

Contratto prot.n. 31572 si/gce/fbe

RAPPORTO DI VALUTAZIONE

Periodo di riferimento: da inizio lavori a dicembre 2005

F. Costa, V. Defendi, L. Zaggia (CNR-ISMAR)

G. Gelsi, F. Arena, V. Kovačević, P. Mansutti, R. Malfassi (OGS)

Area: Matrice acqua

31 gennaio 2006

Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca inerenti il Sistema Lagunare di Venezia Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Supervisore macroattività Supervisore macroattività Responsabile d'Area Approvazione

Dott. Milosav Gacic

Prof. Luca Zaggia

Prof. Giampaolo Di Silvio Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

1 Introduzione	3
2 Problematiche inerenti la misura della risospensione di sedimenti	4
3 Campagne di misura	7
4 Tipologie di scavo esaminate	8
4.1 Draga a benna	8
4.2 Draga idrorefluente	16
4.3 Draga idrorefluente a sfioro	24
5 Considerazioni finali	69
6 Bibliografia	72

1 INTRODUZIONE

Tutte le attività di dragaggio causano un impatto ambientale poiché determinano variazioni della morfologia locale, attraverso cambiamenti della topografia dei fondali, sia nell'area interessata dallo scavo che nell'area destinata alla ricollocazione del materiale dragato. Vi sono, poi, una serie di effetti, direttamente connessi alla conduzione stessa delle attività di cantiere, che comprendono principalmente l'aumento della torbidità lungo la colonna d'acqua, il potenziale disturbo del comparto biotico, il possibile rilascio di contaminanti durante lo scavo, il rumore prodotto dagli impianti e l'impatto visivo dei natanti impegnati nello scavo. È necessario, dunque, che ogni progetto di dragaggio sia preceduto da uno studio dettagliato, che stabilisca le condizioni ambientali esistenti nell'area di intervento, identifichi gli impatti potenziali degli interventi a breve e lungo termine, fornisca una base di dati da cui partire per il monitoraggio delle attività di scavo e proponga dei metodi per ridurre a livelli accettabili gli impatti.

L'effetto certamente più immediato del dragaggio è l'aumento della risospensione di sedimenti lungo la colonna d'acqua. La sua intensità dipende dalle condizioni idrodinamiche e dalla qualità dell'acqua nell'area di scavo, dal tipo di suolo dragato e dalle modalità di dragaggio adottate. È importante sottolineare che è impossibile stabilire in modo esatto il tasso e le modalità di rilascio nella colonna d'acqua di particellato solido in sospensione (SPM) durante un'operazione di dragaggio come pure gli effetti ecologici derivanti dall'aumento della risospensione di sedimento. Per la complessità dei processi che intervengono in questo particolare ambito, prima di affrontare uno studio, è necessario definire un programma di monitoraggio delle attività in sincronia con le operazioni di scavo ed in grado di consentire l'acquisizione di un numero adeguato di misure affidabili, sufficienti a tracciare in modo dettagliato il percorso del pennacchio di sedimenti prodotto e la sua evoluzione nel tempo. Inoltre, il programma di monitoraggio sono realistiche e garantiscono un livello adeguato di protezione all'ambiente. In generale, è preferibile applicare un approccio precauzionale, che, però, dovrà essere supportato e validato dai dati sperimentali acquisiti.

2 PROBLEMATICHE INERENTI LA MISURA DELLA RISOSPENSIONE DI SEDIMENTI

Nell'ambito dei monitoraggi delle attività di dragaggio è necessario affrontare una serie di difficoltà oggettive, legate non soltanto alla scelta di un metodo di misura con un'adeguata risoluzione spaziale e temporale, ma anche all'impossibilità di determinare esattamente, attraverso le misure sperimentali, il tasso di rilascio di sedimenti nella colonna d'acqua in corrispondenza della draga. La zona di dragaggio vera e propria, in cui è collocata la "sorgente vera" di rilascio del sedimento, non può essere campionata sia per ragioni di sicurezza che per questioni legate alla qualità della misure stesse. Qualora fosse possibile avvicinarsi molto alla draga, i dati raccolti sarebbero comunque scarsamente affidabili, in quanto disturbati dalla turbolenza generata dalla draga durante le operazioni di scavo. In quest'area i processi che guidano lo sviluppo del pennacchio di torbida sono dominati dalla caduta, lungo la colonna d'acqua, di ammassi di sedimento, che impediscono la deposizione di tutte le altre particelle meno grossolane.

Ai bordi della zona di dragaggio è, comunque, generalmente possibile definire una "sorgente pratica" di rilascio del sedimento e seguire il comportamento del pennacchio di sedimenti, che dalla zona di dragaggio si muove, trasportato dalla corrente, dal "campo vicino", ancora controllato dalle modalità del rilascio e dove si depositano le particelle più grossolane verso il "campo lontano", esclusivamente controllato dall'idrodinamica ambientale e in cui le particelle più fini restano in sospensione più a lungo, finché la velocità dell'acqua si riduce fino a consentirne la deposizione (Figura 2.1).





In altre parole, l'evoluzione del pennacchio di materiale sospeso passa, in molti casi, da un comportamento dinamico ad uno passivo, anche se tipicamente questo passaggio avviene in presenza di rilasci di sedimenti caratterizzati da concentrazione e volumi elevati. La durata delle diverse fasi di sviluppo può variare in funzione di diversi fattori, tra cui la concentrazione iniziale del materiale rilasciato lungo la colonna d'acqua, la distribuzione granulometrica del particellato

TORBIDITÀ-RAPPORTO VALUTAZIONE

solido in sospensione, il volume del materiale sospeso, la profondità dell'acqua e le condizioni idrodinamiche dell'area interessata dalle attività di dragaggio.

Non potendo quantificare la "sorgente vera" di sedimento in sospensione, si può comunque campionare in più punti del campo vicino, per avvicinarsi il più possibile alla "sorgente pratica" ed estrapolare dalla curva di decadimento una stima del "rilascio virtuale".



Figura 2.2. Collocazione delle zone di misura lungo la curva di decadimento del pennacchio di sedimenti (*Fonte*: HR Wallingford and DRL, 2003).

Con riferimento alla Figura 2.2, le zone di misura lungo la curva di decadimento sono sostanzialmente tre: la Zona A, corrispondente alla zona di dragaggio, in cui non è possibile acquisire informazioni affidabili a causa della macroturbolenza creata dalle operazioni ed accedere all'area di scavo per problemi di sicurezza; la Zona B, cioè il tratto iniziale del "campo vicino", dove è possibile acquisire dati validi, avvicinarsi alla "sorgente pratica" e distinguere i diversi meccanismi di rilascio del materiale; e la Zona C, che si estende fino alla fine del "campo lontano", in cui si possono ottenere misure realistiche, ma non analizzare i meccanismi di rilascio (Figura 2.2).

La probabile estensione limitata del pennacchio nella Zona B limita la scelta dell'approccio sperimentale più adatto in termini di risoluzione spaziale e temporale. Soprattutto in ambienti molto dinamici è fondamentale acquisire un numero elevato di misure, sia di velocità della corrente che di concentrazione, che siano rappresentative dell'estensione del pennacchio di sedimenti e della sua evoluzione nel tempo. Le misure di tipo puntuale, basate per esempio sulla raccolta di campioni d'acqua in stazioni prestabilite, non sono particolarmente adatte a questo tipo di studi, perché hanno una scarsa risoluzione spaziale e temporale. Viceversa, l'impiego di profilatori acustici ad effetto Doppler (ADCP) montati su imbarcazione consente di acquisire contemporaneamente misure di velocità della corrente e di intensità di *backscattering* acustico da cui è possibile stimare la concentrazione del particellato solido in sospensione con un'elevata risoluzione [Land and Bray, 2000; Puckette, 1998; Reine *et al.*, 2002; Tubman and Corson, 2000]. Quest'ultima dipende dalle caratteristiche tecniche dello strumento, dalla configurazione impostata dall'operatore e dalla velocità dell'imbarcazione su cui lo strumento è montato. Nel caso specifico del presente studio, la risoluzione verticale, cioè la dimensione delle celle verticali in cui il

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

segnale acustico viene suddiviso, è pari a 0.50 m, mentre la risoluzione orizzontale, cioè la distanza tra l'acquisizione di una verticale e la successiva, è di circa 1 m.

Il limite principale della metodologia consiste nell'impossibilità di acquisire dati in alcune zone, dette di *blanking*, nelle quali il profilatore acustico non è in grado di effettuare le misure a causa di effetti secondari legati ai principi di funzionamento dello strumento stesso e a fenomeni di riflessione spuria in corrispondenza del fondo.

Nelle zone di blanking le informazioni vengono ottenute integrando i dati acustici con misure dirette della torbidità lungo la verticale, oppure estrapolando i dati misurati alle zone di blanking. Quest'ultima operazione può essere fatta in modo automatico all'interno del software di acquisizione e/o dal software [Sediview, Dredging Research Ltd, 2003] utilizzato per convertire i dati di backscattering in stime della concentrazione di SPM attraverso la calibrazione con le misure di concentrazione del particellato solido in sospensione, determinate nei campioni d'acqua, raccolti durante l'esecuzione dei transetti ADCP [Land and Bray, 2000]. Le informazioni così ottenute sono utilizzabili per la valutazione dei flussi e delle concentrazioni totali, ma non consentono una ricostruzione spaziale della morfologia del pennacchio di sedimenti alle quote corrispondenti. Questa limitazione è tuttavia importante solo per le zone più prossime all'attrezzo di scavo, dove il pennacchio di sedimenti è soggetto ad un'evoluzione piuttosto rapida, a causa dell'immediata sedimentazione del materiale più grossolano.

Un'ulteriore limite è costituito dalla presenza di grosse quantità di bolle d'aria nell'intorno della zona di scavo. L'eco delle bolle d'aria limita significativamente l'operatività della strumentazione acustica ai fini della conversione dei dati del *backscattering*. Si osserva tuttavia che tale limitazione condiziona anche le misure condotte con la strumentazione ottica.

