettrale dei campi di trasporto orizzontale (ossia di velocità integrata lungo la colonna d'acqua), relativi al nord Adriatico per il periodo Gennaio-Febbraio 2014 e ottenuti dall'implementazione di NEMO mostra una scarsa coerenza delle ellissi associate alla frequenza delle pulsazioni in esame (Figura 3). D'altra parte gli spettri associati alle oscillazioni della superficie libera (Figura 4) e l'evoluzione temporale del segnale (opportunamente filtrato nella banda di frequenza tra 0.25 e 0.5 cicli/giorno, figura 5) lungo le coste del Nord Adriatico, suggeriscono che le pulsazioni osservate a Jesolo, quando occorrono, sembrano propagarsi attraverso il dominio ad una velocità

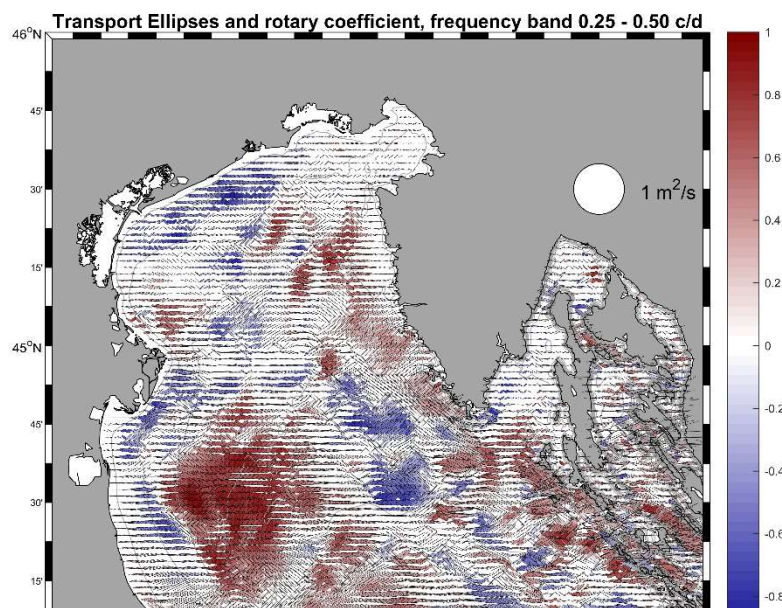


Figura 3: Ellissi di trasporto calcolate sui campi NEMO associate alla banda di frequenza 0.25-0.50 c/d, nel periodo 26 Gennaio - 19 Febbraio 2014

molto elevata, tale da non consentire l'identificazione di un evidente pattern di propagazione.

