

Caratteri oceanografici dell'Adriatico centro-settentrionale e della costa Marchigiana

Carlo Bisci^{1,2,3}, Gino Cantalamessa^{1,2,3}, Rocco De Marco^{4,5}, Federico Spagnoli^{1,2,4,5}, Mario Tramontana^{3,6}

¹ Università degli Studi di Camerino – Scuola di Scienze e Tecnologie
Sezione di Geologia, via Gentile III da Varano, 7 62032 Camerino

² GNRAC – Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Marino, corso Europa, 26 16132 Genova

³ CoNISMa, Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare, piazzale Flaminio, 9 00196 Roma

⁴ CNR - IRBIM, largo Fiera della Pesca 60125 Ancona

⁵ CNR - ISMAR, largo Fiera della Pesca 60125 Ancona

⁶ Università degli Studi di Urbino Carlo Bo - Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DiSPeA)
Sezione di Geologia, via Cà' Le Suore, 2/4 61029 Urbino

Riassunto

Il Mare Adriatico è caratterizzato da una prevalente circolazione anticiclonica pronunciata in inverno e primavera mentre in estate ed autunno prevalgono una serie di gire sia anticicloniche che cicloniche. La Corrente orientale diretta verso nord prende il nome di *East Adriatic Current* (EAC). La corrente occidentale, diretta verso sud, prende il nome di *Western Adriatic Current* (WAC). In estate l'idrodinamica rallenta creando una generale stratificazione della colonna d'acqua. In Adriatico sono presenti anche acque dense che si formano in inverno ad opera della Bora e che, in primavera, fluiscono verso sud.

Le oscillazioni del livello del mare in Adriatico sono influenzate sia dalle maree che da fattori meteorologici: la massima altezza di marea si verifica, infatti, in condizioni di bassa pressione e con venti da Levante-Scirocco che accumulano le acque sotto costa per oltre un metro di altezza, con valori crescenti da sud verso nord. Lungo il litorale marchigiano il "mare regnante" è il mare proveniente da Scirocco (SSE) mentre il "mare dominante" è quello da Bora (NE) o Grecale (ENE).

Parole chiave: Oceanografia, Mare Adriatico centrale, Regione Marche

Abstract

The Adriatic Sea is characterized by a prevalent anticyclonic circulation, more evident in winter and spring, while in summer and autumn, a series of anticyclonic and cyclonic gyres prevail. The heading north eastern current is called East Adriatic Current (EAC). The heading south western current is called Western Adriatic Current (WAC). In summer the Adriatic Sea hydrodynamic slows down creating a general stratification of the water column. In the Adriatic Sea also dense waters are present; in winter they are formed by the Bora and, in spring, they flow southward.

The sea level oscillations in the Adriatic Sea are influenced by both tides and meteorological factors: the maximum tide height occurs, in fact, in low pressure conditions and with winds from Levante-Sirocco that accumulate near the coast the waters for over a meter of height, with increasing values from South to North. Along the Marche coast the "reigning sea" is the sea coming from Sirocco (SSE) while the "dominant sea" is that from Bora (NE) or Gregale (ENE).

Key words: Oceanography, Central Adriatic Sea, Marche Region.

1. Introduzione

I caratteri oceanografici del Mare Adriatico negli ultimi anni hanno visto un notevole incremento delle conoscenze, grazie agli studi condotti da gruppi di ricerca sia italiani sia stranieri. Tali studi hanno evidenziato la complessità dell'idrodinamica dell'Adriatico, che risente di forzanti sia atmosferiche e meteomarine, sia legate agli apporti idrici continentali.

La circolazione risente inoltre in maniera importante dei processi di scambio, tra il Mediterraneo e l'Adriatico, delle diverse masse d'acqua che transitano attraverso il Canale d'Otranto, e che risentono fortemente della morfologia del bacino oltre a presentare elevate differenze stagionali. Tale circolazione condiziona gli attuali processi deposizionali e biologici, nonché erosivi, che controllano le caratteristiche e la distribuzione dei sedimenti.

