

MISURAZIONI CORRENTOMETRICHE DI CAMPO AL LARGO DELLA CITTA' DI TARANTO

M. Ben Meftah¹, M. Mossa², A.F. Petrillo¹ & A. Pollio¹

- (1) Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica, Politecnico di Bari, Via E. Orabona 4, 70125 Bari, Italia, mbenme@poliba.it, petrillo@poliba.it, a.pollio@poliba.it
- (2) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente e per lo Sviluppo Sostenibile, Politecnico di Bari, Via E. Orabona 4, 70125 Bari, Italia, m.mossa@poliba.it

SOMMARIO

In questo lavoro sono presentati i risultati di campo di misure di velocità di corrente mediante un profilatore acustico Doppler utilizzato a bordo di una imbarcazione (Vessel Mounted Acoustic Doppler Current Profiler, VM-ADCP). La localizzazione delle misure è la zona settentrionale del Golfo di Taranto. Le misure sono state effettuate in quattro differenti giornate. La zona è di particolare interesse per la presenza di scarichi industriali e civili. Lo scopo della ricerca, che fa parte di un progetto più ampio di indagine delle aree costiere pugliesi, è l'analisi della dinamica dominante nella zona investigata, alla base della avvezione e dispersione delle sostanze ed acque di scarico dei poli industriali e degli impianti di depurazione delle acque reflue per uso civile situati lungo la costa.

I periodi di misura sono caratterizzati dalla presenza di venti generalmente abbastanza deboli, mentre il fenomeno della marea incide grandemente sulla dinamica generale delle correnti.

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro riporta ed analizza le misurazioni correntometriche effettuate al largo della città di Taranto (Puglia, Italia) durante quattro campagne di misura effettuate nei giorni 22 ottobre 2006, 16 novembre 2006, 29 dicembre 2006 e 11 giugno 2007.

Le zone interessate dai rilevamenti sono riportate nella Figura 1.

La zona del Golfo di Taranto, in particolare nelle vicinanze della città da cui il Golfo prende il suo nome, risulta interessante da studiare a causa della presenza di impianti siderurgici, petrolchimici e cementiferi e di un porto industriale e commerciale, che determinano lo sversamento nelle acque marine di sostanze (tra cui, soprattutto, acque di raffreddamento a temperatura superiore a quella del corpo idrico recettore) che possono risultare rovinose nei confronti dell'ecosistema locale (Wood et al., 1993; Mossa, 2006) e a cui si aggiunge la presenza degli scarichi dagli impianti di depurazione di reflui civili Gennarini e Bellavista. Dette sostanze, a causa dei moti della corrente marina, generati essenzialmente dalle maree, dai venti e dal moto ondoso vicino riva, e dei fenomeni locali di turbolenza (su cui influisce grandemente la

complessità della batimetria dei fondali), possono chiaramente migrare verso le zone circostanti, recandovi danno.

Si è quindi provveduto ad eseguire quattro campagne di rilevazione della velocità delle correnti in condizioni di fondale profondo al massimo poco più di 50 m. In ogni caso, le misurazioni correntometriche hanno fornito dati utili fino a circa 30 m sotto il livello marino.

Come si è evince anche dalla batimetria nelle vicinanze della costa, la zona è soggetta sicuramente ad un campo di moto estremamente complesso, soprattutto nelle immediate vicinanze dell'Isola di San Pietro, la maggiore delle Isole Cheradi (Figura 1), dove si può intuire la presenza di percorsi preferenziali del flusso. La conformazione arcuata della linea di costa, inoltre, determina l'insorgere di strutture vorticosi.

