



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

***Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine  
Servizio Laguna di Venezia***

***Misure correntometriche con strumentazione  
acustica (ADCP) - Bocca di Lido (VE)  
- Elaborazione dati anno 2012 -***

Castello, 4665 - 30122 Venezia  
Tel: 041 5220555 / 5235895 - Fax: 041 5220521  
Segreteria previsione di marea: 041 5202027 / 5202083  
e-mail: [venezia@isprambiente.it](mailto:venezia@isprambiente.it)  
[www.venezia.isprambiente.it](http://www.venezia.isprambiente.it)



# Misure correntometriche con strumentazione acustica (ADCP) - Bocca di Lido (VE) Elaborazione dati anno 2012

## 1. Premessa

La misura del flusso idrico in entrata ed uscita dalle bocche lagunari e del correlato trasporto di materiali sospesi mediante applicazione delle tecniche acustiche (ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler) rappresenta ormai da anni una promettente, economica e consolidata alternativa ai tradizionali sistemi di misurazione delle portate ed a quelli basati su rilievi batimetrici per valutare l'erosione complessiva del bacino lagunare.

Tra le recenti esperienze che in tali applicazioni hanno direttamente coinvolto l'ISPRA - Servizio Laguna di Venezia si citano le seguenti:

- Misure del trasporto solido alla bocca di porto di Lido (2002-2004), finanziata nell'ambito della Convenzione tra l'Istituto di Scienze Marine CNR-ISMAR di Venezia e l'Ufficio Idrografico e Mareografico di Venezia (allora APAT, ora ISPRA) del 20 Dicembre 2001, finalizzata alla sperimentazione tramite calibrazione di un profilatore ADCP di un sistema di misura del trasporto idrico e del materiale in sospensione attraverso la bocca di porto di Lido.[1]
- Progetto "Misura del Trasporto Solido Laguna-Mare" (novembre 2004 - novembre 2007), con il concorso del Comune di Venezia - ICPSM (l'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree), del CORILA (Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca inerenti il Sistema Launare di Venezia), dell'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, ora ISPRA), del CNR-ISMAR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine), dell'OGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale di Trieste) ed del NOCS (National Oceanography Centre of Southampton, UK) quali partner scientifici incaricati di effettuare l'attività sperimentale del progetto e l'elaborazione dei risultati.[2]

L'applicazione della tecnica acustica in sostanza prevede lo sfruttamento dell'effetto Doppler nella misura dei tempi di percorrenza degli impulsi emessi e riflessi e del variare della loro frequenza e fase per individuare velocità e direzione di un flusso idrico e le variazioni di concentrazione del solido sospeso. Lo strumento in grado di fare ciò è l'ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), strumento che può essere utilizzato fisso al fondo di un canale, in grado così di fornire una serie temporale continua di valori sulla verticale dello strumento stesso, o in configurazione mobile, montato su imbarcazione, in grado così di fornire una serie spaziale di dati pressoché contemporanea lungo tutto lo sviluppo di una sezione fluida.

I limiti della metodologia acustica, che risiedono nell'impossibilità di rilevare la fascia d'acqua prossime alla superficie (spessore circa 1 m) ed al fondo (spessore circa 2 m), possono essere superati mediante l'applicazione di metodiche di estrapolazione dei dati [3] e di simulazioni modellistiche.

Il sistema realizzato nei citati progetti si è basato sull'integrazione dei dati raccolti in continuo da alcuni ADCP fissi al fondo delle bocche di comunicazione laguna-mare (Bocca di Lido, di Malamocco e di Chioggia) con i dati provenienti dall'utilizzo di un ADCP mobile (su imbarcazione) che ha eseguito ripetuti transetti (vere e proprie misure di portata estese) in diverse condizioni meteo-mareali, il tutto integrato da profili chimico-fisici e con tecnologia ottica, prelievo di campioni ed esami di laboratorio (torbiometrie), consentendo quindi di definire per ogni sezione una "scala delle portate", il bilancio annuale idrico e quello

solido tra laguna e mare. Il prolungato mantenimento in funzione di un tale sistema integrato di misure potrebbe consentire il monitoraggio delle caratteristiche idrodinamiche del flusso idrico laguna-mare e l'individuazione tempestiva di eventuali modifiche dell'assetto idrodinamico stesso, seguendo l'evoluzione del processo di interscambio solido in sospensione al variare delle condizioni indotte dai mutamenti morfologici sia naturali che antropici.

Sostanzialmente, quanto sopra descritto è stato fatto tra il 2004 ed il 2007 da CORILA per tutte e tre le bocche lagunari. Lo studio è stato quindi interrotto, dedicando peraltro al termine del triennio le residue risorse economiche allo sviluppo delle misure e degli studi alle bocche di Chioggia e Malamocco [2] e trascurando la prosecuzione del monitoraggio alla bocca di Lido, che sulla base delle risultanze dello stesso studio, è poi quella che maggiormente incide sul bilancio idrico e solido dell'intera laguna di Venezia.

In particolare per la bocca di Lido, le precedenti esperienze avevano già delineato, nell'arco di un triennio quasi ininterrotto di rilievi, le caratteristiche medie della sezione e consentito alcune considerazioni descrittive dell'idrodinamica della sezione, del bilancio idrico annuale e del relativo trasporto solido. Mentre per le citate caratteristiche si rimanda al rapporto finale dello studio CORILA [2], nel presente lavoro si intende porre attenzione ad alcune "anomalie" del flusso mareale che si instaurano lungo la sezione della bocca in concomitanza con la fase finale del crescente di marea, anomalie già in precedenza individuate e sommariamente descritte nel corso della ricerca che aveva coinvolto ISPRA ed il CNR-ISMAR [12]. Nel rapporto Tecnico CNR n. 257, a pag. 19 si legge infatti : *"I transetti da 30 a 37 mostrano la configurazione del campo di corrente in prossimità della parte terminale del crescente principale di marea nel giorno 19 settembre. Si osserva come, pur essendo la portata del canale ancora elevata, nella parte a nord della sezione è presente un'area caratterizzata da velocità molto basse e direzione della corrente opposta a quella della restante parte della sezione. Questa struttura si mantiene fino all'inversione del flusso idrico che si verifica a partire dal transetto numero 40"*.

Allo scopo di fornire un ulteriore contributo alla conoscenza e caratterizzazione dei processi di interscambio solido (materiali sospesi) laguna-mare, ma soprattutto al loro evolvere nel tempo in rapporto alle variazioni idrodinamiche connesse sia ai naturali fenomeni evolutivi di un ambiente tipico transizionale, quale appunto l'ambiente lagunare, sia alle variazioni derivanti da interventi antropici, quali ad esempio la realizzazione degli interventi alle bocche, il Servizio Laguna di Venezia (SLV) - Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine dell'ISPRA ha provveduto ad installare, nel gennaio 2011, un correntometro ADCP fisso presso la bocca di Lido ubicato in corrispondenza di quella parte di sezione più prossima alla diga meridionale dove in particolari condizioni si instaura la citata anomalia del flusso di corrente.

## **2. Strumentazione installata**

Sulla base quindi delle precedenti esperienze, inizialmente condotte in proprio (collaborazione APAT-CNR ISMAR 2002-2004) ed approfondite poi con il progetto CORILA-CNR 2005-2009 e con i monitoraggi alle bocche di Chioggia e Malamocco, è stata predisposta all'inizio del 2011 l'installazione dell'apparato e dell'intero sistema di rilevamento della bocca di Lido. Nell'ottica di rendere il tutto il più funzionale e pratico possibile, l'apparato è stato progettato per l'acquisizione e registrazione dei dati rilevati dal sensore ADCP direttamente ed in tempo reale presso una Centrale Remota (LISC) alloggiata presso la cabina mareografica ISPRA di Lido Diga Sud (Tab. 1). I dati vengono quindi trasmessi con cadenza semi-giornaliera direttamente presso la Sala Operativa degli uffici ISPRA-Servizio Laguna di Venezia, dove possono essere visualizzati in forma grafica o tabellare, elaborati ed esportati in automatico su server Ftp. Il funzionamento dell'intero sistema è tenuto sotto controllo da una serie di test automatici di errore che inviano eventuali segnalazioni di allarme tramite mail e/o Sms consentendo di intervenire con rapidità nella rimozione di

eventuali malfunzionamenti, garantendo così nel miglior modo possibile la continuità temporale e la buona qualità della serie di dati.

La nuova strumentazione installata, zavorrata ad una profondità di circa 13 metri, è in funzione da gennaio 2011, rilevando e registrando in continuo velocità, direzione della corrente in transito e segnale di backscatter (attenuazione del segnale acustico riflesso).

Lo strumento, della Teledyne RD Instruments, è del modello Sentinel 600 kHz Self-Contained ADCP, con trasduttore a 4 fasci (beams) alloggiato all'interno di una struttura protettiva a cupola in resina LLPDE (Linear Low Density Polyethylene), il tutto posato su fondale e fissato mediante uso di zavorra inerte.

Un cavo dati a doppia armatura incrociata in acciaio lo collega al Sistema di Controllo remoto (LISC), costituito da data-logger (memoria da 1 Gb, in grado di immagazzinare circa 20.000 giorni di dati correntometrici), modem cellulare dual-band, regolatore di carica e batteria, il tutto in contenitore plastico IP65 alloggiato all'interno della cabina mareografica ISPRA di Lido Diga Sud. Il sistema è alimentato da un pannello solare da 95 Wp fissato all'esterno della cabina mareografica e collegato tramite regolatore di carica ad una batteria 12 VDC 45 Ah in grado di garantire, in caso di mancata alimentazione da pannello, una autonomia teorica al sistema pari a circa 9 giorni.