Tutti questi caratteri fanno sì che il Mare Adriatico abbia una fisionomia del tutto differente da quella del Mare Mediterraneo, anche se profondamente collegata con esso.

2. Area di studio

Il Mare Adriatico è un'articolazione abbastanza stretta (circa 70 miglia nautiche fra la costa italiana e quella dalmata) e allungata (circa 350 miglia nautiche) orientata NNW-SSE (Fig. 1) del Mar Mediterraneo orientale, compresa tra la penisola italiana e l'area balcanica, in comunicazione a sud con il Mar Ionio solo attraverso il Canale d'Otranto, dove si riscontra la minima larghezza.

La morfologia del fondo è caratterizzata da una parte settentrionale poco profonda cui segue, muovendosi da nord verso sud, un significativo aumento della batimetria nella Fossa Adriatica Centrale (*Mid Adriatic Pit*; Fig. 1) e per raggiungere un massimo in corrispondenza della Fossa Adriatica Meridionale (*South Adriatic Pit*; Fig. 1).

Nonostante si tratti di un mare chiuso e poco profondo, esso presenta una circolazione delle masse d'acqua abbastanza complessa.

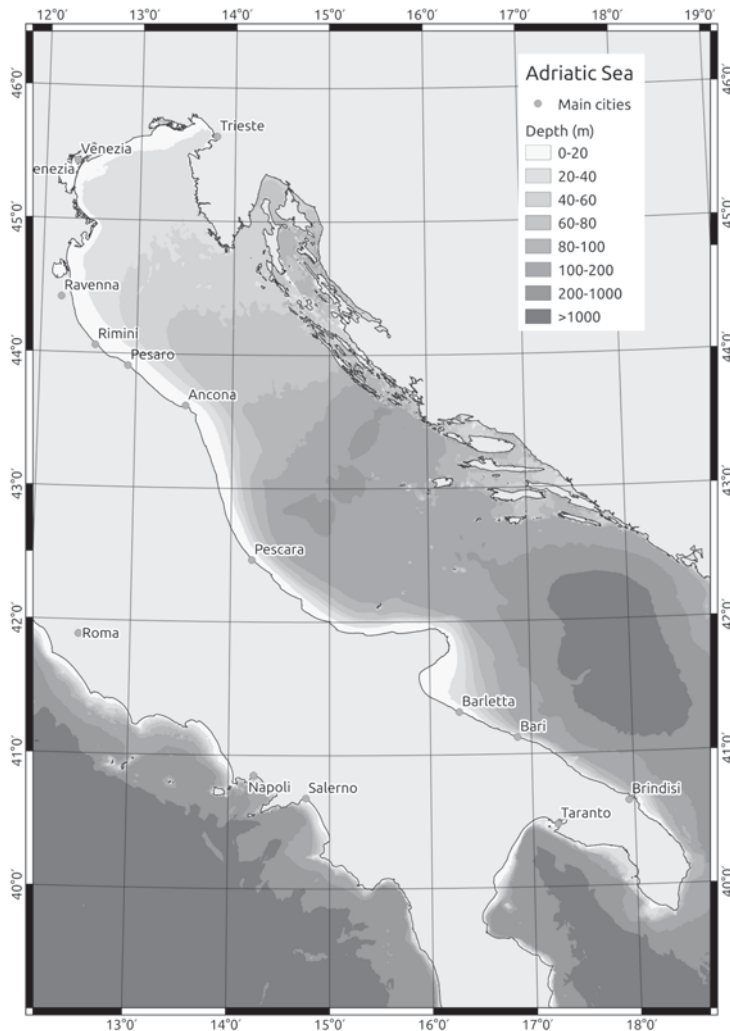


Figura 1. Carta batimetrica del Mare Adriatico.