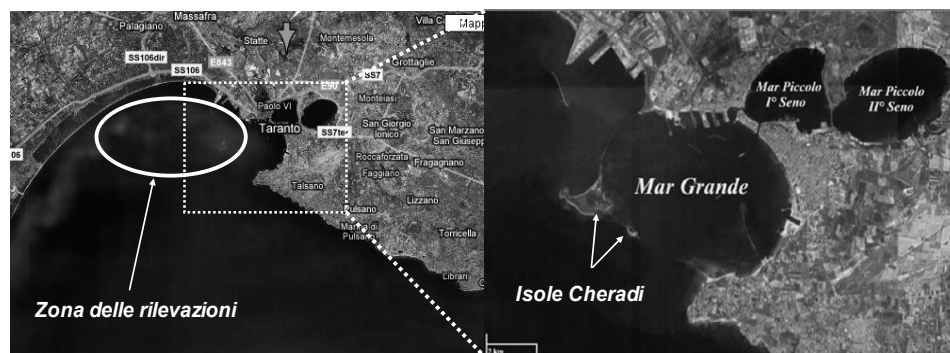


Figura 1. Vista satellitare della parte settentrionale del Golfo di Taranto (fonte: Google Maps).

Simulazioni numeriche effettuate con i modelli MIKE21 e MIKE3, prodotti dal Danish Hydraulics Institute, le cui descrizioni approfondite non vengono qui riportate per ragioni di brevità (De Serio et al., 2007; Ben Meftah et al., 2007 a e 2007 b), hanno evidenziato l'importanza degli effetti del vento e, soprattutto, delle maree sul campo di moto della zona. Sebbene le misurazioni di campo siano state effettuate nella zona evidenziata in Figura 1, in alcuni casi le simulazioni hanno preso in considerazione un'area molto più estesa, ossia l'intero Golfo di Taranto, insieme con il Mar Grande e il Mar Piccolo.

La Figura 2 riporta la localizzazione delle stazioni di misura nelle date in cui sono state condotte le rispettive misurazioni. Come si può osservare, durante le campagne di ottobre e novembre (Figura 2 (a) e Figura 2 (b)), i punti acquisiti sono stati in numero maggiore e soprattutto in vicinanza dell'Isola di San Pietro.

2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le campagne condotte fanno parte di un progetto più ampio denominato IMCA (*Integrated Monitoring of Coastal Areas*), finanziato da enti pubblici e privati, che si occupa, tra l'altro, dell'analisi del moto ondoso, delle variazioni della linea di riva e del monitoraggio di acque costiere, integrando misurazioni effettuate mediante l'uso di correntometri, boe ondometriche e satelliti e confrontando i dati acquisiti con i risultati di opportuni modelli numerici.

Per le misurazioni del presente lavoro è stato utilizzato un correntometro AWAC

prodotto dalla Nortek, il quale è costituito da tre trasduttori che generano un segnale acustico alla frequenza di 600kHz; essi sono inclinati rispetto all'asse dello strumento di un angolo di 25° e disposti a 120° l'uno dall'altro. Ad essi si accompagna, inoltre, un trasduttore centrale, il cui asse coincide con quello dello strumento e che, opzionalmente, è utilizzabile per la raccolta dei dati di moto ondoso.

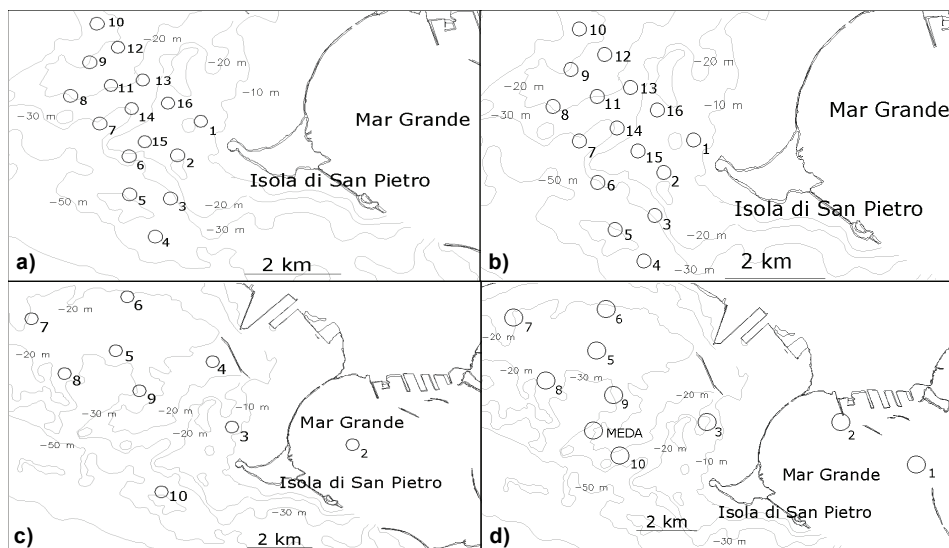


Figura 2. Posizionamento delle stazioni di misura nelle quattro uscite: a) 22/10/2006, b) 16/11/2006, c) 29/12/2006, d) 11/06/2007.