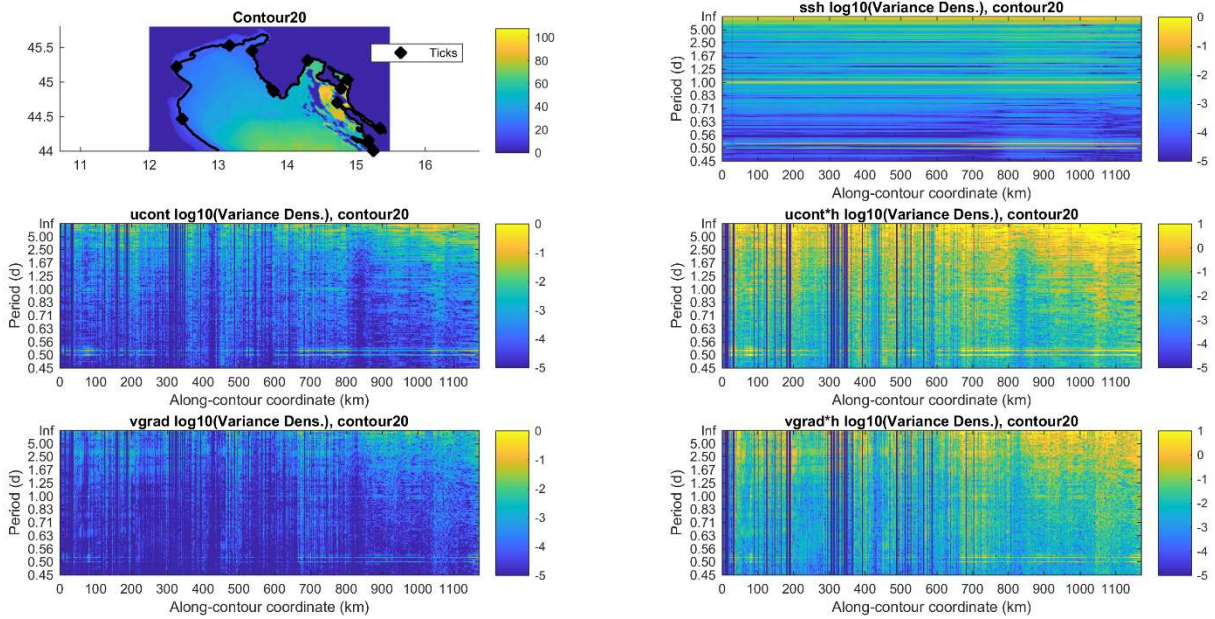


Figura 4: spettri di densità di varianza di diverse grandezze idrodinamiche rilevanti lungo l'isobata a 20 m di profondità. Il riquadro in alto a sinistra mostra la posizione dell'isobata in esame, con marcatori distanziati tra loro di 100 km a partire dall'estremità sud-orientale. Gli altri pannelli rappresentano rispettivamente gli spettri, in scala logaritmica, di elevazione della superficie libera, e delle componenti di velocità media e trasporto lungo l'isobata e verso il largo.

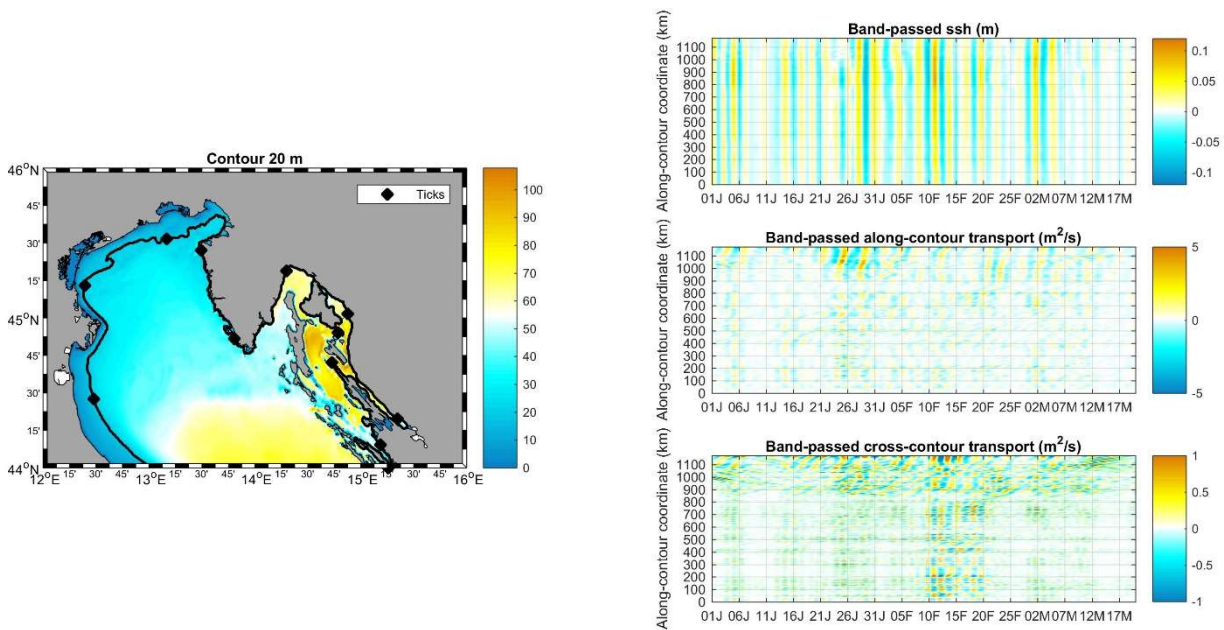


Figura 5: Diagrammi di Hovmoller dei segnali, filtrati nella banda 0.25-0.5 c/d, relativi ad elevazione della superficie libera e componenti di trasporto con riferimento all'isobata 20 m.