Il tratto di mare preso in esame corrisponde alla sua porzione centro-settentrionale prospiciente la fascia costiera della Regione Marche, lungo la quale l'approfondimento dei fondali è piuttosto progressivo e abbastanza regolare, andando da un minimo di circa 40 m al suo estremo settentrionale fino a oltre 100 m in corrispondenza della *Mid Adriatic Pit*. Questa caratteristica deriva dalla presenza, lungo i fondali, del potente corpo sedimentario deposto precedentemente all'ultima fase post-glaciale dal delta del paleo-Po, la cui massima estensione ha raggiunto le aree attualmente ubicate di fronte alle coste abruzzesi (Van Straaten, 1970; Colantoni *et al.*, 1990; Ferretti *et al.*, 1984; Bisci *et al.*, 2020).

3. Caratteri oceanografici

L'idrodinamica del Mar Adriatico è caratterizzata da una prevalente circolazione anticiclonica (Fig. 2). Tale circolazione è più pronunciata in inverno e primavera mentre in estate ed autunno essa rallenta cosicché, in queste stagioni, prevalgono una serie di gire sia anticicloniche che cicloniche (Artegiani *et al.*, 1997).

La circolazione anticiclonica prevalentemente invernale è composta da una corrente entrante nel settore orientale del Canale di Otranto, che risale verso nord lungo la costa dalmata, e da una corrente diretta verso sud lungo la costa italiana, che esce dall'Adriatico nel settore occidentale del Canale di Otranto.

La Corrente orientale diretta verso nord prende il nome di *East Adriatic Current* (EAC). Essa è caratterizzata da acque più calde e saline provenienti dal Bacino Levantino (*Levantine intermediate water*, LIW) e dal Mar Ionio (*Ionian surface water*, ISW).

La corrente occidentale, diretta verso sud, prende il nome di *Western Adriatic Current* (WAC) e trasporta acque meno saline e più fredde (Artegiani *et al.*, 1997; Poulain, 2001; Civitarese *et al.*, 2010; Korlevic *et al.* 2015).

In estate, la circolazione anticiclonica rallenta e le tempeste diminuiscono sia di intensità, sia di frequenza. Ciò porta a una generale e accentuata stratificazione della colonna d'acqua e alla prevalenza di una serie di gire in senso orario ed antiorario, generalmente divise nei bacini settentrionale centrale e meridionale (Artegiani *et al.*, 1997).

In questo contesto, la circolazione generale dell'Adriatico è complicata dalla formazione e circolazione delle acque dense (*North Adriatic Dense Water*: NAdDW) (Artegiani *et al.*, 1997; Vilibić e Supić, 2005; Dorman *et al.*, 2007; Signell *et al.*, 2010; Mihanović *et al.*, 2013; Chiggiato *et al.*, 2016). Queste si formano in inverno ad opera del vento freddo e secco proveniente da nord-est, la Bora, che provoca evaporazione e raffreddamento delle acque superficiali del Nord-Adriatico e quindi un incremento della loro densità che le porta a raccogliersi nei pressi del fondale dell'Adriatico Centro-Settentrionale. Successivamente, in primavera,