Il collegamento con la Sala Operativa ISPRA di Venezia per il controllo remoto e l'importazione dei dati avviene tramite un modulo di comunicazione cellulare GSM/GPRS a 9.6 Kbps; la gestione dell'intero sistema, il controllo e lo scarico dei dati registrati avviene direttamente presso la Sala Operativa ISPRA di Venezia tramite lo specifico software Remote Oceanographic Control System (ROCS).

Point	Lat.	Long.
ADCP-ISPRA	45° 25,332138'	12° 25,408254'

Tab. 1 - Coordinate geografiche (Map Datum NAD83/WGS84 → UTM Zone 33 Easting 2318670 Northing 5033128)

### 3. Periodo indagato

Il periodo preso in esame per la seguente elaborazione dei dati ADCP corrisponde all'anno 2012 completo, dal 01/01/2012 al 31/12/2012.

Dopo l'iniziale "esportazione" dei dati di origine (oltre 1,6 milioni di valori) in files di testo tramite l'apposita funzione del software WinADCP, grazie allo sviluppo di alcuni applicativi specifici (SOFT-2 e HMed-2) sono stati predisposti per le successive elaborazioni i dati medi orari delle grandezze significative.

Si è proceduto in un primo tempo a calcolare per ogni *Ensemble*<sup>(\*)</sup> il valore medio sulla verticale dello strumento di tutte le grandezze registrate mediando tutti i corrispondenti valori delle 9 celle valide, dal fondo alla superficie.

In un secondo tempo si è proceduto al calcolo delle medie orarie, a partire dai valori medi precedentemente calcolati, su intervalli orari di 6 Ensemble consecutivi, uno ogni dieci minuti, attribuendo il valore ottenuto all'ora centrale dell'intervallo mediato.

(\*) Ensemble : insieme di dati registrati a seguito di una serie temporale di impulsi sonori, mediati ed attribuiti all'istante centrale dell'intervallo di misura (nel ns caso, 1 Ensemble ogni 10 minuti).

I Valori medi orari di ogni singola grandezza ottenuti sono stati registrati in una unica matrice di base secondo la seguente formattazione dei records (24 records x 366 giorni = 8.784 records):

Data	Ora	Ens-Ini	Ens-Fin	EAA	C5	Eas	Nor	Ver	Err	Mag	Dir	PG1	PG2	PG3	PG4
01/01/2012	0.00	10587	10592	125	123	-171	238	4	-4	294	324	1	0	8	90
01/01/2012	1.00	10593	10598	123	124	-147	214	4	-3	260	325	1	0	3	96
01/01/2012	2.00	10599	10604	122	124	-131	200	2	-6	240	326	0	0	5	94
01/01/2012	3.00	10605	10610	121	124	-96	144	2	-3	174	326	0	0	10	90
.....	Omissis														
.....															
31/12/2012	20.00	25829	25834	112	122	-248	336	1	2	418	323	0	0	0	99
31/12/2012	21.00	25835	25840	120	122	-337	522	2	1	622	326	0	0	0	99
31/12/2012	22.00	25841	25846	129	122	-363	576	-2	-2	682	328	0	0	0	100
31/12/2012	23.00	25847	25852	125	124	-292	488	-1	4	570	329	0	0	0	100

Tab. 2 - Formattazione della Matrice di Base dei dati

Le grandezze interessate sono le seguenti:

Data = data in formato dd/mm/yyyy

Ora = in formato hh:mm

Ens-Ini = Numero progressivo dell'*ensemble* di inizio periodo per il calcolo del valore medio orario

Ens-Fin = Numero progressivo dell'*ensemble* di fine periodo per il calcolo del valore medio orario

EAA = *Echo Amplitude*.

C5 = Correlazione, misura della qualità del dato; il suo valore (*Hight Signal*/Disturbo) ottimale sarebbe 128.

Eas = Velocità, componente est (mm/s).

Nor = Velocità, componente nord (mm/s).

Ver = Velocità, componente verticale (mm/s).

Err = *Error Velocity*, misura differenze di Velocità verticali tra diverse terne di *beams* (mm/s).

Mag = *Velocity Magnitude*, velocità di corrente (mm/s).

Dir = Direzione del flusso di corrente (gradi).

PG1 = Percentuale di successo di calcolo della velocità usando 3 trasduttori (*beams*).

PG2 = Percentuale di velocità rigettate per "*Error Velocity*" superiore alla soglia impostata.

PG3 = Percentuale di volte in cui più di 1 *beam* è stato scartato perché marcato "*bad*".

PG4 = Percentuale di successo di calcolo delle velocità usando 4 trasduttori.

#### 4. Analisi di qualità dei dati

Per il periodo considerato, l'anno 2012, il numero dei valori medi orari attesi è pari a 8.784 (366 giorni (bisestile) x 24 valori orari = 8.784). I valori presenti nella matrice base sono invece 8.755; per problemi di corretto rilevamento e trasmissione, nonché per disturbato funzionamento (si pensi ad esempio al transito crocieristico) non è stato possibile registrare e calcolare nella matrice di base 29 valori medi orari.

Valori attesi	8784	100,00	%
Valori Mancanti	29	0,33	%
Valori Presenti	8755	99,67	%

Tab. 3 - Quantità dei valori (medie orarie)

I periodi mancanti sono i seguenti :

- Dal 05/07/2012 ore 9:00 al 05/07/2012 ore 14:00 (6 ore). In tale frangente l'interruzione dei rilievi è dovuta alla periodica operazione manutentiva durante la quale lo strumento è stato rimosso dal fondale mediante intervento di operatore subacqueo, pulito da *fouling* ed incrostazioni, verificato e successivamente ricollocato in sito.
- Dal 26/07/2012 ore 12:00 al 26/07/2012 ore 13:00 (2 ore).
- Dal 27/07/2012 ore 0:00 al 27/07/2012 ore 23:30 (24 ore). Nelle 24 ore ha prodotto la registrazione dati per sole 3 ore e non consecutive; si considera tutta la giornata come assenza di dati.

Uno dei principali indici di qualità dei dati di corrente è costituito dalla *Error Velocity*, che corrisponde alla differenza delle velocità verticali tra le singole celle (*bins*) calcolate usando le varie combinazioni di 3 diversi emettitori (*beams*). Generalmente, per la distribuzione di una serie di velocità, viene assunto come parametro accettabile il valore di 50 mm/s, e come valore massimo 120 mm/s. L'*Error Velocity* viene utilizzato come indicatore di disomogeneità delle misure o, cosa più importante, per individuare l'esistenza di un *beam* marcato come "*bad*" (guasto o malfunzionamento dell'emettitore).

Dall'analisi dei valori medi orari di *Error Velocity* estratti dalla matrice base relativa a tutto il 2012, si individuano i seguenti periodi di misura non rispondenti ai parametri fissati di accettabilità:

dal	al	n° casi Err > 50	n° casi Err > 120
27/06/12 ore 21:00	28/06/12 ore 15:00	14	3
30/06/12 ore 21:00	01/07/12 ore 02:00	4	1

Tab. 4 - periodi di misura non rispondenti ai parametri di accettabilità

Gli ulteriori parametri utilizzati per l'analisi di qualità dei dati, calcolati per ogni singola cella e per ogni singolo profilo (*Ensemble*), sono le cosiddette "*Percent-Good*", così definite:

PG1 = percentuale di successo di calcolo della velocità usando 3 trasduttori (*beams*)

PG2 = percentuale di velocità rigettate per "*Error Velocity*" superiore alla soglia impostata

PG3 = percentuale di volte in cui più di 1 beam è stato scartato perché marcato "*bad*"

PG4 = percentuale di successo di calcolo delle velocità usando 4 trasduttori

dal	al	n° casi PG4 > 80 %
17/01/12 ore 19:00	----	1
31/01/12 ore 17:00	----	1
11/05/12 ore 15:00	----	1
17/06/12 ore 12:00	----	1
21/06/12 ore 22:00	21/06/12 ore 23:00	2
26/06/12 ore 21:00	27/06/12 ore 12:00	9
27/06/12 ore 22:00	28/06/12 ore 19:00	16
29/06/12 ore 07:00	01/07/12 ore 18:00	43
05/07/12 ore 09:00	05/07/12 ore 14:00	6
27/07/12 ore 0:00	27/07/12 ore 05:00	6
27/07/12 ore 07:00	27/07/12 ore 15:00	9
27/07/12 ore 18:00	27/07/12 ore 23:00	6

Tab. 5 - Periodi di misura non rispondenti ai criteri di accettabilità

L'analisi qualitativa dei dati ha consentito di individuare un periodo di particolare malfunzionamento, le cui cause saranno a seguito indagate, dal 26/06/12 al 01/07/2012, per una durata di 6 giorni consecutivi; tale periodo, corrispondente ad un intervallo dati nella matrice base dei dati medi orari di  $24 \times 6 = 144$  records, è stato interamente scartato.

Analogo discorso va fatto per la giornata del 27/07/2012, corrispondente ad un intervallo dati nella matrice base dei dati medi orari di  $24 \times 1 = 24$  records, che è stata interamente scartata.