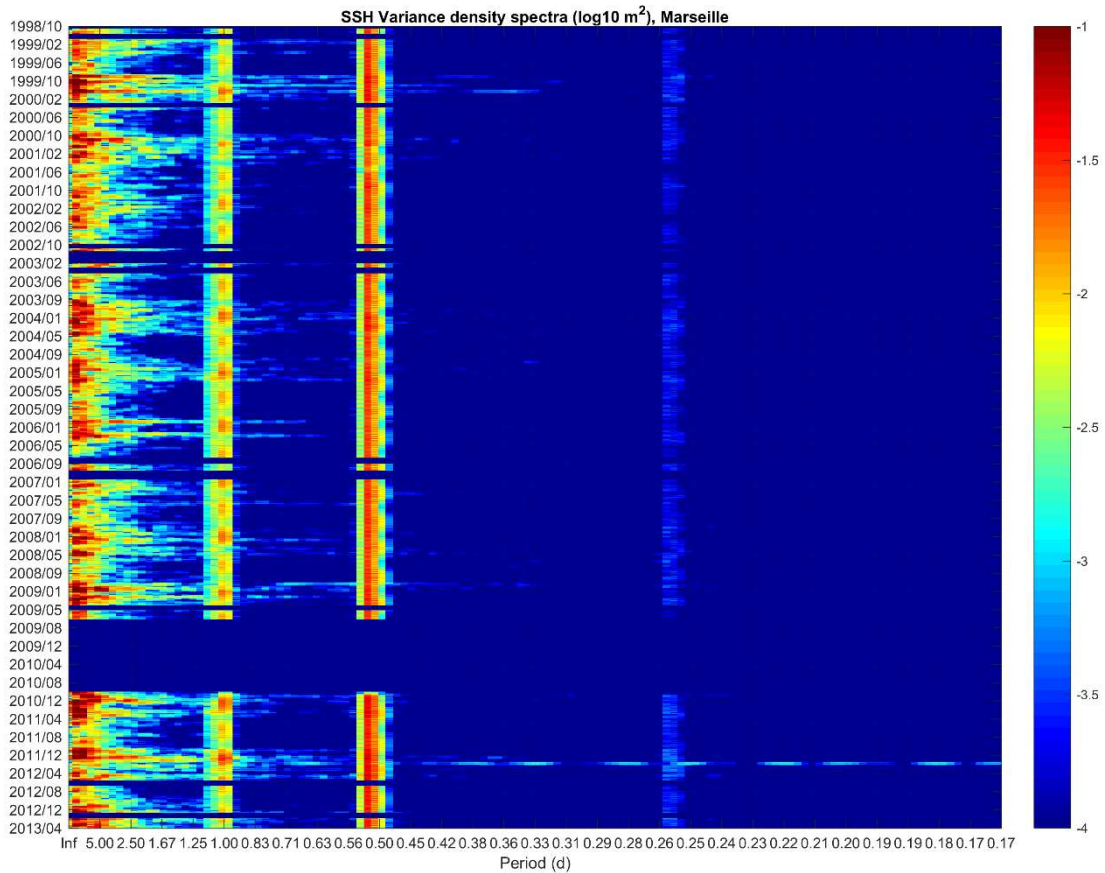


Figura 6: Spettri di densità di varianza (in scala logaritmica, m^2) del livello della superficie libera alla stazione mareografica di Marsiglia.