Lo strumento è caratterizzato da un'accuratezza nella misura delle velocità dell'acqua dell'1% del valore misurato ± 0.5 cm/s, mentre il range di velocità misurabili è di ± 10 m/s in direzione orizzontale e ± 5 m/s in direzione verticale.

Il correntometro AWAC era connesso ad un sistema DGPS e ad una girobussola, che, attraverso un apposito computer di processo, permettevano la valutazione della velocità dell'imbarcazione, la quale veniva sottratta a quella misurata, al fine di ottenere la velocità delle correnti. In funzione delle condizioni di misura, la suddetta tecnica di rilievo della velocità delle correnti poteva essere sostituita da quella cosiddetta del *bottom tracking*.

Le misure alle varie profondità sono ottenute valutando lo spostamento Doppler tra il segnale emesso in un certo istante e quello ricevuto a vari istanti temporali. Le distanze dei punti di misura vengono valutate sulla base della velocità del suono nel mezzo trasmissivo. In realtà le misurazioni di velocità sono mediate su celle di una certa altezza. Nel caso in esame le celle avevano dimensioni variabili tra 1 e 2 metri, a seconda delle giornate, e l'acquisizione delle velocità avveniva con frequenza di 0.5 Hz, per una durata variabile dai 3 ai 10 minuti circa. Questo intervallo temporale era sufficiente a garantire una buona valutazione dei valori medi del campo di moto. Infatti, dopo detto tempo di acquisizione, la media temporale e la deviazione standard delle velocità acquisite raggiungevano valori pressoché costanti. Le misurazioni effettuate sono state accurate fino ad una profondità di circa 30 m a causa del basso scattering del segnale Doppler, causato dalla particolare limpidezza dell'acqua nei giorni di misura

(comunicazione interna della Nortek). In effetti, al di sotto di questa profondità, il segnale era estremamente disturbato. Per ogni stazione sono stati analizzati i profili verticali di velocità in direzione nord ed est, con i quali sono stati ricostruiti i campi di moto su piani orizzontali a partire da una profondità di 4 m.

Nelle uscite di dicembre 2006 e giugno 2007 si sono effettuate anche misurazioni di alcuni parametri bio-chimico-fisici, come ad esempio la conduttività, la salinità, il pH, la pressione, la temperatura ed il contenuto in ossigeno. I suddetti dati sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di un CTD (*Conductivity and Temperature Detector*) munito di sensori ausiliari per il rilevamento dei vari parametri (Ben Meftah et al., 2007 a).

3 LE MISURAZIONI

Nella giornata dell'11/06/2007 le misurazioni col correntometro AWAC, installato sull'imbarcazione e descritto nel precedente paragrafo, sono state confrontate con i dati ottenuti da un correntometro fisso, modello ADCP Workhorse Monitor 600 KHz, prodotto dalla RD Instruments, installato a 45 cm dal fondo, nella Stazione Meda (Figura 2 (d)). Tale correntometro, caratterizzato da altezza delle celle di misura di 0.75m, registrava le velocità delle correnti ogni ora, eseguendo, in ciascuna ora, un campionamento con una media di 60 burst acustici ogni 10 secondi, per un totale di 10 minuti.