Per quanto sopra pertanto, i valori percentuali complessivi relativi alla presenza di dati "buoni" e funzionali alle successive elaborazioni sono i seguenti:

Valori attesi	8784	100,00	%
Mancanti/Scartati	201	2,29	%
Presenti e Attendibili	8583	97,71	%

Tab. 6 - Stima quantitativa dei valori utilizzabili

Ad esclusione quindi di saltuari, sporadici e brevi intervalli orari, i significativi periodi di "mancanza dati" per periodi di durata assimilabile alla giornata intera sono i seguenti:

- . Dal 26 giugno al 1 luglio = 6 giorni consecutivi
- . Il 27 luglio = singola giornata

## 5 Analisi del flusso di corrente – (Parametri Direzione e Velocità assiale)

### 5.1 Direzione del flusso (Parametro Dir)

L'apparato è impostato in modalità "Earth" e pertanto il parametro rilevato e registrato Dir è espresso direttamente in gradi ed è riferito al Nord geografico.

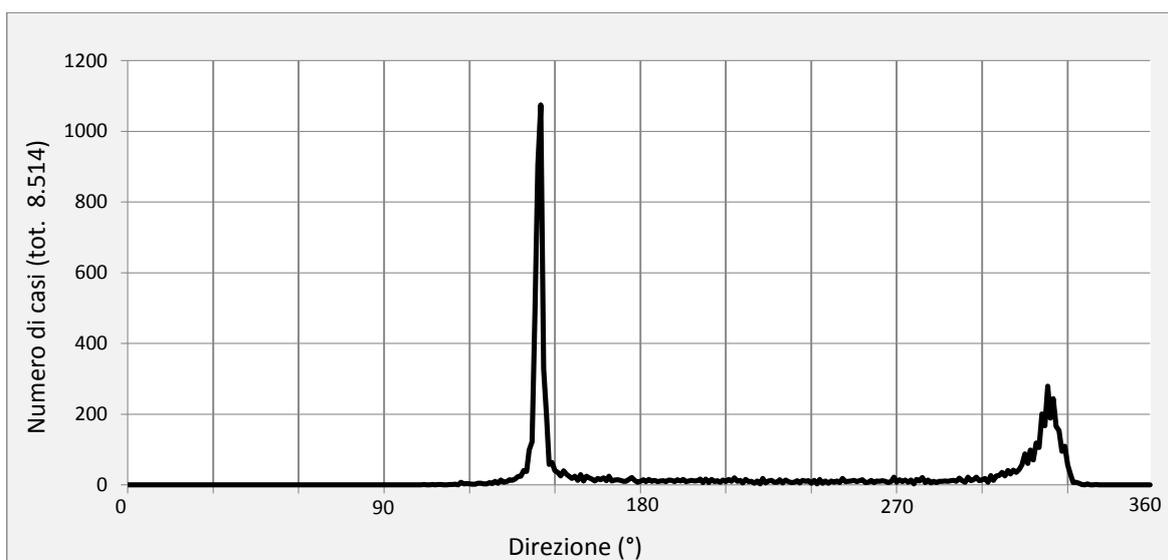


Fig. 1 - Distribuzione delle direzioni di corrente (Dir). Periodo 01/01/2012 – 31/12/2012

La distribuzione di frequenza dei valori medi orari del parametro Dir (Fig. 1) mette in evidenza come il flusso di corrente in uscita dalla laguna, dopo un lungo tragitto incanalato tra le due dighe, assuma una ben precisa direzione corrispondente a 146° (l'asse geometrico del canale di bocca è invece di 135°) ; Il flusso in entrata invece, essendo la sezione di misura molto prossima allo sbocco a mare, appare molto meno concentrato, con dispersione attorno al valore di maggior frequenza pari a 324° (l'asse geometrico del canale di bocca risponde ad una direzione pari a 315°).

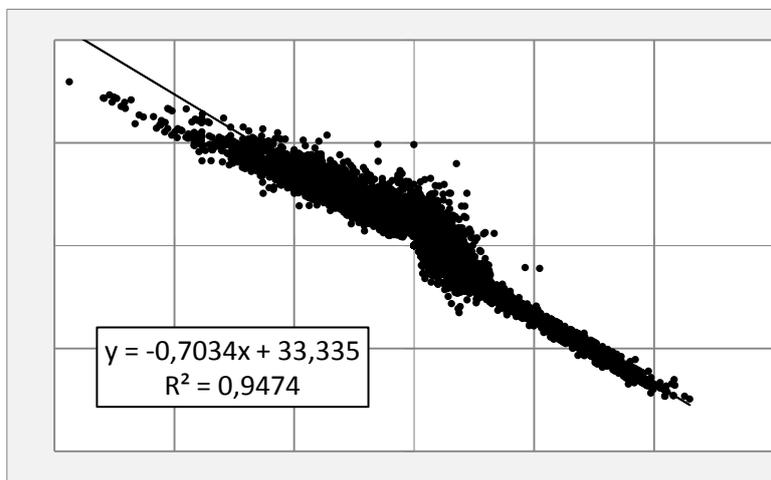


Fig. 2 - Distribuzione polare dei vettori e linea di tendenza. Periodo 01/01/2012 – 31/12/2012

La distribuzione polare dei punti rappresentativi dei vettori di corrente (Fig. 2) mette in evidenza comunque un addensamento degli stessi intorno all'asse geometrico della bocca; la linea di tendenza è rappresentata dall'equazione lineare  $Y = -0,7034 X + 33,335$ , con coefficiente di determinazione  $R^2 = 0,9474$ . L'angolo corrispondente risulta pari a 134°,7.

## 5.2 Velocità della corrente (Parametro Vass)

Per le successive valutazioni, tutti i vettori di corrente sono stati scomposti in componente "assiale" (134°,7) e componente "normale" (44°,7), mantenendo ferma la convenzione già adottata nelle precedenti esperienze (CORILA 2004-2007) di indicare con segno positivo la corrente in uscita e con segno negativo la corrente in ingresso. [  $V_{ass} = Mag * \sin(Dir^\circ - 45^\circ)$  ;  $V_{nor} = Mag * \cos(Dir^\circ - 45^\circ)$  ]

E' il caso di sottolineare che i valori dei descrittori statistici riportati nella seguente Tab.7 sono relativi alla posizione "decentrata" dell'ADCP fisso e sono rappresentativi quindi di quella limitata porzione della sezione a ridosso del molo sud, dove già precedenti indagini [12] avevano indicato, sotto certe condizioni, l'instaurarsi di un regime "anomalo" delle correnti.

Indicatore	val.
Durata (gg.)	366
Num.tot.ore	8784
Num.tot.dat	8360
Num.dat mancanti	424
Media	0,1

DevSt	0,48
Max	1,34
Min	-2,05
I Quartile	-0,27
II Quartile	0,07
III Quartile	0,46

Tab. 7 - Riassunto dei descrittori statistici della serie oraria della Velocità Assiale (m/s).

Dalla analisi della precedente tabella si evidenzia quindi che :

- il valore medio della Velocità assiale stimato per il 2012 è positivo, pari a 0,10 m/s, indicando la prevalenza della corrente assiale media in uscita (limitatamente a quel tratto di sezione!).
- la Deviazione Standard 2012 è pari a 0,48 m/s
- il valore massimo (Max) corrisponde alla Velocità assiale massima del flusso in uscita (segno positivo), ed è pari a 1,34 m/s.
- il valore minimo (Min) corrisponde in realtà alla velocità massima del flusso in entrata (segno negativo), e risulta pari a -2,06 m/s.
- il valore massimo di velocità media oraria del flusso in entrata, pari a oltre 2 m/s, è sicuramente un valore molto elevato, e si è verificato in corrispondenza del giorno 7 febbraio 2012<sup>(\*)</sup>, alle ore 21, in occasione di un evento di Bora alquanto particolare più ampiamente descritto in seguito, un episodio comunque con valori medi orari della velocità del vento superiori ai 20 m/s (circa 70 Km/h), con picchi fino a 90 km/h, ma soprattutto episodio durato, in modo anomalo appunto, per quasi 13 giorni consecutivi.

La distribuzione delle frequenze per classi di ampiezza 0,1 m/s risulta abbastanza asimmetrica (Fig. 3).