3 CAMPAGNE DI MISURA

Nell'ambito del monitoraggio delle attività di scavo per la costruzione delle opere alle bocche di porto della laguna di Venezia sono stati sinora investigati gli effetti ambientali di tre tipologie di draga: draga a benna, draga idrorefluente e draga idrorefluente a sfioro. La Tabella 3.1 elenca le campagne di misura eseguite da CNR-ISMAR e da OGS, specificando la bocca di porto interessata dallo scavo, il tipo di draga impiegato nello scavo ed il tipo di campagna effettuata.

Bocca di Porto	Data	Tipo draga	Tipo campagna	Esecutore
Chioggia	24-26/08/2004	Benna	monitoraggio	CNR-ISMAR
Chioggia	27/09-01/10/2004	Benna	monitoraggio	CNR-ISMAR
Lido Treporti	17-21/01/2005	Idrorefluente	monitoraggio	CNR-ISMAR
Malamocco	19/05/2005	Idrorefluente a sfioro	calibrazione modello	CNR-ISMAR
Lido S. Nicolò	30-31/05/2005	Idrorefluente a sfioro	calibrazione modello	CNR-ISMAR
Lido S. Nicolò	14-15/06/2005	Idrorefluente a sfioro	monitoraggio	CNR-ISMAR
Lido S. Nicolò	16/06/2005	Idrorefluente a sfioro	calibrazione modello	CNR-ISMAR
Lido S. Nicolò	18-22/07/2005	Idrorefluente a sfioro	monitoraggio	OGS
Lido S. Nicolò	13-16/09/2005	Idrorefluente a sfioro	monitoraggio	OGS

Tabella 3.1. Elenco delle attività sperimentali sinora eseguite nell'ambito del progetto di monitoraggio delle opere di scavo alle bocche di porto della Laguna di Venezia.

Le singole attività di misura hanno presentato gradi diversi di difficoltà sia a causa delle condizioni sperimentali che della scelta dello schema di campionamento più adatto a monitorare le operazioni di scavo della specifica tipologia di impianto. La scarsa disponibilità di bibliografia inerente l'impiego di strumentazione acustica per il monitoraggio di attività di dragaggio ha reso necessaria un'indagine preliminare per ottimizzare la metodologia sperimentale adottata in funzione della tipologia di scavo, dell'estensione spaziale dell'area interessata dallo scavo e dei cicli di lavoro dei cantieri. A questi vincoli operativi si sovrappone la disponibilità degli operatori addetti al dragaggio, che risulta fondamentale non solo durante l'esecuzione delle misure, ma anche nelle fasi di analisi ed interpretazione dei dati raccolti, la cui significatività è condizionata dal numero di informazioni disponibili sul ciclo e le modalità di dragaggio.

Per ognuna delle tre tipologie di dragaggio esaminate, viene di seguito riportata una sezione in cui, oltre alla descrizione del ciclo di scavo e degli effetti ambientali descritti dalla letteratura tecnica, vengono riassunte le principali considerazioni ottenute sulla base delle elaborazioni e analisi dei dati acquisiti nel corso delle campagne di misura.

4 TIPOLOGIE DI SCAVO ESAMINATE

Le informazioni qui riferite in merito alle modalità di scavo ed al loro impatto ambientale nel caso delle tre tipologie di draga monitorate (draga a benna, draga idrorefluente e draga idrorefluente a sfioro) sono tratte da Bray *et al.* [1997].

4.1 Draga a benna

La draga a benna è sicuramente la più semplice fra le tipologie investigate. È costituita da un pontone su cui è montata una gru il cui braccio aziona la benna (Figura 4.1.1).



Figura 4.1.1. Rappresentazione schematica della draga a benna [Bray et al., 1997].

La draga a benna può essere dotata di tramoggia per il carico ed il trasporto del sedimento dragato, riducendo in questo modo le pause durante il ciclo di scavo. Se la draga non è dotata di tramoggia, come nel caso delle imbarcazioni operanti durante le campagne di monitoraggio alla bocca di porto di Chioggia, il sedimento dragato viene caricato su chiatte di appoggio, che, in seguito, trasportano il materiale nell'area di destinazione.

L'impiego di questa tipologia di draga ha diversi vantaggi:

- rispetto ai metodi di dragaggio idraulico il disturbo del fondale è minimo ed il materiale asportato non viene diluito, quindi il vano di carico può contenere una maggiore quantità di sedimento;
- ✓ rispetto ai metodi di dragaggio idraulico l'utilizzo della benna risulta più agevole se sul fondale sono presenti massi, ciottoli, rifiuti o detriti. Questi materiali, comunque, potrebbero creare problemi di chiusura ed apertura della benna, per cui, in genere, si dovrebbe predisporre un'attività di prescavo per ripulire il più possibile il fondale e consentire lo scavo in condizioni di operatività ottimali;

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

- ✓ la draga a benna è particolarmente adatta a scavare in aree confinate e non particolarmente estese;
- ✓ con la draga a benna è possibile scavare ad una profondità non raggiungibile da altri tipi di draga di simile stazza, in quanto la profondità a cui può operare è limitata solo dalla capacità del tamburo del verricello, che aziona il cavo usato per recuperare la benna;
- ✓ il pescaggio del pontone è in genere basso, per cui la draga può lavorare in acque basse;
- ✓ la draga a benna è particolarmente adatta a scavare sezioni strette.

Esistono, comunque, anche alcuni svantaggi nell'impiego di questa tipologia di draga:

- ✓ il tasso di produzione di materiale dragato è relativamente basso rispetto ad altre metodologie di scavo, perché limitato dalla capacità di carico della benna;
- ✓ non è particolarmente adatta ad operazioni di livellamento accurato del fondale, per cui, soprattutto nel caso di suoli coesivi, può essere necessario dragare una quantità piuttosto consistente di materiale;
- ✓ la combinazione dei due punti precedenti può risultare in costi elevati, in particolare qualora venga richiesto di rimuovere uno strato sottile di sedimento in un'area vasta.

Il ciclo di produzione di una draga a benna è piuttosto semplice e consiste nello spostamento della benna sulla superficie dell'acqua, la calata della benna in acqua, la chiusura della benna sul fondo, il sollevamento della benna e lo scarico del materiale nella tramoggia o nella chiatta di appoggio. La durata media del ciclo non varia in modo significativo per un dato tipo di scavo ad una data profondità, mentre la percentuale di riempimento della benna può variare considerevolmente.

Considerando il ciclo produttivo descritto, le principali fonti di rilascio di sedimento nella colonna d'acqua sono dovute all'impatto della benna sul fondale sia durante lo scavo che nella fase iniziale di distacco dal fondo; alla fuoriuscita di materiale dalla benna durante il sollevamento (nel caso in cui la tenuta della benna non sia perfettamente stagna); al distacco di sedimento dalla superficie esterna della benna durante il recupero o l'immersione in acqua ed alla perdita di sedimento durante il trasferimento del materiale dragato sulla chiatta di appoggio.

In base a questi meccanismi di rilascio il pennacchio di sedimenti creato da una draga a benna dovrebbe, dunque, essere costituito da una nuvola di sedimento risospeso vicino al fondo, da un pennacchio colonnare, esteso lungo la verticale e dovuto al materiale rilasciato durante il recupero della benna, e da un pennacchio superficiale, formato dal sedimento perduto dalla draga all'uscita dall'acqua e durante lo spostamento verso la chiatta. Poiché lo scavo ha un andamento discontinuo, risulta molto difficile vedere contemporaneamente le tre principali componenti della risospensione descritte sopra e, quindi, in un dato punto a valle della draga il pennacchio varierà in modo continuo sia nella posizione lungo la colonna d'acqua che nella concentrazione.

4.1.1 Sintesi dei risultati dell'attività di monitoraggio della draga a benna

Le indagini effettuate alla bocca di Porto di Chioggia hanno consentito di investigare l'impatto delle attività di scavo condotte mediante l'uso della draga a benna. Data la scarsa disponibilità di informazioni tecniche sulla conduzione del monitoraggio ambientale di questo tipo di impianto, queste due campagne preliminari sono servite per mettere a punto la strategia di campionamento, basata sull'impiego del correntometro acustico ADCP, più adatta a quantificare i fenomeni di

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

rilascio di sedimenti, connessi al ciclo di lavoro di queste draghe. Le imbarcazioni attive in campo erano impegnate in due tipi di operazioni: il prescavo per la rimozione dei materiali ferrosi e la bonifica bellica dell'area del canale navigabile e lo scavo vero e proprio. Quest'ultimo era finalizzato allo spostamento dell'asse del canale navigabile per consentire la deviazione del traffico verso sud, evitando le interferenze con la scogliera del porto rifugio in fase di realizzazione in corrispondenza del molo nord (Consorzio Venezia Nuova 2005).

Le condizioni sperimentali in cui si è svolto il monitoraggio erano diverse sia dal punto di vista idrodinamico che del numero di imbarcazioni impegnate nelle operazioni di scavo. Durante la prima campagna (24-26 Agosto 2004), eseguita in condizioni di quadratura, erano presenti tre draghe, di cui una (BRUNO S.) impegnata nello scavo e le altre due (GEMINI e S. MARTINO) nelle attività di prescavo. Invece, nel caso della seconda campagna di monitoraggio (27 Settembre-01 Ottobre 2004), effettuata in condizioni di sizigie, la situazione logistica in campo era più complessa, in quanto il numero di draghe operanti per lo scavo (BRUNO S. e PALMIRO Z.) ed il prescavo (GEMINI, GEMINI e CAVOUR) variava non solo da un giorno all'altro, ma anche nel corso della stessa giornata. In entrambe le campagne, però, sono state utilizzate le stesse tipologie di draga a benna, classificate, in base al tipo di benna, in bivalve di tipo idraulico (capacità = 4-6 m³) per il dragaggio vero e proprio ed a grappo (capacità = 4 m³) per il prescavo e la rimozione dei materiali ferrosi. In base alle capacità sopra riportate, le draghe impiegate a Chioggia, di cui sono riportate alcune immagini in Figura 4.1.1.1, rientrano fra quelle maggiormente usate nell'ambito di opere di scavo di dimensioni limitate.