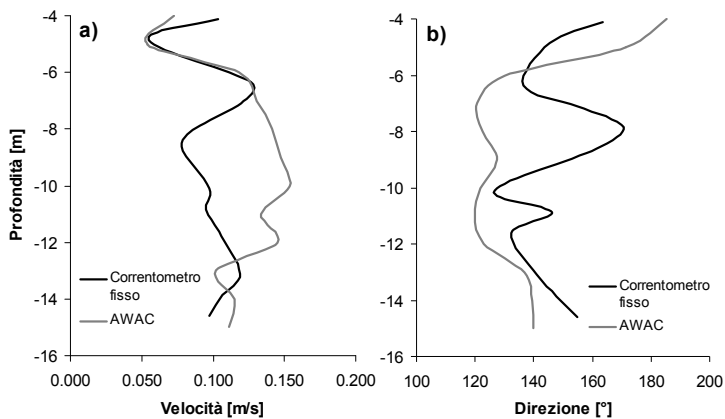


Figura 3. Confronto tra il modulo della velocità della corrente (a) e la direzione della stessa (b) misurati dal correntometro fisso della stazione Meda e dal correntometro AWAC l'11/06/2007.

La Figura 3 mostra i moduli e le direzioni delle velocità della corrente misurate dal correntometro fisso e dall'AWAC, alle varie profondità, al fine di effettuare un confronto. Le differenze sono spiegabili nella non esatta coincidenza della posizione dei due correntometri e nel trattamento dei dati del correntometro fisso, che lavorava su tempi di acquisizione leggermente diversi da quelli del correntometro installato sulla barca. A ciò va anche aggiunta la problematica della mobilità della barca, sottoposta al moto ondoso e alle correnti superficiali durante l'acquisizione. Infatti, in ogni punto di misura si provvedeva a spegnere il motore dell'imbarcazione, al fine di evitare eventuali disturbi alla misura del correntometro, con la inevitabile conseguenza che la valutazione della velocità non avveniva esattamente nel medesimo punto, durante la fase di

acquisizione dei dati, ma in uno spazio che, pur essendo sempre stato ragionevolmente piccolo, non era certamente lo stesso di quello in cui avveniva la misura del correntometro fisso. In particolare, analizzando la Figura 3, si osserva che le variazioni massima e minima dei moduli delle velocità misurati dai due correntometri sono state del 47% e dell'1.3%, rispettivamente, mentre le variazioni massime e minime delle direzioni di velocità sono state del 39% e del 2%, rispettivamente. Tenuto conto delle osservazioni riportate in precedenza, si ritiene che i rilievi dei due correntometri siano comparabili e che entrambe le misure siano da considerarsi affidabili, nell'ambito delle rispettive accuratèzze e precisioni dei due strumenti.

In Figura 4 viene riportato l'andamento del livello marino misurato dalle stazioni mareografiche delle città di Taranto e di Crotonè in un arco temporale a cavallo dei giorni in cui sono stati acquisiti i dati correntometrici. Sempre nella stessa figura, nel riquadro puntato, è riportata la finestra temporale delle misurazioni, utilizzata per evidenziare la marea nella zona di studio. Si può così evidenziare la presenza di componenti semidiurne di marea.