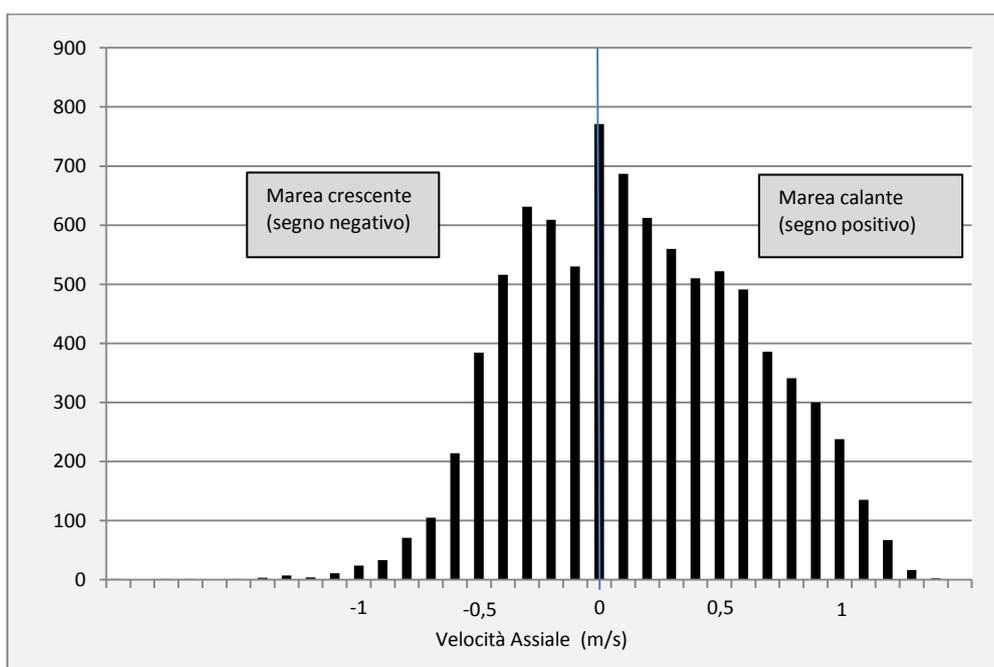


Fig. 3 - Velocità assiale, distribuzione delle frequenze per classi da 0,1 m/s  
(Periodo 01/01/2012 – 31/12/2012)

Il 100 % dei valori di velocità assiale del flusso in uscita è minore di 1,4 m/s.

Per quanto riguarda il flusso in entrata, il 99,87 % dei valori assoluti è minore di 1,4 m/s; i 4 valori che superano tale soglia (*outliers*) sono tutti concentrati in quell'unico evento di Bora, episodio singolare come già detto per durata (quasi 13 giorni consecutivi).

<sup>(\*)</sup> Bollettino meteo-mareografico n.2/2012 ([http://www.venezia.isprambiente.it/ispra/bollettino#Bollettino Meteo-Mareografico](http://www.venezia.isprambiente.it/ispra/bollettino#Bollettino%20Meteo-Mareografico))

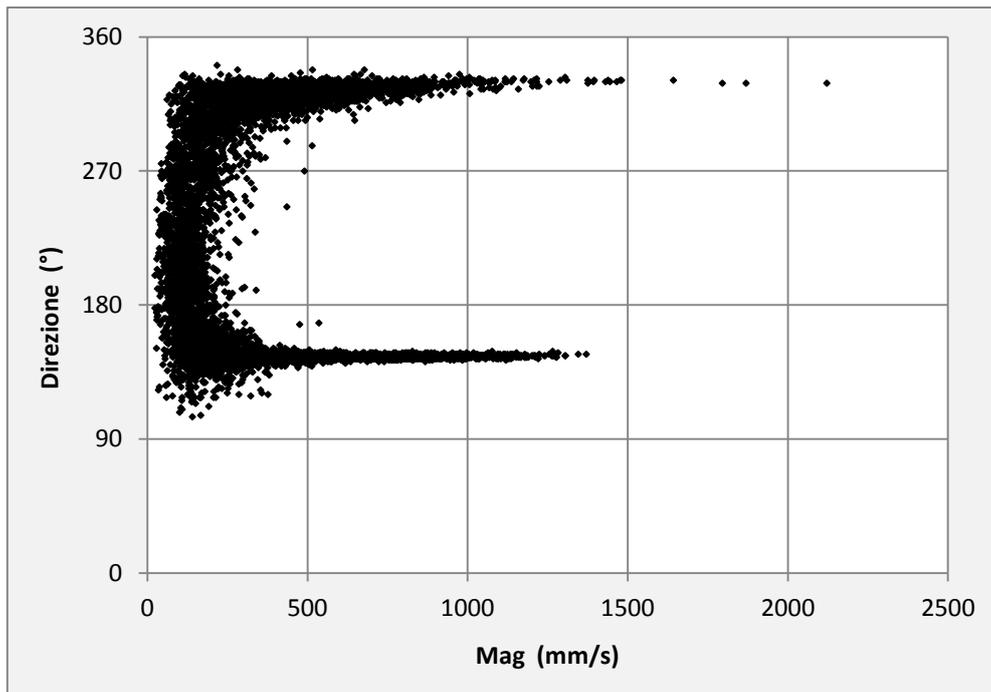


Fig. 4 - Distribuzione della Velocità (Mag) in funzione della Direzione (Dir)  
(Periodo 01/01/2012 – 31/12/2012)

### 5.3 Velocità assiale della corrente e intensità e direzione del vento

Sulla base delle risultanze degli studi precedenti, si è provveduto ad individuare gli eventi di Bora occorsi nel periodo indagato (tutto il 2012). In analogia alla convenzione adottata nel progetto CORILA 2004-2007, si definisce “evento di Bora” un episodio con provenienza del vento dal primo quadrante, velocità media oraria maggiore di 10 m/s e durata superiore alle 12 ore consecutive; i dati di velocità e direzione del vento utilizzati (medie orarie) provengono dalla serie dati del sensore ISPRA posizionato presso la Piattaforma CNR, circa 8 miglia al largo della bocca di Lido. Gli episodi individuati sono i seguenti:

- dal 29/01 ore 5 al 12/02 ore 24, durata pari a circa 12 giorni;
- dal 20/02 ore 6 al 20/02 ore 22, durata pari a circa 16 ore;
- dal 05/03 ore 20 al 06/03 ore 11, durata pari a circa 16 ore;
- dal 13/05 ore 1 al 14/05 ore 5, durata pari a circa 29 ore;
- dal 21/07 ore 21 al 23/07 ore 22, durata pari a circa 48 ore;
- dal 13/09 ore 0 al 13/09 ore 18, durata pari a circa 18 ore;
- dal 28/10 ore 5 al 29/10 ore 8, durata pari a circa 27 ore;
- dal 30/11 ore 3 al 30/11 ore 20, durata pari a circa 16-17 ore;
- dal 07/12 ore 20 al 08/12 ore 21, durata pari a circa 25 ore.

L’analisi, sinteticamente riassunta dai seguenti grafici (Figg. 5 a, b, c, d), evidenzia come il parametro velocità assiale sia strettamente correlato alla intensità ed alla durata degli eventi di Bora e relativamente meno sensibile agli episodi di Scirocco.

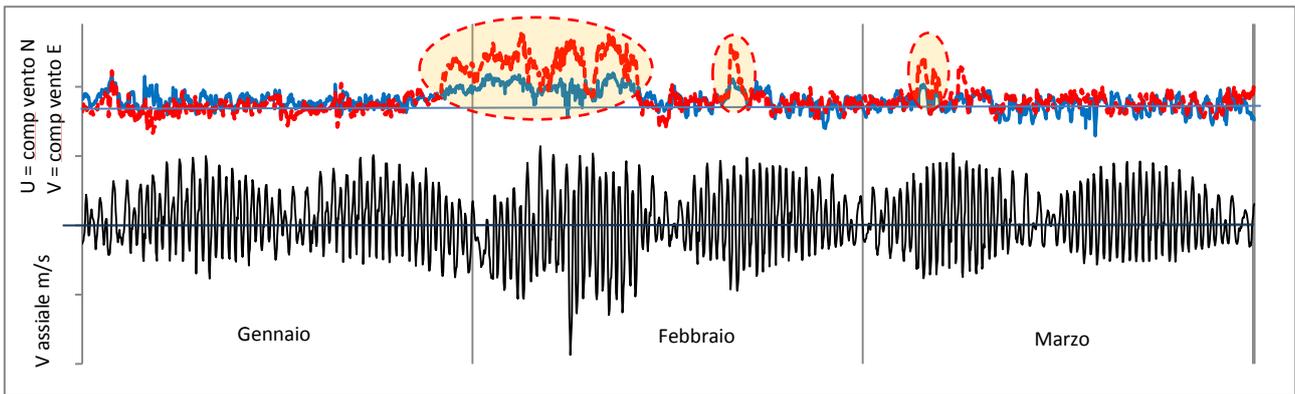


Fig. 5a - Velocità assiale (nero) e componenti Nord (rosso) ed Est (blu) del vento in Piattaforma – CNR (Primo trimestre 2012)

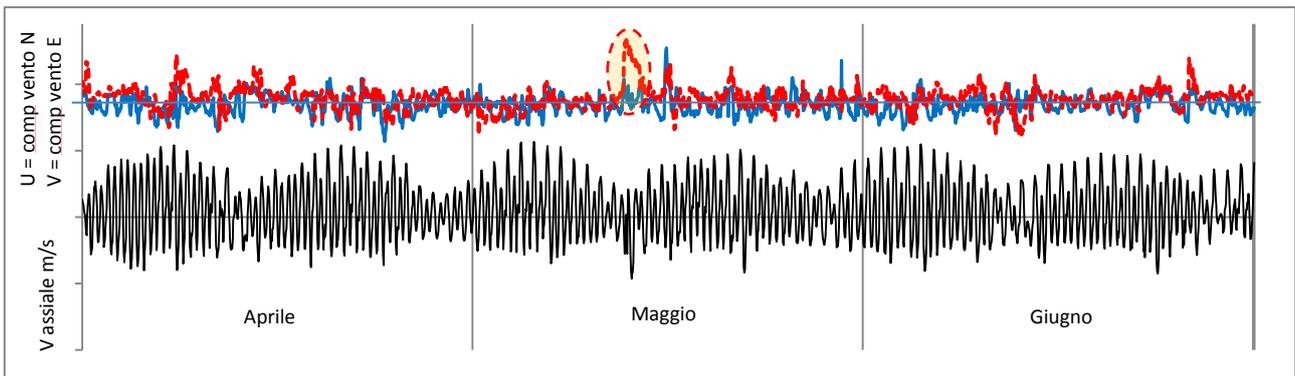


Fig. 5b - Velocità assiale (nero) e componenti Nord (rosso) ed Est (blu) del vento in Piattaforma – CNR (Secondo trimestre 2012)