Lo schema di monitoraggio, adattato il più possibile agli orari di presenza delle draghe in campo, si è basato sull'acquisizione di transetti ADCP nelle seguenti modalità:

- ✓ a monte della zona di scavo, rispetto alla direzione della corrente, per definire la concentrazione ambientale;
- ✓ a valle della zona di scavo, per determinare il livello di risospensione dovuto al dragaggio;
- ✓ lungo percorsi circolari centrati sulla draga, per investigare l'andamento delle concentrazioni di particellato solido in sospensione in prossimità del punto di scavo.





(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4.1.1.1. (a) La draga a benna GEMINI. (b) La draga a benna CAVOUR. (c) La draga a benna PALMIRO Z. (d) La draga a benna BRUNO S.

La distribuzione delle concentrazioni del particellato solido sospeso nei transetti eseguiti a valle della draga in entrambe le campagne evidenzia come, generalmente, il materiale risospeso sia distribuito lungo tutta la colonna d'acqua in maniera pressoché uniforme. La predominanza di questa struttura del pennacchio e la discontinuità dello scavo non consentono di individuare le altre due componenti della risospensione, cioè la maggiore concentrazione (il pennacchio) sul fondo, causata dall'impatto della benna sullo strato di sedimento, come pure la maggior contrazione superficiale, generata dalla dispersione di sedimento durante la fase di recupero del materiale dragato.

Il destino del sedimento risospeso dipende principalmente dal tipo di materiale scavato (cioè dalla diversa velocità di sedimentazione) e dall'idrodinamica. In condizioni di marea di sizigie si è osservato come una parte consistente del materiale risospeso venga rapidamente allontanata dalla zona di scavo, per cui la concentrazione del pennacchio decade rapidamente in direzione longitudinale. Anche la dispersione trasversale tende a ridursi con velocità della corrente più elevate. Se le velocità della corrente sono, invece, relativamente basse, come per esempio in quadratura, il materiale risospeso non viene trasportato a grande distanza dalla zona di scavo, mentre il pennacchio tende ad essere più stretto.

A questo proposito, la Figura 4.1.1.2 riporta l'andamento della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due transetti acquisiti, verso la metà del crescente di marea in condizioni di sizigie, durante la seconda campagna di monitoraggio a Chioggia. Nonostante i due transetti siano stati eseguiti ad un quarto d'ora di distanza l'uno dall'altro, si possono notare delle evidenti differenze, dovute alla diversa distanza dalla zona di scavo, sia per i valori massimi di concentrazione raggiunti sia per la distribuzione del materiale risospeso.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(a)



(b)

Figura 4.1.1.2. Distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due transetti acquisiti alla bocca di Porto di Chioggia il giorno 29 Settembre 2004 (a) dalle ore 06:14 alle ore 06:19 (UT) a circa 400 m e (b dalle ore 06:29 alle ore 06:34 (UT) a circa 700 m) a valle dell'area di scavo. La velocità assiale media lungo i due transetti è pari a -0.90 m/s.

Il primo transetto (Figura 4.1.1.2a), eseguito a circa 400 m dall'area di dragaggio, è caratterizzato da concentrazioni massime di 90 mg/l ed il sedimento rilasciato si distribuisce lungo tutta la colonna d'acqua, pur evidenziando un allargamento della struttura colonnare verso il fondo. Nel caso del transetto acquisito a circa 700 m di distanza dalla zona di scavo (Figura 4.1.1.2b), invece, si raggiungono valori massimi di concentrazione pari a 32 mg/l al fondo e la nuvola di materiale in sospensione è maggiormente dispersa e non è più distribuita lungo tutta la verticale, ma è spostata

TORBIDITÀ-RAPPORTO VALUTAZIONE

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

verso il fondo assumendo una morfologia a "duomo". Il confronto tra i flussi solidi (in kg/s) corrispondenti all'area interessata dal pennacchio di materiale risospeso mette maggiormente in evidenza la differenza tra i due transetti in termini di effetto dello scavo in funzione della distanza dalla zona operativa della draga. Questi flussi sono stati calcolati come differenza tra la stima del flusso solido in una fascia di larghezza pari a 50 m centrata sul massimo di concentrazione all'interno del pennacchio di sedimenti e la stima del flusso naturale in una fascia dello stesso transetto di pari dimensioni, ma non perturbata dalla risospensione dovuta alle operazioni di dragaggio. I valori ottenuti dimostrano che il flusso solido a 700 m dalla draga (-6.2 kg/s per la Figura 4.1.1.2b) si riduce ad un terzo di quello ricavato nel caso del transetto più vicino al punto di scavo (-18.6 kg/s per la Figura 4.1.1.2a).

Il rapido decadimento del materiale in sospensione è in relazione alla elevata velocità della corrente idrica. La velocità assiale media registrata nei due transetti era, infatti, pari a -0.9 m/s e, quindi, sufficientemente elevata da favorire un trasporto rapido del sedimento dragato lontano dall'area di scavo. Poiché lo scavo era condotto da due imbarcazioni affiancate nella stessa cella, si dovrebbero vedere due pennacchi distinti, derivanti dall'attività delle singole draghe. Tuttavia, ciò non si verifica, perché le operazioni delle due imbarcazioni non erano sincronizzate e, quindi, la distribuzione osservata è il risultato della combinazione dei singoli contributi.

I transetti eseguiti nel corso della prima campagna di monitoraggio sono caratterizzati, in generale, da valori di concentrazione di SPM inferiori rispetto a quelli della campagna successiva, probabilmente a causa della minore intensità delle operazioni di scavo. La Figura 4.1.1.3 mostra l'andamento della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due transetti eseguiti il 24 Agosto 2004, lungo la stessa sezione del canale di bocca, con marea di quadratura. Il primo transetto (Figura 4.1.1.3a), acquisito in marea crescente e caratterizzato da una velocità media assiale pari a -0.3 m/s, evidenzia un pennacchio centrale di materiale risospeso piuttosto largo, all'interno del quale il valore massimo di concentrazione è di circa 13 mg/l. Nel caso del transetto di Figura 4.1.1.3b, effettuato a circa mezz'ora dalla fine dello scavo durante la fase di inversione della marea, si nota come le concentrazioni massime all'interno della nuvola di materiale risospeso siano solo leggermente inferiori rispetto a quelle precedentemente osservate (Figura 4.1.1.3a), mentre la struttura del pennacchio si presenta più dilatata verso il fondo e non più distribuita sull'intera colonna d'acqua in seguito alla progressiva deposizione del materiale sospeso.

Le velocità della corrente e quindi le condizioni di marea, sia il ciclo sizigie/quadratura che il ciclo semidiurno e la combinazione di queste con il ciclo di lavoro del cantiere, hanno, pertanto, un ruolo fondamentale nella dispersione del materiale rilasciato dalle operazioni di scavo della draga a benna.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(a)



(b)

Figura 4.1.1.3. Distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due transetti acquisiti alla bocca di Porto di Chioggia il giorno 24 Agosto 2004 lungo la stessa sezione del canale di bocca.
(a) Orario: 06:00-06:06 (UT). Distanza dal centro della cella di scavo: 230 m. Velocità assiale media: -0.30 m/s. Marea: crescente. (b) Orario: 08:46-08:51 (UT). Distanza dal centro della cella di scavo: assenza di scavo. Velocità assiale media: 0.04 m/s. Marea: inversione.

Le concentrazioni massime sono state, comunque, registrate in corrispondenza dei percorsi circolari eseguiti attorno alla draga a causa della minore distanza dalla fonte di rilascio di sedimenti. È tuttavia necessario considerare le limitazioni che questi dati presentano. I dati acquisiti in vicinanza della zona di scavo (Zona A della Figura 2.2) possono infatti essere influenzati dalla presenza di bolle d'aria provocate dal movimento dell'attrezzo e la loro

TORBIDITÀ-RAPPORTO VALUTAZIONE

attendibilità può così risultare limitata soprattutto in superficie. È questo il caso della prima campagna di monitoraggio durante la quale i percorsi circolari dell'imbarcazione di misura sono stati effettuati alla distanza minima dalla draga e le acquisizioni sono caratterizzate da concentrazioni molto alte, il cui livello (270 mg/l, Figura 4.1.1.4a) è probabilmente condizionato dall'elevato grado di disturbo, soprattutto se confrontato con le concentrazioni massime del percorso di Figura 4.1.1.4b, acquisito in condizioni di scavo più intenso, ma ad una distanza maggiore dalla draga (circa 100 m).



(a)



(b)

Figura 4.1.1.4. Distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due percorsi circolari acquisiti alla bocca di Porto di Chioggia in condizioni di marea crescente. (a) Data: 26 Agosto 2004. Orario: 05:52-06:00 (UT). Distanza dal centro della cella di scavo: variabile da 30 m a 60 m lungo il percorso circolare. Velocità assiale media: -0.47 m/s. (b) Data: 01 Ottobre 2004. Orario: 07:22-07:43 (UT). Distanza dal

centro della cella di scavo: variabile da 70 m a 100 m lungo il percorso circolare. Velocità assiale media: -0.80 m/s.

L'esperienza acquisita nel corso delle successive attività di monitoraggio ha dimostrato come sia poco vantaggioso campionare in vicinanza della draga, poiché le stime effettuate sulla base delle misure eseguite tendono ad essere poco significative, rispetto ai valori misurati direttamente nei campioni d'acqua prelevati, ed affette da margini di errore più alti.