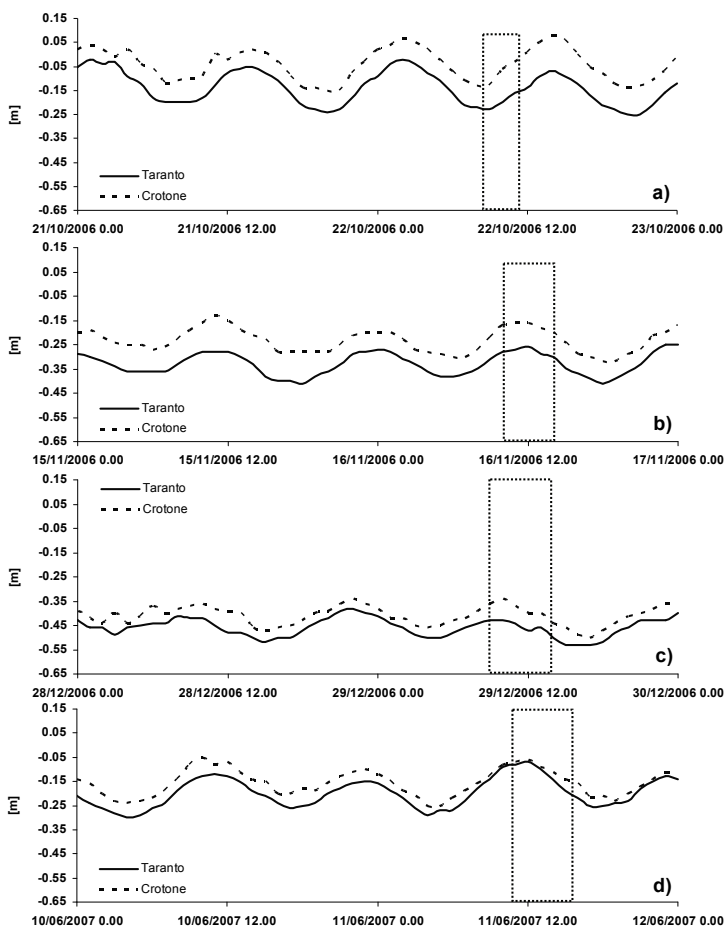


Figura 4. Andamento delle maree delle stazioni di Taranto e Crotonè a cavallo dei giorni di acquisizione: 22/10/2006 (a), 16/11/2006 (b), 29/12/2006 (c), 11/06/2007 (d).

Dall'analisi dei dati correntometricrici in funzione della profondità, si è potuto concludere che, limitatamente alle misure condotte, il vento ha influito sugli strati superficiali, ossia fino a non più di 4÷5 m al di sotto della superficie libera.

Questa considerazione veniva avallata dalle acquisizioni del 22/10/2006, l'unico giorno in cui il vento presentava una intensità di un certo rilievo (mediamente crescente da 6 ad 8 m/s, fino al termine delle misurazioni), con la presenza di moto ondoso, che in alcuni punti ha reso problematiche le misurazioni. Le misure hanno evidenziato che, a partire da circa 4 m di profondità, l'effetto del vento non influenzava grandemente la circolazione marina, in quanto, da quella profondità, i campi di moto orizzontali misurati non mostravano più evidenti variazioni.

Per i restanti giorni di acquisizione la ventosità è risultata molto modesta, non superando mai, mediamente, i 4m/s (Ben Meftah et al., 2007 a e 2007 b).

Per brevità, e tenuto conto che, limitatamente alle misure condotte, la direzione ed il modulo dei vettori velocità non presenta grandi variazioni con la profondità, ad eccezione dei valori molto prossimi al fondale, nella Figura 5 e Figura 6 sono riportati i valori di velocità mediati sulla profondità. Le suddette figure mostrano che, nella zona in analisi, la circolazione ha sempre presentato uno schema abbastanza definito.

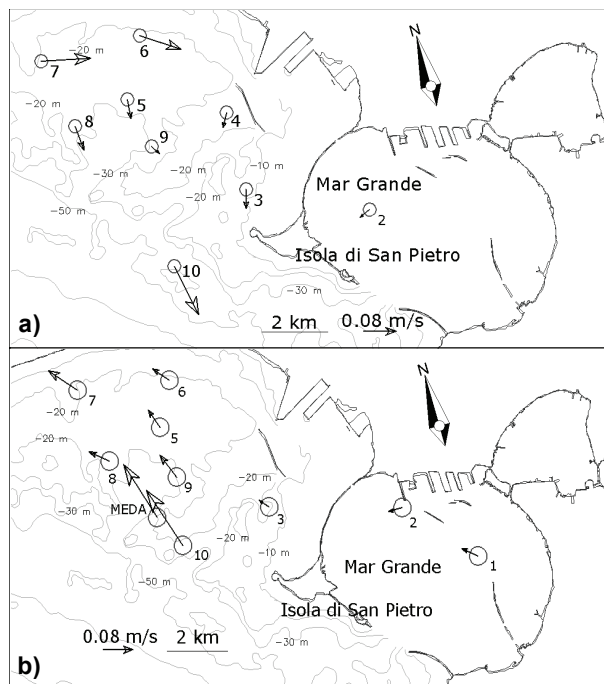


Figura 5. Rilevazioni del 29/12/2006 (a) e dell'11/06/2007 (b).