Un'analisi dei dati osservativi a scala mediterranea e riferita agli interi periodi coperti dalle serie temporali (dati della Rete Mareografica Nazionale e del portale Emodnet) mostrano che queste pulsazioni sono ricorrenti nella stagione invernale in tutte le stazioni considerate nel bacino Mediterraneo (ad esempio si riportano in Figura 6 gli spettri associati al mareografo di Marsiglia –dati Emodnet-, una delle serie temporali più lunghe tra quelle disponibili). Da una primissima valutazione qualitativa delle informazioni meteorologiche emerge che queste pulsazioni ammettono sicuramente un forte controllo atmosferico. Inoltre, considerando altri eventi ed altre stazioni rispetto a quelle relative all'inverno 2014 a Jesolo emerge che solo occasionalmente appare un marcato picco in corrispondenza di frequenze attorno ai 0.3 c/d, mentre spesso questa componente armonica è parte di un continuo che interessa le frequenze tra 0 e 0.5 c/d. Venuta meno l'interpretazione che spiega il fenomeno in termini di onde topografiche che si propagano lungo la costa, rimangono in campo due processi potenzialmente in grado di sviluppare (o contribuire ad eccitare) pulsazioni del tipo osservato in prima battuta a Jesolo, ossia pulsazioni legate a dinamiche atmosferiche e oscillazioni libere del bacino Mediterraneo. Per quanto riguarda la prima possibilità un solido riscontro è dato da Candela and Lozano (1994), mentre uno studio di Schwab and Rao (1983) fornisce alcuni impliciti indizi a favore della seconda ipotesi. In quel lavoro, infatti, si propone come modo fondamentale di oscillazione libera del Mediterraneo quello con periodo pari a metà di quella osservata a Jesolo: questo



risultato è però ottenuto nell'ipotesi semplificativa di bacino chiuso allo stretto di Gibilterra, e gli spettri riportati con riferimento a dati osservati a Trieste mostrano la presenza occasionale di picchi, non spiegati, ad una frequenza inferiore e verosimilmente prossima a quella osservata a Jesolo nel 2014.

Di conseguenza, mentre è evidente la presenza di un controllo atmosferico su questa componente del segnale (sebbene le corrispondenti dinamiche meteo-oceaniche a scala di bacino debbano ancora essere descritte nel dettaglio), non è ancora del tutto chiaro se accanto ad esso agisca anche l'effetto di una oscillazione libera, per quanto modesta. In effetti è possibile che, se tale oscillazione esistesse e fosse debole e caratterizzata da rapido decadimento, il suo effetto non si manifesterebbe in modo marcato sugli spettri di densità di varianza. Ai fini di un'identificazione di questo tipo di dinamica, una simulazione numerica dedicata per mezzo di un modello barotropico con geometria realistica e forzanti idealizzate sembra invece la soluzione più efficiente, ed infatti è quella attualmente allo studio. Altri sviluppi attualmente in corso consistono nell'analisi più dettagliata dei processi meteorologici alla base di queste oscillazioni, delle loro implicazioni in termini di rischio di alluvione nelle zone costiere e delle loro possibili modificazioni in uno scenario di cambiamento climatico.

Nell'ambito della collaborazione avviata con questo programma di Short Term Mobility si è inoltre proceduto alla stesura di un proposal per il programma di cooperazione bilaterale Italia-Slovenia, promosso dal Ministero degli Esteri, e si è collaborato alla supervisione di un lavoro di tesi di laurea presso l'università di Lubiana. I risultati preliminari di queste attività saranno inclusi in un poster che verrà presentato all'EGU General Assembly che si terrà a Vienna nel mese di Aprile 2018. Si prevede inoltre che gli sviluppi di questo lavoro porteranno, una volta pienamente maturi, alla pubblicazione su rivista internazionale.

Bibliografia

Archetti, R., Paci, A., Carniel, S., & Bonaldo, D. (2016). Optimal index related to the shoreline dynamics during a storm: the case of Jesolo beach. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 1107–1122. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1107-2016>

Candela, J., & Lozano, C. J. (1994). Barotropic Response of the Western Mediterranean to Observed Atmospheric Pressure Forcing. In *The Seasonal and Interannual Variability of the Western Mediterranean Sea* (Vol. 46, pp. 325–359).

Emery, W. J. and Thomson, R. E (1998). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography* (Elsevier, Oxford, 1998).

Falcieri, F. M., Kantha, L., Benetazzo, A., Bergamasco, A., Bonaldo, D., Barbariol, F., ... Carniel, S. (2016). Turbulence observations in the Gulf of Trieste under moderate wind forcing and different water column stratification. *Ocean Science*, 12(2), 433–449. <https://doi.org/10.5194/os-12-433-2016>



Schwab, D. J., and Rao, D. B. (1983). Barotropic oscillations of the Mediterranean and Adriatic Seas. *Tellus A*, 35 A(5), 417–427. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1983.tb00216.x>