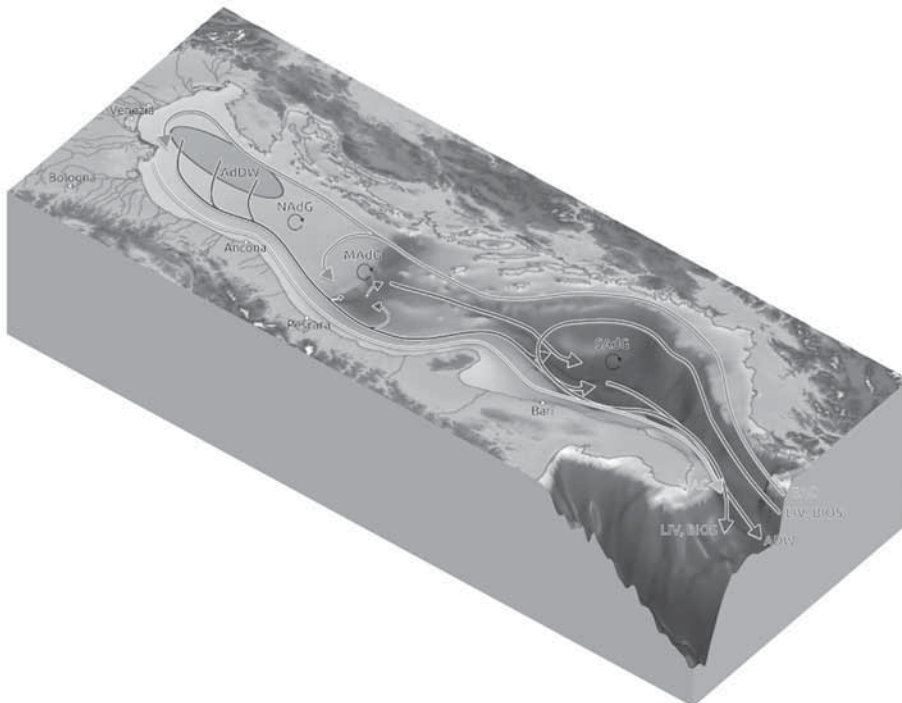


Figura 2. Andamento delle correnti nel Mare Adriatico (da Spagnoli *et al.*, 2021).

tipicamente in febbraio e marzo, la NAdDW fluisce verso sud nel settore italiano dell'Adriatico centrale, con variabilità interannuale, sia come volume che come proprietà termoline, in risposta alle variabili condizioni invernali, per poi disperdersi nelle fosse Meso-Adriatica (MAD) e Sud Adriatica (SAD) con una serie di eventi a cascata (Rovere *et al.*, 2019).

A loro volta le acque dense della MAD tendono a rinnovarsi con cadenza biennale o maggiore (Spagnoli *et al.*, 2014). In questo contesto lungo il litorale marchigiano, a una distanza dalla costa inferiore alle 2 miglia, si instaura una prevalente corrente prossimale che si muove in senso opposto, ovvero da sud-est verso nord-ovest. Tale corrente prevalente è generata dal moto ondoso regnante, che, per il litorale marchigiano, è quello da Scirocco; essa regola quindi il trasporto sedimentario longitudinale lungo costa, che procede da sud verso nord (Acciarri, 2016; Acciarri *et al.*, 2016).

Nel Mare Adriatico, le oscillazioni di marea non sono autonome ma risultano indotte dalle oscillazioni di marea ioniche. Le maree semidiurne presentano un nodo anfidromico posto circa 20 miglia nautiche a NE di Ancona, con linee cotidali che ruotano in senso antiorario (Fig. 3). Le oscillazioni del livello del mare sono influenzate sia dalle maree che da fattori meteorologici: la massima altezza di marea si verifica, infatti, in condizioni di bassa pressione e con venti da Levante-Scirocco che accumulano sotto costa le acque per oltre un metro di altezza, con valori crescenti risalendo da sud verso nord. Lungo la costa marchigiana, le oscillazioni del livello marino variano tra i due estremi settentrionale e meridionale: nel porto di San Benedetto del Tronto le maree presentano un'ampiezza media di 19 cm alle sizigie e pressoché nulla alle quadrature, mentre nel porto di Ancona le ampiezze massime delle maree astronomiche oscillano intorno ai 58 cm, con un'ampiezza media alle sizigie di 47 cm e alle quadrature di 14 cm; nel porto di Pesaro, infine, l'ampiezza media della marea si aggira intorno ai 50 cm (Acciarri, 2016).



Figura 3. Linee cotidali e nodo anfidromico delle maree nel Mare Adriatico (arpae.it).