In particolare si evidenzia che il flusso è stato tendenzialmente da nord verso sud nei rilievi del 22/10/2006 e 29/12/2006 (Figura 5 (a) e Figura 6 (a)), mentre da sud-est verso nord-ovest durante i rilievi dell'11/06/2007 (Figura 5 (b)).

Nel caso del 16/11/2006 (Figura 6 (b)) si osserva una presenza di flussi in due

direzioni, ossia verso nord nelle vicinanze dell'Isola di San Pietro e verso sud nell'area più occidentale. E' importante osservare che le rilevazioni riportate in Figura 6 sono in gran parte in prossimità dell'Isola di San Pietro, mentre quelle di Figura 5 si spingono prevalentemente verso nord-ovest. Le circolazioni in Figura 5 e i relativi dati di marea mostrano che il pattern preferenziale verso sud misurato il 29/12/2006 si ha in corrispondenza della transizione tra alta marea e bassa marea, quando, inoltre, il dislivello della superficie marina è di circa 10 cm tra Taranto e Crotona. Anche il pattern misurato l'11/06/2007 si verifica durante il passaggio tra l'alta e la bassa marea (Figura 4 (d)), ma in questo caso i livelli di marea misurati a Taranto e Crotona sono praticamente gli stessi. Le direzioni dei campi di moto nei due suddetti giorni sono opposte.

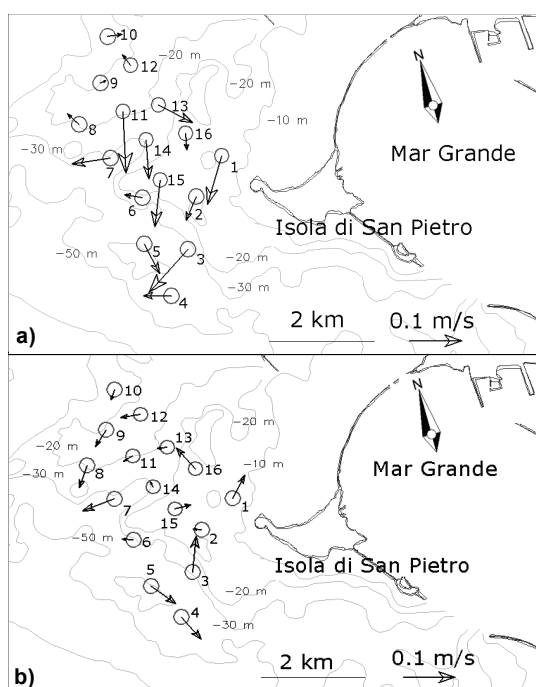


Figura 6. Rilevazioni del 22/10/2006 (a) e del 16/11/2006 (b).

La Figura 5 (a) e la Figura 6 (a) mostrano che la circolazione del 22/10/2006 è molto simile a quella del 29/12/2006 in vicinanza dell'Isola di San Pietro e, in questo caso, le misurazioni sono state effettuate durante la transizione dalla bassa all'alta marea (Figura 4 (a)) con un dislivello di circa 10 cm tra Taranto e Crotona o viceversa (Figura 4 (c)). Al contrario, la circolazione osservata il 16/11/2006 (Figura 6 (b)) vede una parte del flusso andare verso nord nelle vicinanze dell'isola, così come avviene il giorno 11/06/2007, anche se verso nord-ovest la corrente cambia direzione (si confronti la Figura 6 (b) con la Figura 5 (b)). Il giorno 16/11/2006 le misurazioni sono state effettuate a ridosso del picco di alta marea, con un dislivello idrico tra Taranto e Crotona di circa 10 cm.