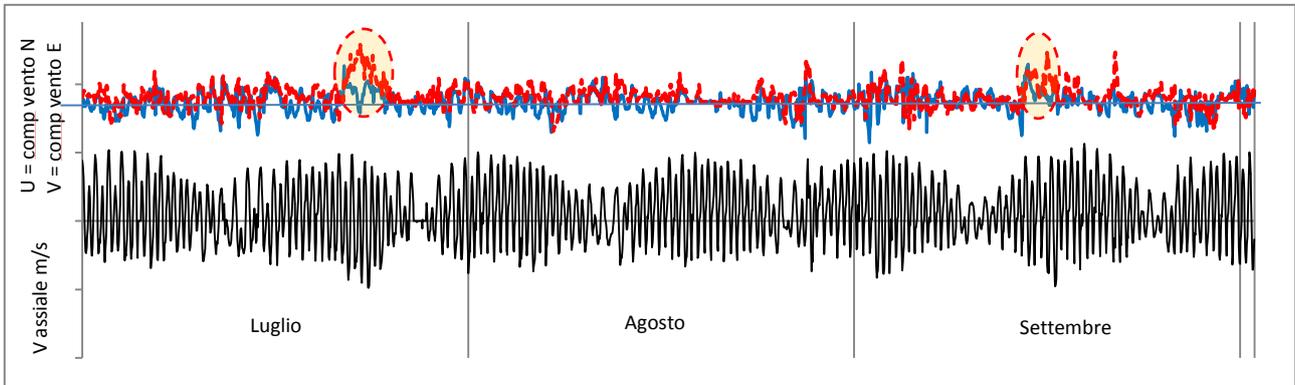


Fig. 5c - Velocità assiale (nero) e componenti Nord (rosso) ed Est (blu) del vento in Piattaforma – CNR (Terzo trimestre 2012)

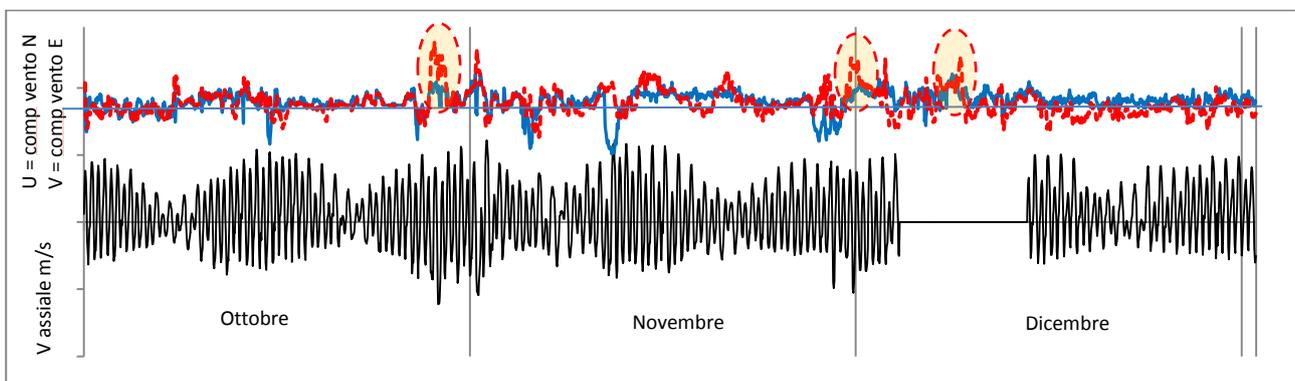


Fig. 5d - Velocità assiale (nero) e componenti Nord (rosso) ed Est (blu) del vento in Piattaforma – CNR (Quarto trimestre 2012)

## 6 Analisi del segnale di Backscatter

Oltre ai dati relativi alla velocità e direzione della corrente, l'ADCP rileva in continuo il segnale di *Backscatter*, cioè il segnale riflesso dal particolato in sospensione; attraverso un algoritmo particolare è in grado di attribuire ad ogni singola cella lungo la colonna d'acqua sovrastante lo strumento la "misura" di una grandezza in qualche modo proporzionale alla quantità di materiale sospeso, l'*Echo Intensity*.

In realtà, l'ADCP misura delle variazioni di *Echo Intensity* (EI), ma non è in grado di eseguire misure assolute che possano essere comparate con quelle di un altro ADCP. Per tale motivo per poter utilizzare i dati di *Echo Intensity* in funzione della stima del materiale sospeso (*Suspended Solid Concentration, SSC*) è necessario ricorrere all'individuazione di una correlazione tra i due parametri mediante l'esecuzione di prove e test di taratura (campionamenti e prove di laboratorio, profili ottici, profili di salinità e temperatura, ecc.) [4], [11].

Sebbene per tutto il 2012 non siano stati acquisiti tutti i parametri per la calibrazione della relazione che lega l'*Echo Intensity* alla quantità di particolato sospeso, e non sia quindi possibile esprimere alcun dato di concentrazione del materiale solido sospeso, si è proceduto comunque ad analizzare la serie dei dati di EI, una quantità comunque proporzionale, in una non definita misura, al particolato sospeso.

In particolare si propongono di seguito alcuni grafici per evidenziare la relazione esistente tra l'*Echo Intensity* e la velocità assiale della corrente e tra l'*Echo Intensity* e direzione ed intensità del vento.

### 6.1 Backscatter e velocità assiale della corrente

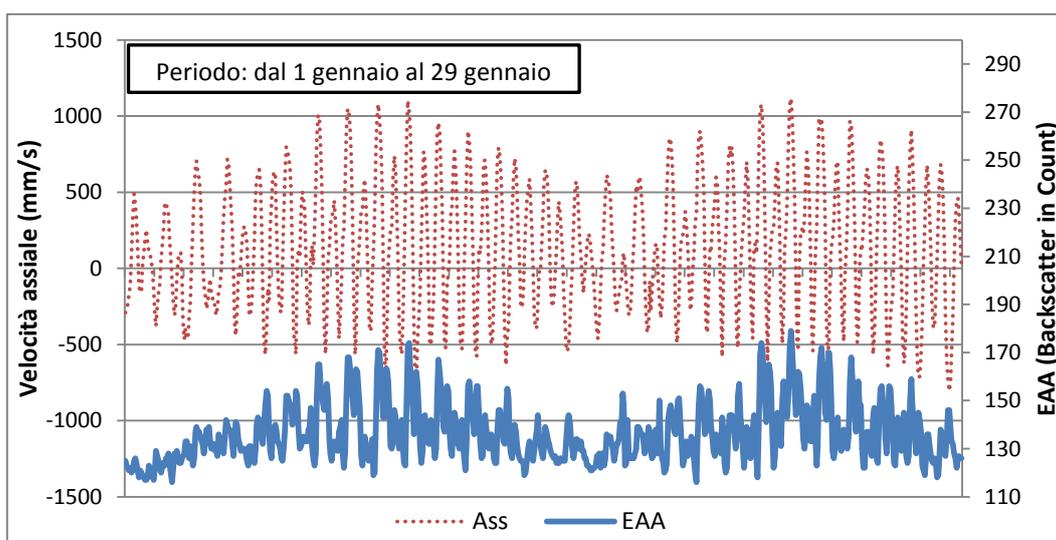


Fig. 6 - Grafico Echo Amplitude - velocità assiale (mm/s)

Il grafico in Fig. 6 riproduce una situazione "normale", dove in assenza di eventi ventosi intensi la velocità assiale della corrente è funzione del solo ciclo mareale semidiurno; in tale situazione i picchi massimi di *Echo Intensity* coincidono praticamente (salvo un leggero sfasamento, un leggero ritardo) con i picchi di velocità della corrente: maggiore è la velocità, maggiore è l'eco riflesso e maggiore sarà il particolato sospeso. Separando poi le velocità in ingresso (segno negativo, marea crescente) da quelle in uscita dalla laguna (segno positivo, marea calante) si evidenzia che la serie di picchi di eco corrispondente alla calante è generalmente superiore a quella corrispondente alla marea crescente: l'eco è mediamente maggiore in corrispondenza ai picchi di velocità uscenti dalla laguna, cioè in corrispondenza dell'approssimarsi dei livelli minimi di marea.

## 6.2 Backscatter e velocità del vento

L'intensità del segnale di *Backscatter* è correlata alla direzione e velocità del vento. In occasione degli eventi di Bora e Scirocco, proporzionalmente alla durata dell'evento e solo oltre una certa soglia di velocità (10 m/s), si registrano i più alti valori di *Echo Intensity*.

A titolo di esempio si riportano i grafici relativi a due diversi periodi nei quali si sono verificati eventi di Bora; in grafico sono riportati la velocità del vento (m/s) e l'intensità del segnale di *Backscatter*, come indice proporzionale alla quantità di materiale trasportato in sospensione.