Come evidenziano i risultati delle campagne di monitoraggio della draga idrorefluente a sfioro, il metodo più efficace per valutare l'impatto delle attività di dragaggio consiste nell'acquisizione di transetti ADCP a zig-zag a valle della draga, effettuati in modo da attraversare il pennacchio di sedimenti in tutta la sua larghezza per un numero di volte sufficiente a descriverne in dettaglio la morfologia longitudinale, consentendo di ricostruire, in fase di *post-processing*, la curva di decadimento del materiale sospeso, ottenendo così indicazioni sulla distanza massima alla quale è ancora rilevabile la presenza del sedimento, rilasciato durante le operazioni di scavo.

4.2 Draga idrorefluente

La draga idrorefluente è una draga di tipo idraulico ed è probabilmente la tipologia di draga con il minor impatto in termini di risospensione di sedimento durante le operazioni di scavo. In genere, presenta uno scafo a pontone senza propulsione, nel caso delle draghe di dimensioni più ridotte, oppure una struttura più simile a quella di una vera e propria imbarcazione come nel caso delle draghe di dimensioni maggiori. L'attrezzo di scavo, la cui forma varia in funzione del tipo di sedimento, può essere manovrato da un sistema idraulico o elettrico. L'attrezzo, montato all'estremità di un braccio in acciaio, attaccato alla prua dello scafo principale per mezzo di cerniere, è, quindi, in grado di descrivere dei movimenti oscillatori (Figura 4.2.1). All'interno del braccio è collocata anche la pompa aspirante, che risucchia la miscela di acqua e sedimento dragata, che viene scaricata attraverso una tubatura flessibile e galleggiante nell'area di conferimento.

Il posizionamento ed il controllo della draga sono gestiti comunemente per mezzo dell'azione combinata di due argani oscillanti e due pali infissi generalmente a poppa del pontone, uno mobile e l'altro saldamente conficcato nel fondale (Figura 4.2.1). Durante il dragaggio, la parte sottostante dell'attrezzo di scavo viene mantenuta ad un livello leggermente inferiore al livello finale desiderato ed oscilla sul fondale descrivendo degli archi; mentre la draga ruota attorno al palo fisso al fondo grazie al movimento combinato dei due argani, l'uno in fase di recupero e l'altro in fase di rilascio del cavo.



Figura 4.2.1. Rappresentazione schematica della draga idrorefluente [Bray et al., 1997].

I principali vantaggi derivanti dall'utilizzo di questa tipologia di draga sono:

- ✓ la capacità di dragare materiali diversi tra cui anche materiale roccioso e di convogliare tramite pompaggio la miscela di acqua e materiale dragato direttamente nell'area di destinazione;
- ✓ la capacità di operare in acque basse e di livellare in modo uniforme il fondale;
- ✓ gli alti tassi di produzione di materiale dragato.

Accanto agli aspetti positivi descritti sopra, esistono alcuni svantaggi tra cui:

- ✓ l'elevata sensibilità alle condizioni marine, in particolare all'aumento del moto ondoso;
- ✓ il limite della distanza a cui il materiale scavato può essere conferito senza che ci sia un eccessivo costo economico;
- ✓ la diluizione del materiale dragato;
- ✓ la limitata profondità di dragaggio;
- ✓ gli elevati costi di mobilitazione.

Le principali componenti del ciclo produttivo di questa draga sono la velocità con cui viene descritto il movimento oscillatorio sul fondo, il numero di tagli necessari per produrre il livello richiesto ed il modo utilizzato dalla draga per avanzare lungo l'area di scavo. Considerando le varie fasi del ciclo, possibili fonti di rilascio di sedimento lungo la colonna d'acqua sono legate al materiale risospeso al fondo dall'attrezzo di scavo oppure alla possibile presenza di falle nella tubatura che trasporta il materiale dragato. In generale, il pennacchio di sedimento che si forma

attorno alla testa dell'attrezzo durante le normali operazioni non è molto esteso, perché il materiale scavato viene immediatamente aspirato lungo il braccio d'acciaio.

4.2.1 Sintesi dei risultati dell'attività di monitoraggio della draga idrorefluente

La campagna di misura del 17-21 Gennaio 2005 è stata effettuata allo scopo di investigare i fenomeni di risospensione del sedimento connessi all'attività di scavo della draga idrorefluente GELA (Figura 4.2.1.1a e b), impiegata nell'ambito degli interventi per la realizzazione del porto rifugio del Canale di Treporti, che consentirà il ricovero ed il transito delle imbarcazioni durante il funzionamento delle barriere mobili per la difesa dalle acque alte. Il porto rifugio è formato da due bacini, uno a nord ed uno a sud, all'estremità dei quali sono collocati due terrapieni protetti da due dighe di contenimento. Queste protezioni, che hanno una sezione diversa in funzione dell'esposizione al moto ondoso, sono realizzate in massi naturali (Consorzio Venezia Nuova 2005). Durante la campagna di monitoraggio erano in corso le operazioni di costruzione della diga di protezione del bacino nord del porto rifugio e la draga idrorefluente era impegnata nello scavo, alla profondità di circa 6 m, della sezione di imbasamento della scogliera. Il materiale dragato refluiva, mediante una condotta galleggiante (Figura 4.2.1.1c), all'interno del terrapieno del bacino nord (Figura 4.2.1.1d) per l'ammorsamento del piede dell'argine della sponda esterna del porto rifugio.

Nel cantiere, oltre alla draga, erano presenti alcuni natanti addetti alla posa di massi, per la costruzione del rivestimento e della sommità della barriera di protezione, ed alla ricerca di materiali ferrosi.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4.2.1.1. (a) Primo piano dell'attrezzo di scavo della draga idrorefluente GELA. (b) Immagine della poppa della draga GELA, in cui sono visibili i due pali, il cui movimento, controllato da due argani, consente alla draga di operare, e la tubatura galleggiante per il trasporto del materiale scavato. (c) La tubatura galleggiante e, sullo sfondo, la scogliera di delimitazione del bacino di conferimento. (d) Scarico del sedimento dragato nel bacino confinato.

Lo schema di campionamento adottato è molto simile a quello scelto durante le due campagne di monitoraggio effettuate alla bocca di Porto di Chioggia, con l'esecuzione di transetti ADCP a monte ed a valle della zona di scavo, rispetto alla direzione della corrente, e di percorsi aperti attorno alla draga, a causa dell'impossibilità di operare sull'ipotetico lato di chiusura del percorso, dove il basso fondale e l'estremità della scogliera già posata impedivano la navigazione e l'esecuzione delle misure con l'ADCP. In questo caso, l'avvicinamento dell'imbarcazione di monitoraggio all'area di scavo non ha creato problemi di acquisizione di misure inaffidabili, poiché le modalità di scavo, caratterizzate dal pompaggio, all'interno di una conduttura stagna, del materiale dragato direttamente nel terrapieno, riducono al minimo la turbolenza e la formazione di bolle d'aria.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

La campagna si è svolta in condizioni di marea di quadratura e nel corso della terza giornata (19 Gennaio 2005) l'attività di dragaggio è stata sospesa a causa dell'aumento del moto ondoso dovuto al verificarsi di un evento di bora.

I dati acquisiti dimostrano come l'impatto in termini di aumento della concentrazione del particellato solido sospeso sia trascurabile, in quanto il materiale risospeso al fondo dall'attrezzo di scavo viene rapidamente aspirato e trasportato in superficie dalla tubatura a tenuta stagna. I valori massimi di concentrazione sono stati registrati lungo i percorsi attorno alla draga, di cui è riportato un esempio in Figura 4.2.1.2. L'area interessata dalla risospensione, concentrata in corrispondenza del lato B del percorso (Figura 4.2.1.2b), acquisito alla fine del calante/inizio inversione, evidenzia molto bene il profilo della sottosezione lungo cui avanzava lo scavo, necessario per portare la profondità della base della scogliera a circa 6 m. Come si può notare la nuvola di sedimento risospeso è distribuita su tutta la colonna d'acqua ad eccezione della parte più superficiale e la concentrazione massima, pari a 21 mg/l, è localizzata in due nuclei distinti, che potrebbero essere stati provocati dal movimento dell'attrezzo sul fondale (Figura 4.2.1.2a).

In generale, l'impatto dell'attività di dragaggio è piuttosto localizzato nello spazio e questo principalmente per effetto delle modalità di scavo, mentre le condizioni idrodinamiche sembrano avere un ruolo secondario. L'analisi dei transetti acquisiti dimostra che le concentrazioni osservate in prossimità della draga sono confrontabili con i livelli ambientali normalmente misurati al di fuori dell'area di cantiere o in assenza di scavo. Un esempio dell'andamento della concentrazione del particellato solido in sospensione in un'area non perturbata dalle operazioni di dragaggio è riportato in Figura 4.2.1.3a, che rappresenta un transetto acquisito ad una distanza di circa 150 m a monte della draga lungo la sezione in cui confluiscono nel canale di bocca il Canale di Treporti ed il Canale di S. Nicolò. Quest'area del canale di bocca è caratterizzata da una chiara separazione tra l'apporto solido più consistente proveniente dal Canale di Treporti e quello meno significativo del Canale di S. Nicolò, come è evidenziato dalla presenza di un nucleo di materiale sospeso persistente in corrispondenza della zona a basso fondale lungo la parte nord della sezione (Figura 4.2.1.3a). Gli stessi valori di concentrazione si raggiungono lungo il transetto eseguito, nel corso della stessa giornata di campionamento (20 Gennaio 2005) della sezione di Figura 4.2.1.3a, ma a circa 500 m a valle della draga (Figura 4.2.1.3b). Questa sezione è stata spesso investigata sia durante l'attività di monitoraggio sia nell'ambito di altre indagini sul trasporto e le osservazioni hanno dimostrato come la presenza di una zona a maggior concentrazione di materiale sospeso lungo la sponda nord, anche in assenza di attività nei cantieri, sia un fenomeno ricorrente ed i livelli naturali della concentrazione del particellato solido sospeso siano frequentemente paragonabili, se non addirittura superiori, a quelli di Figura 4.2.1.3b.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(a)



(b)

Figura 4.2.1.2. (a) Distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo (b) il percorso attorno alla draga eseguito il giorno 18 Gennaio 2005 alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, dalle ore 12:12 alle ore 12:18 (UT). Le frecce rosse indicano la direzione in cui è stato eseguito il percorso, lungo i lati identificati dalle lettere. La posizione della draga corrisponde al simbolo in rosso. Velocità assiale media: a -0.07 m/s. Marea: fine calante/inizio inversione.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(b)

Figura 4.2.1.3. Distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due transetti acquisiti alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, il giorno 20 Gennaio 2005 in condizioni di marea uscente. (a) Orario: 09:02- 09:13 (UT). Distanza longitudinale del transetto dall'area di scavo: circa 150 m a monte della draga. Velocità assiale media: 0.46 m/s. (b) Orario: 10:00-10:07 (UT). Distanza longitudinale dall'area di scavo del transetto dall'area di scavo: circa 500 m a valle della draga. Velocità assiale media: 0.50 m/s.