Le considerazioni precedenti evidenziano che l'analisi del campo di moto delle correnti nella zona in esame è estremamente complessa. Infatti, il Golfo di Taranto (si veda la Figura 1), a ridosso della città da cui prende il nome, presenta una batimetria ed una conformazione della costa (si pensi alla complessità derivante dalla presenza del Mar Grande e del Mar Piccolo) che rendono non facilmente prevedibili i flussi correntometrici in funzione del solo andamento delle maree. Queste ultime, tra l'altro, pur presentando analoghe fasi nei rilievi di Taranto e Crotona, possono essere caratterizzate da differenze di livello nelle due città variabili nel corso delle giornate, come mostra la Figura 4. Pertanto, si ritiene che l'effetto delle maree e della particolare complessità della batimetria e dell'andamento della linea di riva della zona in analisi influiscano sull'andamento generale della circolazione marina, anche a causa di fenomeni inerziali.

Le simulazioni numeriche riportate da *Ben Meftah et al.* (2007 a e 2007 b) confermano pattern chiaramente delineati di corrente nella zona di interesse. Le simulazioni sono state eseguite utilizzando il modello di turbolenza di Smagorinsky e, come forzanti, l'andamento della marea al confine aperto (considerata variabile nel tempo, ma con la stessa ampiezza lungo tutto lo stesso confine) e l'azione dei venti (considerati costanti nello spazio, ma variabili nel tempo su tutto il dominio). Per altri dettagli si vedano le pubblicazioni precedentemente richiamate. La Figura 7 riporta un esempio di confronto tra i dati misurati il 29/12/2006 e i risultati del modello numerico MIKE21 Flow Model, all'istante di tempo a cavallo del quale le misurazioni di campo sono state effettuate.

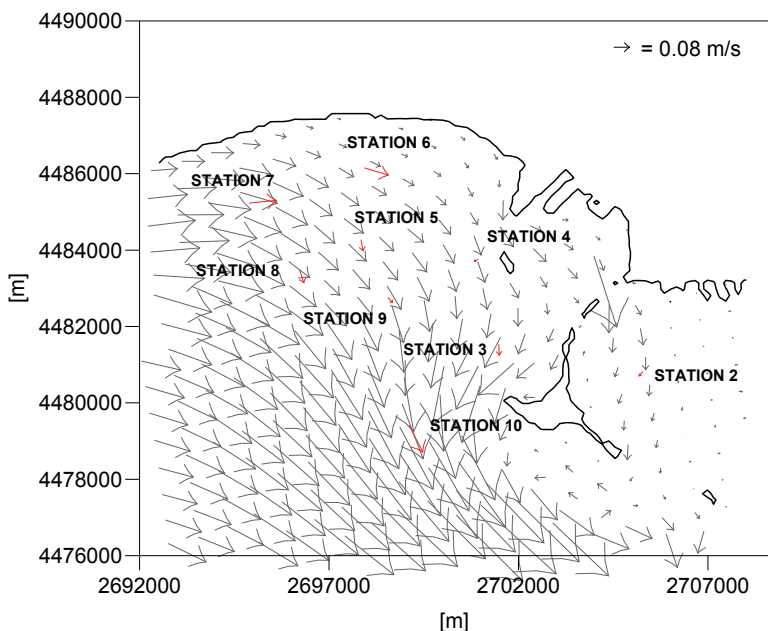


Figura 7. Confronto tra velocità misurate il 29/12/2006 (vettori in rosso) e campo di moto (vettori in grigio) ottenuto da modello numerico MIKE21.

La comparazione mostra la buona validazione del modello a seguito di opportuna

calibrazione dello stesso.

Le misure di salinità e temperatura mostrano sempre una certa uniformità nella zona, con variazioni più marcate fino a circa 5m di profondità. In particolare, per i rilievi del 29/12/2006 la salinità media è stata di circa 38.4 PSU e la temperatura media di circa 14.7°C, mentre durante il rilievo dell'11/06/2007 la salinità media è stata di circa 38.0 PSU e la temperatura media di 21°C. I valori misurati sono tipici della zona nel periodo delle misurazioni effettuate (*Strusi & Pastore, 1975*).

4 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono riportati alcuni risultati di misurazioni correntometriche effettuate al largo della città di Taranto, nell'omonimo golfo, durante quattro campagne di misura.