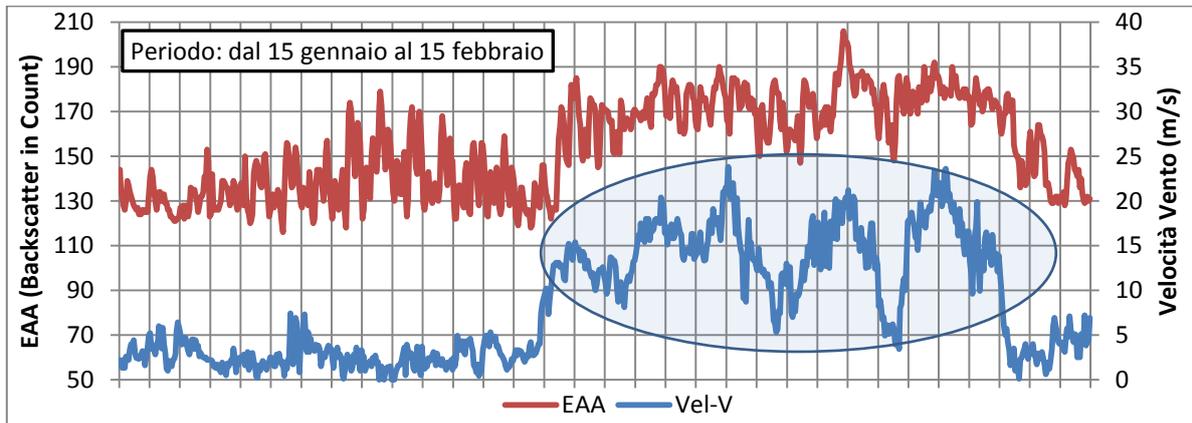


Fig. 7 - Velocità del vento ed Echo Amplitude in corrispondenza ad evento di Bora

Nella prima metà del grafico di Fig. 7, caratterizzato da venti inferiori ai 5 m/s, si può notare come il segnale di *Backscatter* EAA (la torbidità dell'acqua) sia ancora regolato dal ciclo della marea, con ciclicità semidiurna; nella seconda metà del grafico, in corrispondenza del verificarsi di un prolungato evento di Bora (durata praticamente ininterrotta per oltre 13 giorni e con intensità del vento in valori medi orari spesso oltre i 15 m/s), il segnale di *Backscatter* si innalza oltre la soglia dei 170 count e vi rimane fino al termine dell'evento, rendendo meno riconoscibile al suo interno l'influenza del ciclo mareale semidiurno.

Nel successivo grafico, relativo al periodo 16 febbraio – 17 marzo, si sono verificati due successivi eventi di Bora con intensità superiore ai 10 m/s, tutti però di durata inferiore alle 15 ore consecutive. Nell'andamento del segnale di *Backscatter* si riconosce un effetto "memoria" per cui, al termine dell'impulso di vento, la torbidità impiega anche una decina di giorni per tornare ai livelli precedenti all'evento ventoso.

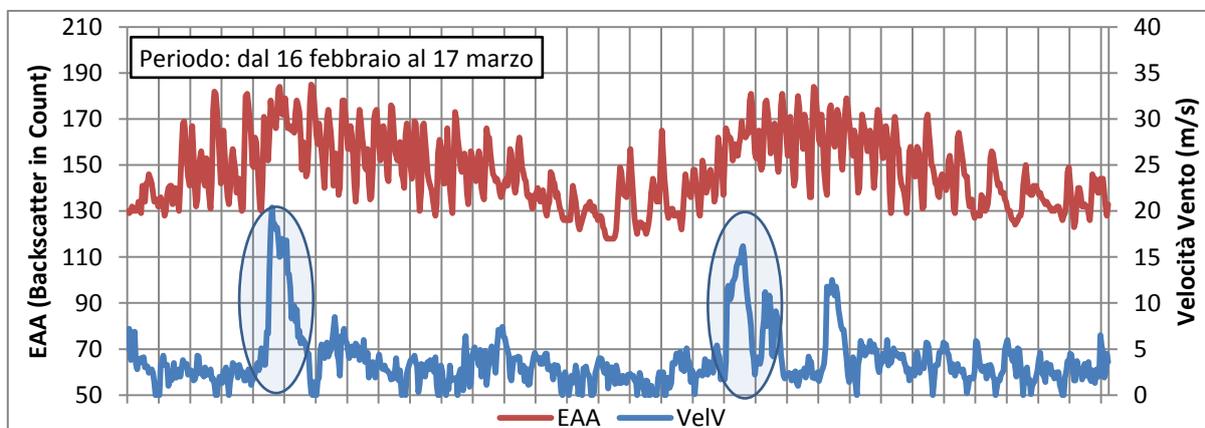


Fig. 8 - Velocità del vento ed Echo Amplitude in corrispondenza ad eventi di Bora

Si propone lo stesso tipo di analisi per gli eventi di Scirocco del novembre 2012.

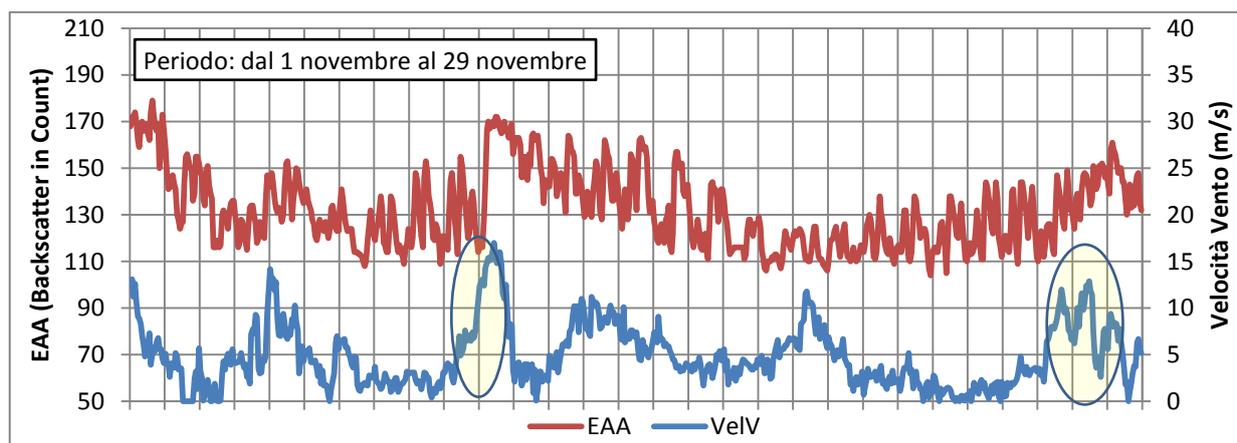


Fig. 9 - Velocità del vento ed Echo Amplitude in corrispondenza ad eventi di Scirocco

A parità di durata ed intensità degli eventi, i valori di *Echo Intensity* relativi ad episodi di Scirocco sembrano essere inferiori a quelli relativi ad eventi di Bora. Nel corso del 2012, gli eventi di Bora sono stati più numerosi, intensi e prolungati rispetto a quelli di Scirocco.

## 7 Incrocio dati ADCP fisso ed ADCP mobile

Sebbene dal 2007 a tutt'oggi, il CNR-ISMAR abbia proseguito le proprie campagne periodiche di rilievo e campionamento della corrente e del solido in sospensione alla bocca di Lido mediante uso di un ADCP mobile installato su imbarcazione, di profilatori ottici, di campionamenti ed analisi di laboratorio, l'incrocio dei dati ottenuti con quelli relativi all'ADCP fisso -ISPRA, di cui al presente rapporto, non è possibile.

La posizione dello strumento ISPRA installato sul fondale della bocca è tale infatti da essere rappresentativa solo di una particolare porzione della sezione, una zona dove in determinate condizioni di marea si instaurano anomalie del campo di corrente.

I transetti CNR sono stati eseguiti sempre lungo la stessa sezione, all'interno della quale nel periodo 2004-2007 era presente uno strumento ADCP fisso al fondo del CORILA, sezione non coincidente con la posizione dell'attuale strumento ISPRA; le reciproche posizioni sono evidenziate nella seguente Fig. 10 e le corrispondenti coordinate in Tab.8.

Point	Lat.	Long.
ADCP-ISPRA	45° 25,332138'	12° 25,408254'
A	45° 25,533830'	12° 25,847670'
B	45° 25,230300'	12° 25,432004'
ADCP-CORILA	45° 25,357490'	12° 25,590055'

Tab. 8 - Coordinate dei punti (Map Datum NAD83/WGS84)

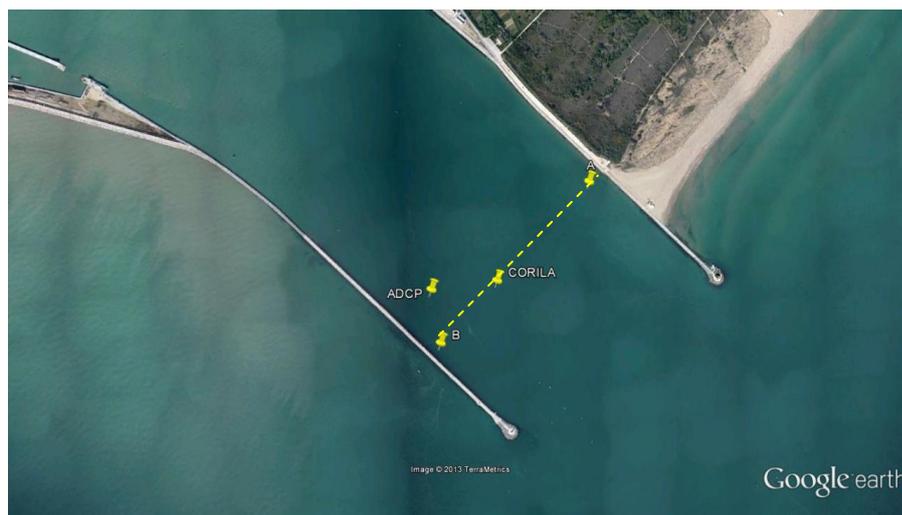


Fig. 10 - AB = traccia della sezione normalmente misurata con i transetti CNR-ISMAR;  
ADCP = posizione dello strumento fisso ISPRA; CORILA = posizione dello strumento fisso CORILA (2004-2007)

In Fig.11 sono visibili le tracce di esecuzione dei transetti (andata e ritorno) con indicati i vettori di velocità della corrente rilevata: risulta evidente come in condizioni di marea crescente (Fig. 13) i vettori di velocità nella maggior parte della sezione siano indirizzati NW (flusso in ingresso), mentre nella parte a ridosso del molo sud siano invece di minore entità ed indirizzati verso SE (flusso debole, in uscita).