3. Clima d'onda

Il clima d'onda del tratto di costa tra Pesaro e il fiume Tronto può essere analizzato utilizzando le registrazioni delle boe ondametriche poste a largo di Ancona (ora non più attiva) e di Ortona e, per trasposizione, per mezzo di modelli numerici dei dati raccolti (Acciarri, 2016; De Boni *et al.*, 2001).

I dati raccolti dalla boa di Ancona evidenziano come il maggior numero delle mareggiate provenga da una direzione compresa fra i 120° e i 150° N (E-SE) e che l'altezza significativa media dell'onda è compresa fra 0.5 e 1.5 m. Considerando poi gli stessi valori suddivisi per le varie stagioni, emerge che nel periodo estivo e primaverile la direzione prevalente di provenienza è di 120°-150° N, mentre in autunno prevalgono mareggiate da 90°-120° N e infine in inverno da 30°-60° N, si assiste quindi ad una rotazione verso nord della provenienza delle mareggiate nel periodo invernale.

Per la boa di Ortona si possono individuare due settori principali di provenienza del moto ondoso, compresi tra 320°-50° N (Maestrale-Grecale) e 50°-130° N (Levante-Scirocco), che hanno analoghe probabilità di accadimento per gli eventi con Hs maggiore di 2 m; gli eventi con Hs maggiore di 4 m, benché poco frequenti (0.05%), provengono tutti dal 1° quadrante. Anche gli eventi eccezionali con Hs superiore ai 5 m, molto rari (0.02%), provengono tutti dai settori settentrionali (Acciarri, 2016; Acciarri *et al.*, 2016, 2017; Bisci *et al.*, 2020).

In ragione della disposizione geografica, le mareggiate del III e IV quadrante non influenzano la dinamica del litorale marchigiano; pertanto ai fini dell'analisi e dell'assetto della costa marchigiana dovrebbero nettamente prevalere gli eventi che provengono dal I e II quadrante.

Riassumendo, si può affermare che le direzioni di provenienza più frequenti dei moti ondosi prevalenti sul litorale marchigiano sono due: da NNE (15-45 °N) e da ESE (120-150 °N), con brevi ma intensi eventi provenienti da Levante. In particolare, possiamo fare una distinzione fra “mare regnante”, ovvero il moto ondoso che investe il litorale per il maggior numero di giorni durante l'arco di un anno, e “mare dominante”, che investe il litorale con maggior intensità.

Lungo il litorale marchigiano il “mare regnante” è quello di Scirocco (SSE) mentre il “mare dominante” è quello da Bora (NE) o Grecale (ENE) (Acciarri, 2016; Acciarri *et al.*, 2016, 2017; Bisci *et al.*, 2021).

Sulla base di tali considerazioni il litorale in oggetto è caratterizzato, salvo casi localizzati, da una generale deriva litoranea lungo costa diretta verso nord, sospinta dalle correnti da Scirocco (Acciarri, 2016; Acciarri *et al.*, 2016, 2017; Bisci *et al.*, 2020).