L'estensione e l'intensità della risospensione naturale individuata in Figura 4.2.1.3a possono aumentare in relazione alle condizioni meteorologiche, come evidenzia il confronto tra due transetti acquisiti, lungo la stessa sezione, il giorno 18 Gennaio 2005, a monte dell'area di scavo (Figura 4.2.1.4a), ed il giorno 19 Gennaio 2005 (Figura 4.2.1.4b). A causa del verificarsi di un evento

di bora, che ha peraltro determinato la sospensione delle attività di scavo, il 19 Gennaio, il nucleo di risospensione lungo la parte nord della sezione, caratterizzata da fondale più basso (Figura 4.2.1.4b), è chiaramente più consistente rispetto a quello misurato, nella stessa area, il giorno precedente (Figura 4.2.1.4a). Inoltre, il massimo di concentrazione di 31.5 mg/l in Figura 4.2.1.4b è superiore rispetto ai livelli registrati lungo il percorso attorno alla draga (Figura 4.2.1.2a). Questo dimostra come i processi naturali di risospensione in questo settore della bocca di Porto di Lido possano essere particolarmente significativi e caratterizzati da valori di concentrazione del particellato solido sospeso paragonabili o superiori a quelli riscontrati, nel periodo corrispondente, durante l'attività di cantiere con questa tipologia di dragaggio.



(a)



(b)

Figura 4.2.1.4. Distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione lungo due transetti acquisiti alla bocca di Porto di Lido, Canale di Treporti, in corrispondenza della stessa sezione, ma in giornate diverse. (a) Data: 18 Gennaio 2005. Orario: 09:24-09:36 (UT). Distanza longitudinale del transetto

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

dall'area di scavo: circa 100 m a monte della draga. Velocità assiale media: 0.40 m/s. Marea: uscente. (b) Data: 19 Gennaio 2005. Orario: 10:42-10:53 (UT). Distanza dall'area di scavo: assenza di scavo a causa delle condizioni di intenso vento di bora. Velocità assiale media: 0.50 m/s. Marea: uscente.

In base ai dati la disponibili per la campagna di monitoraggio del 17-21 Gennaio 2005, la draga idrorefluente risulta la meno impattante tra le diverse tipologie di impianto investigate, in virtù delle modalità di scavo e della possibilità di trasporto del materiale dragato in un'area protetta. Nella maggior parte dei casi l'attività delle imbarcazioni addette alla costruzione della scogliera di protezione sembra avere un effetto più consistente in termini di aumento della torbidità della colonna d'acqua, a causa del dilavamento della frazione argillosa aderente al pietrame durante le operazioni di posa, rispetto ai fenomeni causati dalla draga stessa. La torbidità generata da questa attività è, tuttavia, piuttosto localizzata nello spazio a causa della scarsa idrodinamica in prossimità della sponda, peraltro favorita dalle condizioni di marea di quadratura, che causavano la rideposizione del materiale risospeso nelle immediate vicinanze della sorgente.

4.3 Draga idrorefluente a sfioro

Questa draga (Figura 4.3.1), come la precedente, è di tipo idraulico ed è sostanzialmente un natante in grado di stivare a bordo il materiale scavato, mentre si muove lentamente in avanti. La maggior parte dello spazio interno della draga è destinato alla tramoggia, entro la quale viene caricato il materiale dragato per mezzo di una o due pompe. Le pompe possono essere collocate a bordo, ma spesso si trovano all'interno dei due tubi aspiranti, perché in questo modo è possibile aumentare le prestazioni e, quindi, la profondità di dragaggio e la produzione di materiale scavato. I due tubi, all'estremità dei quali è collocato l'attrezzo di scavo, vengono calati in acqua quando la draga si trova in posizione di scavo ed aspirano la miscela di acqua e sedimento dragato, che viene stivata nella tramoggia. L'efficienza nel trasporto del materiale dragato dipende principalmente dalla capacità di carico della tramoggia. La velocità di sedimentazione delle particelle solide presenti all'interno della miscela pompata a bordo dipende dalla dimensione delle particelle stesse, per cui quelle più grossolane si depositano rapidamente di quelle più fini, che restano in sospensione a causa della turbolenza.

Nel caso di materiali granulari non coesivi, per aumentare il carico stivato, il dragaggio continua anche dopo il riempimento della tramoggia grazie ad un sistema di sfioro (*overflow*), che consente di liberare spazio, eliminando dal vano di carico la miscela di acqua e sedimento in eccesso. La durata dello sfioro dipende da due fattori: la tipologia del materiale dragato e la distanza della zona di scavo dall'area di conferimento.

Se il sedimento dragato è grossolano, l'aumento della durata dello sfioro può comportare un incremento significativo del carico, che, però, diminuisce al diminuire della dimensione delle particelle solide, poiché la frazione più fine del sedimento resta in sospensione e, in un intervallo di tempo relativamente breve, la densità della miscela allo sfioro è quasi uguale alla densità della miscela all'interno della tramoggia.



Figura 4.3.1. Rappresentazione schematica della draga idrorefluente a sfioro [Bray et al., 1997].

Alcune draghe di questa tipologia possono, quindi, riempire completamente la tramoggia con un carico di materiale di composizione granulometrica fine, mentre, nel caso di materiali sabbiosi o ghiaiosi, il carico può raggiungere al massimo circa l'80% della capacità effettiva della stiva. In pratica, la durata del pompaggio di materiale dipende dal tipo di sedimento dragato: in materiali fini, il carico massimo coincide con l'inizio dello sfioro; mentre, in materiali più grossolani o mescolati, il pompaggio di materiale continua per un certo tempo dopo l'inizio dello sfioro, al fine di aumentare il carico immagazzinato.

Nel caso del dragaggio di sedimenti argillosi e limosi, possono essere individuati principalmente tre regimi di carico. Se il sedimento del fondale è estremamente molle, la tramoggia si riempie di una vera e propria fanghiglia e lo sfioro non provoca nessun aumento della capacità di carico. Tuttavia, spesso la miscela può essere pompata ad una densità molto vicina alla densità del sedimento *in situ* e, quindi, il volume di carico è circa uguale al volume di sedimento dragato in corrispondenza del punto di inizio dello sfioro. Se, invece, il fondale è molle ed il materiale diluito aspirato è una miscela di fango e particelle argillose poco compatte, la deposizione nella tramoggia è ostacolata e lo sfioro non comporta grossi vantaggi. In questo caso il carico ha una densità significativamente inferiore alla densità *in situ* a causa della diluizione dovuta all'acqua che viene aspirata insieme al sedimento. In fondali costituiti da argilla più compatta, la miscela pompata nel vano di carico ha solo una piccola componente fangosa, per cui le particelle argillose si depositano velocemente e lo sfioro può aumentare l'efficienza di carico come nel caso di sedimenti più grossolani.

La Figura 4.3.2 mostra l'aumento progressivo della densità della miscela allo sfioro in funzione della durata dello sfioro per una draga di media stazza (capacità tramoggia = 5000 m³) durante lo scavo di limo sabbioso poco compatto; mentre la Figura 4.3.3 riporta i profili di densità all'interno

della tramoggia all'inizio ed alla fine dello sfioro per la stessa tipologia di draga e nelle stesse condizioni ambientali.



Figura 4.3.2. Densità della miscela allo sfioro durante il dragaggio di limo sabbioso non compatto eseguito da una draga idrorefluente a sfioro dotata di tramoggia con una capacità di 5000 m³ [Bray *et al.*, 1997].



Figura 4.3.3. Profili di densità all'interno della tramoggia all'inizio ed alla fine dello sfioro durante il dragaggio di limo sabbioso non compatto eseguito da una draga idrorefluente a sfioro dotata di tramoggia con una capacità di 5000 m³ [Bray *et al.*, 1997].

Si può notare come nei primi dieci minuti di attività ci sia un rapido incremento della densità dello sfioro, dopo di che l'aumento si riduce in modo significativo. Dopo circa 50-60 minuti dall'inizio

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

dello sfioro, la densità è praticamente costante, quindi l'ipotetica prosecuzione dello sfioro non è giustificabile, in quanto non fa aumentare la capacità di carico.

La durata ottimale della fase di sfioro, tenendo conto del tipo di sedimento dragato e delle sue caratteristiche di carico, può essere grossolanamente stimata sulla base del tempo necessario per raggiungere l'area di conferimento, scaricare il materiale scavato e ritornare nella zona di dragaggio. In sostanza, maggiore è il tempo necessario a compiere queste operazioni, più è proficuo economicamente aumentare la durata dello sfioro, assumendo, però, che questa scelta operativa sia accettabile dal punto di vista ambientale.

Il ciclo produttivo di questa draga inizia con la fase di carico, il cui livello massimo dipende, come detto sopra, dalle caratteristiche del materiale dragato. Il riempimento della tramoggia può richiedere più percorsi all'interno dell'area di scavo e la necessità di attivare il sistema di sfioro per aumentare la capacità di carico. Lo sfioro deve essere regolato in modo tale da non causare un aumento consistente della torbidità lungo la colonna d'acqua. Un fattore molto importante per ridurre la concentrazione del particellato solido sospeso all'interno dello sfioro è il controllo, all'interno della tramoggia, della turbolenza, che deve essere minima per facilitare la deposizione del sedimento dragato. Questo risultato può essere ottenuto diminuendo la velocità di ingresso della miscela di acqua e sedimento nella tramoggia.