In Fig. 12 si evidenzia la differenza delle velocità in ingresso (circa 0,9 m/s) nella preponderante parte della sezione ed in uscita (circa 0,15 m/s) nella porzione a ridosso del molo Sud.

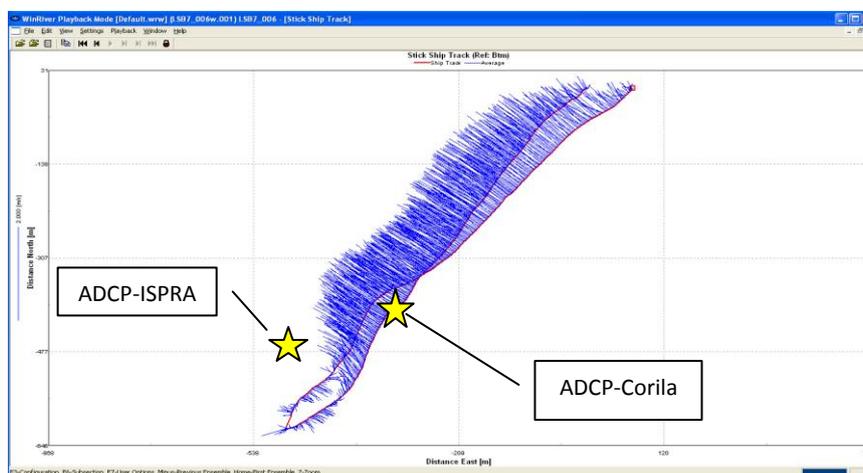


Fig. 11 - Transetti LSB7\_006 e LSB7\_007 (andata e ritorno), 28/10/2011, dalle ore 9:13 alle ore 9:29  
Traccia di rotta con vettori della corrente e posizione degli ADCP

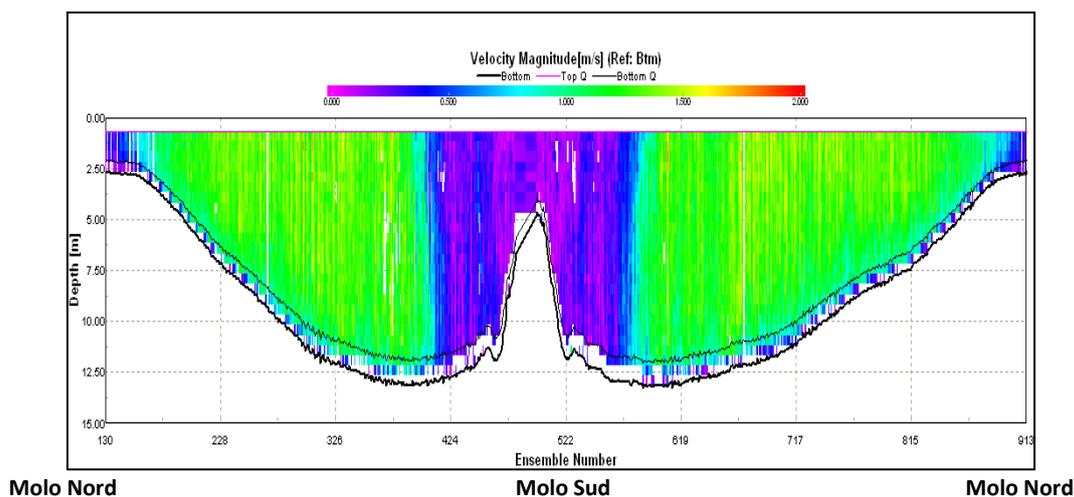


Fig. 12 - Transetti LSB7\_006 e LSB7\_007 (andata e ritorno), 28/10/2011, dalle ore 9:13 alle ore 9:29  
 Profilo di velocità della corrente

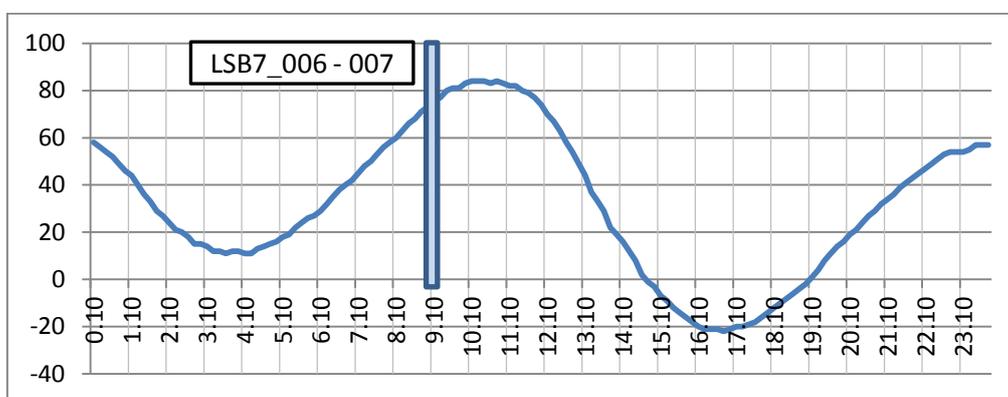


Fig. 13 - Andamento del livello di marea del 28/10/2011.  
 Transetto in andata e ritorno eseguito dalle ore 9:13 alle ore 9:29

Allo scopo di verificare comunque quanto il valore di velocità medio lungo la verticale sopra l'ADCP fisso possa essere "rappresentativo" del flusso di corrente nell'intera sezione, si è proceduto ad incrociare i dati provenienti dai due diversi strumenti: velocità media della sezione durante il transetto eseguito al tempo "t" vs velocità media sulla verticale dell'ADCP fisso nello stesso momento "t".

In funzione della data e dell'ora centrale dell'intervallo di tempo impiegato per la completa esecuzione del transetto (andata + ritorno) si è cercato nella serie temporale continua dell'ADCP fisso il corrispondente valore di velocità assiale media sulla verticale dello strumento.

Per risolvere l'indeterminatezza temporale dovuta alla non sincronizzazione degli orologi degli strumenti e la non perfetta coincidenza spaziale del sito-ADCP e del percorso del transetto si è proceduto ad incrociare il dato di velocità media di ogni transetto con la velocità dell'ADCP fisso mediata su un periodo di 50-60 minuti (5 -6 *Ensemble*) a cavallo dell'orario centrale del transetto stesso.

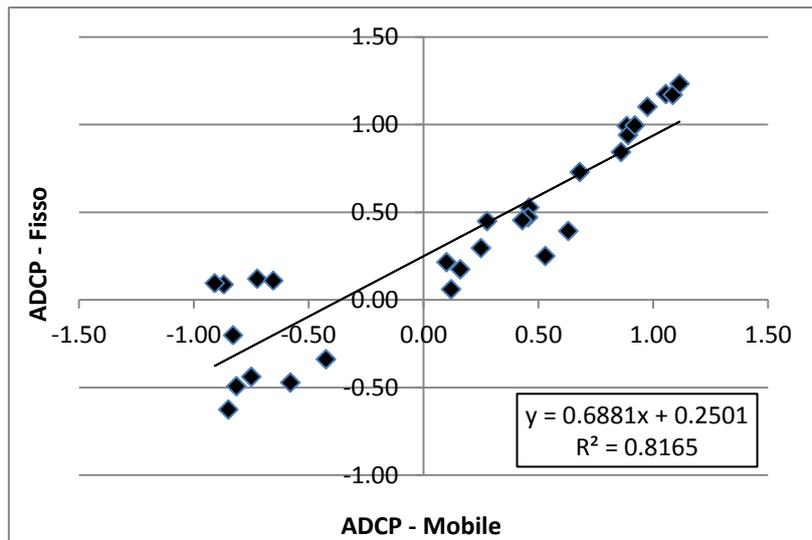


Fig. 14 - Velocità medie degli ADCP (dati completi) a confronto

Come prevedibile, la regressione lineare risultante (Fig. 14) ha un coefficiente di determinazione  $R^2$  relativamente scadente. Per migliorare la relazione tra le velocità medie dei due strumenti si è provveduto a filtrare i transetti individuando i peggiori, quelli responsabili di un così scarso coefficiente di determinazione. I 5 transetti eseguiti in fase di marea crescente che precedono di 1 – 1,5 ore il raggiungimento del massimo di marea, cui corrisponde peraltro una velocità media dell'ADCP fisso minore di 0,20 m/s, sono responsabili dello scarso risultato. L'eliminazione dalla serie di dati dei suddetti transetti conduce ad un significativo miglioramento del coefficiente di determinazione, che assume un valore pari a 0,9563 (Fig. 15).