In particolare, le misurazioni hanno permesso di evidenziare pattern preferenziali di moto della corrente, il cui andamento è influenzato dall'andamento delle maree e dei dislivelli mareali tra la zona in esame e quella di Crotona, posta più a sud nel Golfo di Taranto, mentre, limitatamente ai giorni in cui sono state condotte le misure, poca influenza sembra avere la distribuzione dei venti in zona, i cui effetti si fanno risentire soprattutto negli strati più superficiali. I rilievi, tuttavia, hanno evidenziato la complessità di analisi delle correnti nella zona.

Inoltre sono stati condotti dei confronti fra dati misurati dal correntometro utilizzato sull'imbarcazione, quelli registrati da un correntometro fisso e quelli ottenuti da simulazioni numeriche. Essi hanno mostrato un buon accordo tra di loro.

In particolare, si possono fare alcune considerazioni a riguardo del confronto tra i dati del correntometro fisso della stazione Meda e quelli acquisiti dall'AWAC.

Come già evidenziato in questo lavoro, a causa del moto dell'imbarcazione su cui era installato l'AWAC, dette comparazioni non possono essere considerate nello stesso punto.

Durante i rilievi, a causa della presenza del moto ondoso e delle correnti superficiali, l'imbarcazione che montava il correntometro, se non ancorata opportunamente al fondale, subisce spostamenti non trascurabili rispetto al punto nel quale le misure iniziano ad essere acquisite, spostamenti tanto più marcati quanto più elevato è il tempo di stazionamento e quanto più intense sono le correnti nei dintorni dello stesso. Nel caso in esame, detti spostamenti potevano avere una entità dell'ordine dei 100m o più, per cui in effetti venivano misurate velocità dell'acqua in punti anche abbastanza distanti di quello in cui si trova la stazione correntometrica fissa. Il vantaggio di poter utilizzare un correntometro di bordo è quello di avere una maggiore flessibilità, permettendo di effettuare misure in una serie di punti, anche piuttosto distanti tra di loro. Se tali acquisizioni vengono effettuate in tempi relativamente brevi (nell'ordine di poche ore) è possibile ottenere una visione del campo di moto d'insieme della zona investigata. In effetti, simulazioni numeriche mostrano che il cambiamento del campo di moto nella zona non subisce variazioni sensibili per durate temporali simili a quelle durante le quali sono state effettuate le misurazioni con l'AWAC. Di converso, proprio misurazioni su un'area abbastanza vasta possono servire a calibrare i modelli numerici, al fine di ottenere dei risultati attendibili. Le misurazioni di velocità effettuate in un solo punto con un correntometro fisso non permettono, talvolta, sufficienti informazioni per l'azione di taratura di un modello numerico, ma, d'altro canto, possono fornire con

continuità, su tempi molto più estesi, dati che con il correntometro installato in barca non sarebbe possibile ottenere.

BIBLIOGRAFIA

Ben Meftah, M., De Serio, F., Mossa, M., Petrillo, A.F. & Pollio, A., Current circulation in the gulf of Taranto: numeric simulations and experimental data analysis, *Flucome 2007*, Tallahassee, Florida, 2007 a.

Ben Meftah, M., De Serio, F., Mossa, M., Petrillo, A.F. & Pollio, A., Field measurements and analysis of sea current offshore Taranto, *Proceedings of the 2nd International Conference on Coastal Conservation and Management in the Atlantic and Mediterranean (ICCM 2007)*, Hammamet, Tunisia, 2007 b.

De Serio, F., Malcangio, D. & Mossa, M., Circulation in a Southern Italy coastal basin: Modelling and field measurements, *Continental Shelf Research*, 2007, 27, pp.779-797.

Mossa, M., Field measurements and monitoring of wastewater discharge in sea water, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 68, pp. 509-514.

Strusi A. & Pastore, M., Osservazioni idrografiche nel Mar Grande e Mar Piccolo di Taranto, *Campagna di misurazioni idrografiche nel Mar Grande e nel Mar Piccolo di Taranto*, Istituto Sperimentale Talassografico, Taranto, 1975.

Wood, I.R., Bell, R.G. & Wilkinson, D.L., Ocean Disposal of Wastewater, *Advanced Series on Ocean Engineering*, 1993, World scientific, Singapore.