Quando il carico è stato completato, la draga recupera gli attrezzi di scavo e si dirige verso l'area di conferimento del materiale, dove il sedimento dragato può essere scaricato in modi diversi a seconda delle caratteristiche strutturali della draga.

In base alle considerazioni sinora esposte, l'impatto ambientale delle modalità operative di scavo di questa tipologia di draga è sicuramente il più consistente se confrontato con gli altri casi esaminati. I meccanismi di rilascio di sedimento lungo la colonna d'acqua sono principalmente dovuti allo sfioro ed in seconda battuta all'azione dell'attrezzo di scavo sul fondale. Se la densità dello sfioro è sufficientemente elevata e la velocità della draga sufficientemente bassa, la miscela dello sfioro scenderà velocemente al fondo, senza mescolarsi con l'acqua circostante, potendo trasformarsi in una corrente di densità sul fondo e creando un pennacchio dinamico [Dankers, 2002]. I pennacchi dinamici sono mobilitati dai gradienti di concentrazione estremamente elevati rispetto all'acqua circostante. Trascinando progressivamente quest'acqua al loro interno, peraltro, i pennacchi dinamici tendono rapidamente a diluirsi e a trasformarsi in un pennacchio passivo. Di conseguenza, sebbene la velocità di un pennacchio dinamico sia piuttosto elevata, la sua zona di impatto sarà relativamente limitata e si troverà in prossimità della zona di scavo. Anche nel caso in cui parte del materiale sospeso sia catturata dalla scia dell'elica e ridistribuita verso la superficie, il nucleo di sedimento risospeso resterà, comunque, in prossimità del fondo.

Se, invece, la densità dello sfioro è bassa e la velocità della draga elevata, il pennacchio di sedimenti scenderà lungo la colonna d'acqua piuttosto lentamente e si mescolerà completamente con l'acqua circostante formando un pennacchio passivo [Dankers, 2002]. Il gradiente di concentrazione all'interno di un pennacchio passivo è relativamente basso ed il pennacchio si muove solo in virtù delle correnti di marea. A causa della bassa velocità di deposizione, tuttavia, la frazione fine del sedimento può restare in sospensione a lungo (da diverse ore anche fino ad alcuni giorni), talché la zona di impatto di un pennacchio passivo può essere anche di diversi chilometri, in funzione, ovviamente delle condizioni idrodinamiche e della tipologia di materiale rilasciato.

Il pennacchio di sedimenti prodotto dallo sfioro in prossimità della draga è molto difficile da monitorare a causa dell'elevata turbolenza, prodotta non solo dal flusso della miscela di acqua e sedimento che viene riversata fuori bordo, ma anche dall'azione delle eliche e dei propulsori della

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

draga. Le condizioni sperimentali in questa zona rendono, quindi, praticamente impossibile acquisire misure affidabili e realistiche dell'entità della risospensione.

In assenza di sfioro, il pennacchio prodotto dall'attrezzo di scavo diventa il principale meccanismo di rilascio di sedimento. Nel caso di basso fondale questo tipo di pennacchio, che è visibile a poppa della draga, può essere intrappolato dalla scia dell'elica e, quindi, staccarsi dal fondo ed essere trasportato più in superficie. L'effetto sulla risospensione è, comunque, inferiore rispetto a quello provocato dallo sfioro, in quanto il materiale scavato viene rapidamente aspirato e trasportato a bordo della draga.

I principali vantaggi nell'utilizzo di questa tipologia di draga sono:

- ✓ la capacità di operare indipendentemente dalle condizioni meteo-marine;
- ✓ l'autonomia nel trasporto del carico e la capacità di trasportare il materiale dragato su grandi distanze;
- ✓ l'effetto minimo sul traffico marittimo;
- ✓ i tassi di produzione di materiale dragato piuttosto elevati;
- ✓ la procedura di mobilitazione semplice e, quindi, poco costosa.

I principali svantaggi, invece, sono:

- ✓ l'incapacità di dragare materiali duri;
- ✓ l'incapacità di operare in aree ristrette o confinate;
- ✓ la sensibilità alla presenza di detriti;
- ✓ la diluizione del sedimento dragato durante il processo di carico.

4.3.1 Sintesi dei risultati dell'attività di monitoraggio della draga idrorefluente a sfioro

Le caratteristiche tecniche della draga idrorefluente a sfioro ASTRA (Figura 4.3.1.1), operante alla bocca di porto di Malamocco approssimativamente fino alla fine del mese di Maggio 2005 e, successivamente, alla bocca di Porto di Lido, sono riportate in Tabella 4.3.1.1.



TORBIDITÀ-RAPPORTO VALUTAZIONE

(a)

(b)



(b)

(d)

Figura 4.3.1.1. (a) La draga idrorefluente a sfioro ASTRA. (b) La fiancata della draga ASTRA con l'alloggiamento del tubo aspirante. (c) Le due torrette di sostegno, sporgenti sull'acqua, del tubo aspirante. (d) Ripresa dall'alto della risospensione provocata dallo sfioro.

Lunghezza (m)	80.49
Larghezza (m)	15.1
Altezza (m)	5.6
Pescaggio massimo (m)	4.2
Profondità massima di dragaggio (m)	20.0
Capacità della tramoggia (m ³)	1300
Stazza lorda (m ³)	2628
Stazza netta (m ³)	788
Diametro del tubo aspirante (mm)	600
Diametro del tubo di scarico (mm)	600
Velocità di carico (nodi)	12.0
Potenza installata (cv/kW)	3754/2760
Potenza della pompa di dragaggio (cv/kW)	2 × 370/265
Potenza di propulsione (cv/kW)	2 × 1510/1110
Potenza del propulsore prodiero di spinta (cv/kW)	355/260
Accuratezza del sistema di posizionamento GPS (m)	0.2 – 0.5

Tabella 4.3.1.1. Caratteristiche tecniche della draga idrorefluente a sfioro "ASTRA".

Questa tipologia di draga viene classificata in base alla capacità massima della tramoggia, e, quindi, in base al valore riportato in Tabella 4.3.1.1, si può dire che la draga ASTRA rientra in una delle categorie più frequentemente utilizzate per questo tipo di impianti (Figura 4.3.1.2).

L'esecuzione delle attività di misura in campo, per il monitoraggio degli effetti ambientali delle operazioni di scavo della draga ASTRA, è stata suddivisa, come riassunto in Tabella 3.1, tra i due team di CNR-ISMAR ed OGS.



Figura 4.3.1.2. Distribuzione statistica delle draghe idrorefluenti a sfioro in funzione della capacità della tramoggia [Bray *et al.*, 1997].

Il CNR-ISMAR ha effettuato tre campagne di monitoraggio, la prima alla bocca di Porto di Malamocco (19 Maggio 2005), la seconda (31 Maggio 2005) e la terza (14-16 Giugno 2005) alla bocca di Porto di Lido. I risultati qui descritti sono relativi ai dati acquisiti alla bocca di Porto di Lido, poiché il programma di lavoro concordato per la campagna del 19 Maggio non è stato rispettato, non consentendo, quindi, di sincronizzare le attività di misura con le operazioni di scavo della draga ASTRA, impegnata nel dragaggio della cunetta di imbasamento della nuova berma di rinforzo al molo sud esistente (Consorzio Venezia Nuova 2005). Per quanto riguarda gli interventi alla bocca di porto di Lido, che riguardavano il dragaggio nell'area a ridosso dell'isola artificiale tra il canale di S. Nicolò e di Treporti per lo spostamento del canale navigabile (Consorzio Venezia Nuova 2005), il monitoraggio dei giorni 31 Maggio e 16 Giugno è stato finalizzato alla raccolta di dati per la calibrazione del modello di dispersione "Delft3D-PART".

Lo schema di campionamento adottato prevedeva l'esecuzione di percorsi a zig-zag a valle della zona di dragaggio lungo la direzione di dispersione del pennacchio di torbida, in modo tale da poter investigare non solo il decadimento del materiale risospeso dallo scavo, ma anche l'estensione dell'area su cui è ancora rilevabile l'impatto, in termini di risospensione, dovuto alle attività di scavo. Le acquisizioni effettuate lungo il pennacchio a valle dell'impianto di dragaggio hanno dimostrato che l'estensione dell'area che risente degli effetti dello scavo è principalmente determinata dalle condizioni idrodinamiche, come evidenziano i due percorsi a zig-zag eseguiti lungo il canale della bocca di Porto di Lido e riportati come esempio.

Il primo percorso a zig-zag è stato eseguito il giorno 31 Maggio 2005 a valle (marea uscente, prima metà del calante) della cella di scavo, in condizioni di marea di quadratura, circa 40 minuti dopo l'inizio delle operazioni di dragaggio. La distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione e l'andamento della concentrazione media sulla verticale lungo le cinque spezzate, che compongono la traccia del percorso (Figura 4.3.1.3), sono rappresentati in Figura 4.3.1.4a-e.



Figura 4.3.1.3. Mappa con la traccia del primo percorso a zig-zag (in giallo) eseguito il giorno 31 Maggio 2005 dalle 05:59 alle 06:34 (UT) a valle dell'area di scavo (quadrato nero) in corrispondenza dell'isola artificiale (in rosa) al centro del canale della bocca di Porto di Lido. La spezzata A si trova a 190 m dal centro della cella di scavo. La velocità assiale media sull'intero percorso è pari a 0.20 m/s.