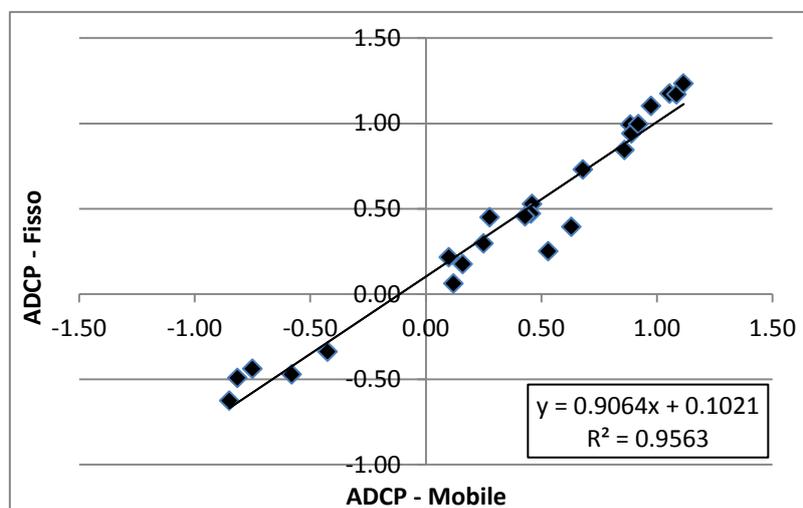


Fig. 15 - Velocità medie degli ADCP (dati filtrati) a confronto

I transetti scartati sono i seguenti (orari espressi in UT) :

LSB7\_006.PDO + LSB7\_007.PDO (Andata e ritorno del 28/10/2011, dalle ore 8:13 alle ore 8:28)  
 LSB7\_012.PDO + LSB7\_013.PDO (Andata e ritorno del 28/10/2011, dalle ore 8:59 alle ore 9:13)  
 L1B8\_037.PDO + L1B8\_038.PDO (Andata e ritorno del 01/08/2012, dalle ore 7:37 alle ore 7:52)  
 L1B8\_052.PDO + L1B8\_053.PDO (Andata e ritorno del 01/08/2012, dalle ore 9:26 alle ore 9:38)  
 L3B8\_000.PDO + L3B8\_001.PDO (Andata e ritorno del 27/02/2013, dalle ore 8:59 alle ore 9:17)

E' del tutto evidente che l'ADCP ISPRA, per la propria posizione, non può essere rappresentativo dei valori medi della sezione, almeno in determinati momenti (crescente di marea, all'approssimarsi del valore massimo), quelli in cui si instaurano moti anomali di corrente lungo una fascia di 150 - 180 m a ridosso del molo Sud, e si mantengono per periodi anche superiori ad 1,5 ore, con rallentamento, ed in qualche caso di inversione, del flusso idrico. Esaurita la fase di acquisizione dei dati utili alla definizione delle caratteristiche idrodinamiche dell'area a ridosso del molo sud, è stato programmato per il 2014 il riposizionamento dell'ADCP fisso lungo la sezione già indagata dal CNR-ISMAR in posizione utile alla rappresentatività dei valori medi dell'intera sezione della bocca di Lido.

## **8 Conclusioni**

La tecnica acustica ADCP si conferma una valida, economica ed ormai consolidata alternativa ai sistemi tradizionali di rilievo e monitoraggio per l'acquisizione di dati idrodinamici anche in ambienti caratterizzati da ampie sezioni di sbocco a mare, rendendo possibili l'acquisizione e l'elaborazione di lunghe serie temporali e spaziali di dati. La strumentazione si è dimostrata affidabile e robusta; sebbene sottoposta a condizioni ambientali non facili, ha consentito l'acquisizione in continuo di dati validi con una copertura pari al 98 % del periodo esaminato.

Grazie al monitoraggio in continuo è possibile raccogliere materiale per la caratterizzazione e la verifica delle diversità idrodinamiche che si instaurano all'interno della bocca di Lido al variare delle condizioni di marea, elementi conoscitivi necessari per lo sviluppo ed il miglioramento delle applicazioni modellistiche e previsionali.

Il flusso idrico all'interno della sezione della bocca di Lido, infatti, assume caratteristiche diverse nelle due fasi di marea crescente e calante: più regolare in uscita (marea calante), sia nell'angolo di direzione che nella distribuzione delle velocità, con passaggio graduale dai valori minimi verso quelli massimi, più irregolare e variabile in entrata (marea crescente), sia nelle direzioni che nel passaggio tra velocità minime e massime. La maggiore irregolarità del flusso in fase di marea crescente si concretizza nell'instaurarsi di una vera e propria controcorrente lungo una fascia di 150 - 180 m a ridosso del molo sud della bocca. Tale fenomeno è da imputarsi a moti anomali del flusso di corrente che si instaurano in prossimità dello sbocco a mare dei moli a causa dell'influenza delle predominanti correnti marine lungo la costa occidentale dell'alto Adriatico. I valori di velocità della corrente presso la bocca di Lido sono più regolari e contenuti durante le fasi di marea calante ( $V$  assiale max 1,4 m/s) con flusso in uscita dalla bocca. Sotto l'influenza dei venti, in particolare durante gli eventi di Bora (venti dal quadrante di NE, con velocità del vento superiore ai 10 m/s), il flusso in marea crescente diventa più irregolare ed intenso ( $V$  assiale max 2,0 m/s).

L'uso congiunto delle diverse tecniche applicative dei profilatori acustici ADCP, fissi al fondo di un corpo idrico od in configurazione mobile, opportunamente integrato da operazioni di taratura mediante ricorso a profili ottici, fisico-chimici, campionamenti e prove di laboratorio, può fornire lunghe serie continue di dati relativi anche al trasporto solido in sospensione, consentendo così la stima di bilancio solido in sospensione, oltre che idrico.

La ripetibilità e l'economicità delle applicazioni della tecnica acustica possono consentire la realizzazione di un sistema integrato di monitoraggio delle caratteristiche di regime idrico e solido sospeso che, se esteso a tutte e tre le bocche lagunari (Lido, Malamocco e Chioggia), può costituire un importante strumento per il controllo dell'evoluzione idrodinamica e morfodinamica dell'intera laguna di Venezia e dei singoli sottobacini, ciò in funzione più generale di contributo alla difesa e gestione dell'ambiente lagunare a fronte dei mutamenti sia naturali che indotti dalla realizzazione di grandi opere.

## **Bibliografia**

- [1] - APAT, 2004. Progetto di ricerca a Venezia. La misura del trasporto solido laguna-mare. IdeAmbiente, Anno I, Numero 7, 23-24.
- [2] - CORILA, 2009. La misura del trasporto solido laguna mare, relazione finale. CORILA Editore, Venezia.
- [3] - Costa F., Meneghin M., Ruggeri R., Simionato F., Zamperoni G., Zaggia L., 2003. Risultati delle attività preliminari di prova e calibrazione del profilatore ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) utilizzato in laguna di Venezia. Nota tecnica N. 196, CNR-ISMAR, Venezia, p. 26.
- [4] - Defendi V., Kovacevic V., Arena F., Zaggia L., 2010 . Estimating sediment transport from acoustic measurements in the Venice Lagoon inlets. Continental Shelf Research 30, pp 883-893.
- [5] - Ferrarin C., Cucco A., Umgiesser G., Bellafiore D., Amos C.L., 2010. Modelling fluxes of water and sediment between Venice Lagoon and the sea. Continental Shelf Research 30, pp. 904-914.
- [6] - Rolinski S., Umgiesser G., 2005 Modelling short-term dynamics of suspended particulate matter in Venice Lagoon, Italy. Estuarine, Coastal and Shelf Science 63, pp 561-576.
- [7] - Teledyne RD Instruments, 1996. Acoustic Doppler Current Profiler - Principles of Operation – A Practical Primer. Technical Manual P/N 951-6069-00, Teledyne RD Instruments, Poway, CA, p.52.
- [8] - Teledyne RD Instruments, 2007. WorkHorse Monitor/Sentinel User's Guide. Technical Manual P/N 957-6228-00, Teledyne RD Instruments, Poway, CA, p.52.
- [9] - Teledyne RD Instruments, 2007. WinRiver II Quick Start Guide. Technical Manual P/N 957-6230-00, Teledyne RD Instruments, Poway, CA, p.44.
- [10] - Teledyne RD Instruments, 2009. WinADCP User's Guide. Technical Manual P/N 957-6158-00, Teledyne RD Instruments, Poway, CA, p.26.
- [11] – U.S. Dep. of Interior – U.S. Geological Survey, 2006. Use of an ADCP to Compute Suspended-Sediment Discharge in the Tidal Hudson River, New York. Scientific Investigation Report 2006-5055, VI, p.16.
- [12] - Zaggia L., Costa F., Simionato F., Ferla M., Baldin G., 2003. Misure di trasporto alla bocca di porto di Lido. Nota tecnica N. 257, CNR-ISMAR, Venezia, p.35.