Bibliografia

- Acciarri A. (2016) - *Net sediment transport paths based on grain-size trend analysis: the Sentina Beach case study (Italy, Central Adriatic Coast)*. Ph.D. Thesis. Università degli Studi di Camerino, School of Sciences and Technology, Geology Division. Camerino, Italy, 197 pp.
- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G. (2016) - *Anthropogenic influence on recent evolution of shorelines between the Conero Mt. and the Tronto R. mouth (southern Marche, Central Italy)*. Catena, 147, 545-555
- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G., Spagnoli F. (2017) - *Gli effetti antropici nell'evoluzione storica della costa "Picena"*. Studi Costieri, 24, 3-10. ISSN: 1129-8588
- Annibaldi A., Prezioso E., Droghini E., Tramontana M., Frapiccini E., De Marco R., Illuminati S., Truzzi C., Spagnoli F. (2019) - *Mercury Content in Central and Southern Adriatic Sea Sediments in Relation to Seafloor Geochemistry and Sedimentology*. Molecules, 24(24), 4467.
- Artegiani A., Paschini E., Russo A., Bregant D., Raicich F., Pinardi N. (1997b) - *The Adriatic Sea general circulation. Part II: baroclinic circulation structure*. Journal of physical Oceanography, 27(8), 1515-1532.
- Bisci C., Cantalamessa G., Spagnoli F., Tramontana M. (2021) - *Evoluzione storica e attuale del litorale delle Marche*. Studi Costieri, questo volume.
- Chiggiato J., Bergamasco A., Borghini M., Falcieri F.M., Falco P., Langone L., Misericocchi S., Russo A., Schroeder K. (2016) - *Dense-water bottom currents in the Southern Adriatic Sea in spring 2012*. Mar. Geol. 375, 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.09.005>
- Civitarese G., Gačić M., Lipizer M., Eusebi Borzelli G.L. (2010) - *On the impact of the Bimodal Oscillating System (BiOS) on the biogeochemistry and biology of the Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean)*. Biogeosciences, 7(12), 3987-3997.
- Colantoni P., Tramontana M., Tedeschi R. (1990) - *Contributo alla conoscenza dell'Avampese Apulo: struttura del Golfo di Manfredonia (Adriatico Meridionale)*. Giorn. Geol., 52, 19-32.
- Dorman C.E., Carniel S., Cavaleri L., Sclavo M., Chiggiato J., Doyle J., Janeković I. (2006) - *February 2003 marine atmospheric conditions and the bora over the northern Adriatic*. Journal of geophysical research: oceans, 111(C3).
- Ferretti M., Moretti E., Savelli D., Stefanon A., Tramontana M., Wezel F.C. (1986) - *Late Quaternary alluvial sequences in the north-western Adriatic Sea from Uniboom profiles*. Boll. di Oceanografia Teorica e Applicata, 4, 63-72.
- ISPRA Rete Ondametrica Nazionale – www.telemisura.it
- Korlević M., Zucko J., Dragić M.N., Blažina M., Pustijan, E., Zeljko T.V., Long P. F. (2015) - *Bacterial diversity of polluted surface sediments in the northern Adriatic Sea*. Systematic and applied microbiology, 38(3), 189-197.

- Mihanović H., Vilibić I., Carniel S., Tudor M., Russo A., Bergamasco A., Bubić N., Ljubešić Z., Viličić D., Boldrin A., Malačić V., Celio M., Comici C., Raicich F. (2013) - *Exceptional dense water formation on the Adriatic shelf in the winter of 2012*. Ocean Sci. 9, 561–572. <https://doi.org/10.5194/os-9-561-2013>
- Poulain P.M. (2001) - *Adriatic Sea surface circulation as derived from drifter data between 1990 and 1999*. Journal of Marine Systems, 29(1-4), 3-32.
- Signell R.P., Chiggiato J., Horstmann J., Doyle J.D., Pullen J., Askari F. (2010) - *High-resolution mapping of Bora winds in the northern Adriatic Sea using synthetic aperture radar*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 115(C4).
- Spagnoli F., Dinelli E., Giordano P., Marcaccio M., Zaffagnini F., Frascari F. (2014) - *Sedimentological, biogeochemical and mineralogical facies of Northern and Central Western Adriatic Sea*. J. Mar. Syst., 139, 183–203, doi:10.1016/j.jmarsys.2014.05.021.
- Spagnoli F., De Marco R., Dinelli E., Frapiccini E., Frontalini F., Giordani P. (2021) - *Sources of metal pollution of sediments from coastal area of the Central-Western Adriatic Sea (Southern Marche Region, Italy)*. Appl. Science, 11(3), 11-18.
- Van Straaten L. M. J. U. (1970) - *Holocene and late-Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea*. Geologische Rundschau, 60(1), 106-131.
- Vilibić I., Supić N. (2005) - *Dense water generation on a shelf: the case of the Adriatic Sea*. Ocean Dynamics, 55(5-6), 403-415.

Ricevuto il 25/04/2020; accettato 18/11/2020