La risospensione lungo la prima spezzata, dove la concentrazione massima all'interno del pennacchio di torbida, registrato a circa 200 m dalla draga, è pari a 90 mg/l, è più consistente rispetto agli altri tratti del percorso e, per questa ragione, è stata utilizzata una scala di concentrazione diversa (Figura 4.3.1.4a1). Mentre non è stato possibile mantenere la stessa scala per tutti i transetti Sediview (Figure 4.3.1.4a1-e1), a causa delle consistenti differenze in termini di concentrazione tra le prime e le ultime spezzate di uno stesso percorso a zig-zag, si è potuto, invece, adottarla nel caso dei grafici della concentrazione media sulla verticale (Figure 4.3.1.4a2e2). L'effetto dello scavo persiste in modo evidente lungo le spezzate A (Figura 4.3.1.4a1) e B (Figura 4.3.1.4b1), ma la concentrazione massima si riduce di circa un terzo ed il pennacchio di materiale risospeso non ha più una struttura colonnare, ma si presenta disperso e, a causa della rapida sedimentazione, le concentrazioni più elevate sono distribuite verso il fondo (Figura 4.3.1.4b1). Il pennacchio di sedimenti non è più visibile come tale nelle spezzate successive, ma si riduce, in particolare nelle Figure 4.3.1.4c1 e d1, ad una nuvola di materiale sospeso caratterizzata da concentrazioni decisamente più basse, circa 12 mg/l, fino a non comparire più, come in Figura 4.3.1.4e1, ad una distanza dell'ordine di 1200 metri dal centro della cella di scavo. Osservando l'andamento della concentrazione media sulla verticale è interessante notare il progressivo appiattimento della struttura a campana, visibile nella Figura 4.3.1.4a2, lungo il percorso (Figure 4.3.1.4b2-e2) fino al raggiungimento di livelli minimi di circa 5 mg/l (Figura 4.3.1.4e2), un valore praticamente confrontabile con la concentrazione ambientale riscontrata nelle zone imperturbate della sezione di misura. In sostanza, a causa della velocità assiale media della corrente relativamente bassa (0.2 m/s), il materiale risospeso dallo scavo si rideposita abbastanza

velocemente in prossimità della zona di dragaggio e l'effetto dello scavo è significativo in un'area immediatamente limitrofa a quella operativa.



(a1)



(a2)

Figura 4.3.1.4a. Distribuzione della concentrazione (a1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (a2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata A di Figura 4.3.1.3. Distanza dal centro della cella di scavo: 190 m. Velocità assiale media: 0.19 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI







(b2)

Figura 4.3.1.4b. Distribuzione della concentrazione (b1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (b2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata B di Figura 4.3.1.3. Distanza dal centro della cella di scavo: 410 m. Velocità assiale media: 0.19 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI







(c2)

Figura 4.3.1.4c. Distribuzione della concentrazione (c1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (c2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata C di Figura 4.3.1.3. Distanza dal centro della cella di scavo: 680 m. Velocità assiale media: 0.19 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(d1)



(d2)

Figura 4.3.1.4d. Distribuzione della concentrazione (d1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (d2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata D di Figura 4.3.1.3. Distanza dal centro della cella di scavo: 1010 m. Velocità assiale media: 0.21 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(e1)



(e2)

Figura 4.3.1.4e. Distribuzione della concentrazione (e1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (e2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata E di Figura 4.3.1.3. Distanza dal centro della cella di scavo: 1260 m. Velocità assiale media: 0.21 m/s.
La situazione è nettamente diversa nel caso, invece, del percorso a zig-zag, acquisito il giorno 16 Giugno 2005 a valle (marea uscente, prima metà del calante) dell'area di scavo, in condizioni di marea di sizigie, circa 45 minuti dopo l'inizio delle attività di dragaggio e, quindi, durante la fase di sfioro. La distribuzione della concentrazione del particellato solido in sospensione e l'andamento della concentrazione media sulla verticale lungo le undici spezzate del percorso (Figura 4.3.1.5) sono riportati in Figura 4.3.1.6a-m.



Figura 4.3.1.5. Mappa con la traccia del secondo percorso a zig-zag (in giallo) eseguito il giorno 16 Giugno 2005 dalle 17:59 alle 18:49 (UT) a valle dell'area di scavo (quadrato nero) in corrispondenza dell'isola artificiale (in rosa) al centro del canale della bocca di Porto di Lido. La spezzata A si trova a 441 m dal centro della cella di scavo. La velocità assiale media sull'intero percorso è pari a 0.36 m/s.

A causa delle concentrazioni significativamente più elevate, le acquisizioni relative alle due spezzate più prossime alla cella di scavo sono rappresentate con una scala di concentrazioni più ampia (Figure 4.3.1.6a1 e b2), mentre nel caso dei grafici della concentrazione media sulla verticale (Figure 4.3.1.6a2-m2) è stato possibile mantenere la stessa scala.

Lungo la spezzata A, acquisita a circa 400 m, e la spezzata B, ad una distanza di circa 500 m dal centro della zona delle operazioni, sono stati misurati valori di concentrazione massima pari, rispettivamente, a 180 mg/l (Figura 4.3.1.6a1) e 160 mg/l (Figura 4.3.1.6b1) all'interno del pennacchio di materiale risospeso, che è ben localizzato nello spazio ed evidenzia una struttura colonnare.

La risospensione causata dall'impianto è visibile lungo tutto il percorso, ma la concentrazione massima si riduce progressivamente fino al valore di 24 mg/l lungo la spezzata M (Figura 4.3.1.6m1) e la forma del pennacchio di torbida è sempre più dispersa sia lateralmente che lungo la

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

colonna d'acqua (Figure 4.3.1.6a1-m1). L'andamento della concentrazione media sulla verticale evidenzia molto bene la progressiva dispersione del pennacchio di sedimenti, che interessa tutta la colonna d'acqua e presenta una forma a campana lungo le prime due spezzate (Figure 4.3.1.6a2 e b2), per poi appiattirsi ed allargarsi verso il fondo nelle spezzate successive (Figure 4.3.1.6c2-m2).

In alcuni casi, inoltre, si nota la presenza di due nuclei separati di materiale risospeso (Figure 4.3.1.6g1 e h1), dovuti all'impiego, da parte della draga, di entrambi gli attrezzi di scavo.

Nel caso di questo secondo esempio, le condizioni di marea di sizigie hanno reso possibile il trasporto del materiale risospeso dallo scavo ad una distanza di circa 1500 m dall'area di dragaggio, grazie anche all'aumento della velocità media assiale della corrente (da 0.3 m/s a 0.5 m/s) durante l'esecuzione del percorso, che è stato completato in un intervallo temporale di 50 minuti.

I dati ottenuti in questa serie di misure di calibrazione consentono di descrivere l'evoluzione del pennacchio di torbida sulla base della curva di decadimento delle concentrazioni in sospensione, dalla quale è possibile estrapolare la quantità di sedimento in sospensione in prossimità della sorgente, una regione solitamente inaccessibile per ragioni di sicurezza e di scarsa affidabilità delle misure a causa dell'elevata turbolenza e del disturbo provocato dalla presenza di bolle d'aria. La Figura 4.3.1.7 presenta la curva di decadimento del pennacchio ricavata utilizzando i dati acquisiti lungo il percorso a zig-zag di Figura 4.3.1.5, tranne l'ultima spezzata, durante la quale non si è attraversato completamente la nube di sedimenti. Il valore di concentrazione, riportato in funzione della distanza delle singole spezzate dal centro della cella di scavo, è la media calcolata sull'area del pennacchio, caratterizzata da una concentrazione superiore alla metà del massimo di concentrazione, al netto del valore medio di fondo delle aree non perturbate. Questa scelta fornisce una stima approssimata dell'estensione reale del pennacchio di torbida, consentendo di circoscrivere il nucleo in cui la risospensione è massima e di selezionare un'area di dimensioni variabili in funzione della dispersione del pennacchio.

La Figura 4.3.1.7 mostra chiaramente come la concentrazione di particellato solido in sospensione diminuisca velocemente dal valore massimo di 140 mg/l a circa 440 m dal centro della cella di scavo (spezzata A del percorso a zig-zag) a 20 mg/l a circa 600 m dal centro dell'area di scavo (spezzata C del percorso a zig-zag). A partire dalla distanza di 800 m il valore della concentrazione resta sempre al di sotto dei 20 mg/l ed il tratto finale della curva oscilla attorno ad un valore di circa 12 mg/l. L'andamento della curva di decadimento dipende dalla diversa velocità di deposizione delle particelle solide in sospensione. Le particelle più grossolane, infatti, si ridepositano con una certa rapidità nell'intorno dell'area di scavo, mentre la frazione più fine resta in sospensione più a lungo e nel campo lontano il decremento della concentrazione all'aumentare della distanza dalla fonte di rilascio del sedimento si riduce notevolmente.

L'evoluzione del pennacchio di torbida può anche essere descritta ricavando la curva di decadimento del flusso solido, dalla quale è possibile estrapolare la quantità di sedimento in sospensione in prossimità della sorgente, un'informazione molto utile per le simulazioni modellistiche del fenomeno di dispersione in assenza di un monitoraggio delle quantità rilasciate da parte del cantiere.



(a1)



(a2)

Figura 4.3.1.6a. Distribuzione della concentrazione (a1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (a2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata A di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 441 m. Velocità assiale media: 0.27 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(b1)



(b2)

Figura 4.3.1.6b. Distribuzione della concentrazione (b1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (b2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata B di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 485 m. Velocità assiale media: 0.24 m/s

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(c1)



(c2)

Figura 4.3.1.6c. Distribuzione della concentrazione (c1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (c2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata C di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 589 m. Velocità assiale media: 0.29 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(d1)



(d2)

Figura 4.3.1.6d. Distribuzione della concentrazione (d1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (d2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata D di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 644 m. Velocità assiale media: 0.26 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI







(e2)

Figura 4.3.1.6e. Distribuzione della concentrazione (e1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (e2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata E di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 789 m. Velocità assiale media: 0.28 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(f1)



(f2)

Figura 4.3.1.6f. Distribuzione della concentrazione (f1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (f2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata F di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 834 m. Velocità assiale media: 0.32 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI







(g2)

Figura 4.3.1.6g. Distribuzione della concentrazione (g1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (g2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata G di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 938 m. Velocità assiale media: 0.39 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI







(h2)

Figura 4.3.1.6h. Distribuzione della concentrazione (h1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (h2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata H di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 1000 m. Velocità assiale media: 0.43 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(i1)



(i2)

Figura 4.3.1.6i. Distribuzione della concentrazione (i1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (i2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata I di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 1120 m. Velocità assiale media: 0.49 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



(l1)



(12)

Figura 4.3.1.6l. Distribuzione della concentrazione (l1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (l2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata L di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 1200 m. Velocità assiale media: 0.49 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI







(m2)

Figura 4.3.1.6m. Distribuzione della concentrazione (m1) e andamento della concentrazione media sulla verticale (m2) del particellato solido in sospensione lungo la spezzata M di Figura 4.3.1.5. Distanza dal centro della cella di scavo: 1460 m. Velocità assiale media: 0.48 m/s.



Figura 4.3.1.7. Curva di decadimento del pennacchio di torbida provocato dalle attività di scavo alla bocca di Porto di Lido il giorno 16 Giugno 2005. Per il calcolo della curva sono stati considerati i dati acquisiti lungo il percorso a zig-zag di Figura 4.3.1.5 tranne l'ultima spezzata.



Figura 4.3.1.8. Curva di decadimento del pennacchio di torbida provocato dalle attività di scavo alla bocca di Porto di Lido il giorno 16 Giugno 2005. Per il calcolo della curva sono stati considerati i dati acquisiti lungo le prime sei spezzate del percorso a zig-zag di Figura 4.3.1.5.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

La Figura 4.3.1.8 presenta la curva di decadimento ricavata utilizzando i dati acquisiti lungo le prime sei spezzate del percorso a zig-zag di Figura 4.3.1.5. Poiché l'esecuzione dell'intero percorso ha richiesto circa un'ora e l'acquisizione è stata effettuata nella fase centrale del calante, l'aumento progressivo della velocità registrato in corrispondenza delle spezzate successive alla sesta non ha consentito di estendere il calcolo dei flussi a tutto il percorso, in quanto le stime ottenute erano inficiate dall'incremento della velocità.

La curva rappresenta il valore del flusso solido (in kg/s) in funzione della distanza delle sei spezzate considerate dal centro della cella di scavo. Il flusso è stato calcolato come prodotto della concentrazione al netto del valore di fondo per la velocità della corrente e l'area di ciascun *ensemble* e, quindi, integrato sull'intera sezione sottesa dal pennacchio.

Il limite principale di questa elaborazione è l'impossibilità di ottenere le stime del flusso lungo tutto il percorso a causa della variazione significativa della velocità della corrente, che si è verificata durante l'intervallo di misura. Questo tipo di valutazione sarebbe, infatti, molto più rappresentativa se effettuata in condizioni di velocità costante come nella fase centrale del calante o del crescente di marea.

La Figura 4.3.1.8 mostra chiaramente come il flusso solido diminuisca velocemente dal valore massimo di circa 29 kg/s (spezzata A del percorso a zig-zag) a circa 6.7 kg/s (spezzata C del percorso a zig-zag) a 589 metri dalla cella di scavo, per poi oscillare attorno a questo valore fino ad una distanza di circa 840 metri dall'area delle operazioni di scavo. In corrispondenza della terza spezzata il flusso è, quindi, ridotto a circa un quarto del flusso registrato lungo la spezzata più vicina alla zona in cui opera la draga.

OGS ha effettuato due campagne di monitoraggio, entrambe effettuate alla bocca di Lido, i giorni 18-22 luglio e 12-16 settembre 2005. Le campagne di misura avevano lo scopo di indagare sull'aumento della concentrazione dei solidi in sospensione causato dall'attività di scavo della draga idrorefluente a sfioro "ASTRA", operante all'interno di una zona di scavo posta ad ovest dell'isola artificiale. La zona lavori era situata nel canale S. Nicolò, in prossimità della confluenza del canale di Treporti in un'area caratterizzata da un intenso traffico di traghetti di linea e privato che ha ostacolato non poco l'esecuzione delle misure.

Per questo tipo di draga la principale causa di rilascio di sedimenti nella colonna d'acqua è lo sfioro di acqua e sedimenti attraverso le fenditure laterali. Si è constatato che generalmente lo sfioro veniva raggiunto dalla draga in tempi molto brevi, stimabili in circa 20 minuti dall'inizio delle operazioni di scavo. Il rilascio dovuto allo sfioro laterale e la sua ampia predominanza rispetto all'altro meccanismo quale l'azione meccanica dei rastrelli sul fondo, è visibile, per esempio, in Figura 4.3.1.31. La figura illustra una spezzata del transetto 3033, eseguito nella campagna di settembre, a 200 metri dalla draga. Il pennacchio evidenziato raggiunge una concentrazione massima di 71 mg/l localizzata nei due nuclei laterali riconducibili appunto al rilascio dovuto allo sfioro.

La draga ha operato con modalità di scavo diverse nelle due campagne esaminate e di seguito si espongono le principali differenze riscontrate. Nella campagna dal 18 al 22 luglio la fase di riempimento della tramoggia della draga, con il meccanismo dello sfioro per aumentarne la capacità di carico, si esauriva in circa 2 – 3 ore dall'inizio delle operazioni. Durante la campagna di settembre invece, la fase di scavo si è progressivamente allungata fino a 4 – 5 ore. Tale rallentamento della fase di carico ha comportato presumibilmente, facilitando la deposizione del sedimento all'interno della tramoggia, un minor rilascio di sedimenti nella colonna d'acqua

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

nell'unità di tempo. Oltre a quanto sopraccitato, l'osservazione diretta in campagna, ha messo in evidenza altre differenze.

Nella campagna di luglio, pur non essendoci stati forniti i dati di posizione della draga, si è osservato che quest'ultima operava presumibilmente all'interno della zona di scavo, procedendo solo in avanti, con spostamenti all'indietro con i rastrelli alzati, per riposizionarsi e quindi riprendere a scavare. Lo scavo intermittente, unitamente al meccanismo dello sfioro, ha provocato, in relazione alla velocità della corrente presente nel sito di misura, la formazione di diversi pennacchi di sedimenti spazialmente localizzati a diverse distanze fra loro, chiaramente visibili, trascinati dalla corrente. Tali nubi di sedimento sono generalmente intercalate da zone "pulite" caratterizzate da più bassi livelli di concentrazione dei solidi sospesi. Nella campagna di settembre invece, sono stati parzialmente forniti i dati di posizione della draga, la quale ha operato in una zona più vasta del Canale di Porto Lido, senza interruzioni, se non per girarsi su se stessa e riprendere subito a scavare (Figura 4.3.1.9 e Figura 4.3.1.10). La draga ha quindi rilasciato il sedimento in maniera pressoché continua e non a "nubi" distinte e distanziate come successo nella campagna di luglio.

Le mappe presentate dall'OGS in questo rapporto sono state ottenute con i dati di posizione raccolti in campagna con un ricevitore GPS Trimble ed il programma di acquisizione ArcPad. Le curve batimetriche, la posizione dei canali, delle barene e di tutti gli altri elementi riportati sono state ricavate dalla "Carta Tecnica Regionale" della Regione del Veneto. In tale carta le coordinate piane sono definite dal sistema nazionale Gauss-Boaga, datum Roma40 zona est, e tale definizione è stata mantenuta nelle rappresentazioni. Il programma di calcolo utilizzato per l'elaborazione e la presentazione delle figure riportate è l'ArcView GIS.



Figura 4.3.1.9. Lo spostamento della draga il giorno 14/09/2005 dalle 10:10 alle 12:00 (D01-D23).



Figura 4.3.1.10. Lo spostamento della draga il giorno 15/09/2005 dalle 13:50 alle 17:10 (D24-D64).

Le caratteristiche della draga e la zona di lavoro hanno influenzato le modalità operative adottate per l'esecuzione delle misure, sia mediante transetti con ADCP che per mezzo dell'acquisizione di profili mediante torbidimetro, durante le campagne in esame ed in particolare: la distanza di effettuazione delle misure dalla sorgente, non è mai scesa al di sotto di un certo limite, al fine di evitare il più possibile le pesanti infiltrazioni di bolle d'aria nella colonna d'acqua nella zona prossima allo sfioro e nella scia della draga in movimento.

L'esecuzione di transetti a zig-zag a valle della draga, effettuati con lo scopo di caratterizzare il pennacchio di torbida e seguirne la sua evoluzione, ha messo in evidenza le difficoltà nelle misure dovute al forte traffico di natanti presente nella zona di lavoro. Le scie delle imbarcazioni di passaggio nella zona d'indagine hanno talvolta alterato, in maniera non rimediabile, i valori di concentrazione dei solidi sospesi ricavati mediante la calibrazione.

La diffusione del materiale sospeso è un processo dinamico, governato principalmente dalla corrente, dalla dimensione delle particelle, nonché dal tasso di rilascio e dalla concentrazione alla sorgente (draga). Inoltre la draga è costantemente in movimento e quindi rilascia il materiale in punti diversi. Le considerazioni esposte di seguito, con i dati a disposizione, sono possibili solamente basandosi su alcune semplificazioni.

Si espongono di seguito in dettaglio alcuni transetti eseguiti durante le due campagne in esame, presentati nei Rapporti precedenti (torbidità-rapporto campagna VI.pdf e torbidità-rapporto campagna VII.pdf).

Il transetto 2010 (Figura 4.3.1.11) eseguito il giorno 18 luglio 2005, viene scelto per illustrare la diffusione del materiale solido sospeso a valle della draga in condizioni di corrente entrante di 0.65 m/s in media per tutto il percorso, nel periodo tra la marea dell'ultimo quarto e la fase sizigiale (quattro giorni prima del plenilunio). La draga è giunta in zona lavori alle ore 15 circa e verso le 17:20 ha lasciato l'area. Il transetto è iniziato alle ore 16:12, circa un'ora dopo l'arrivo della draga, ed è terminato alle ore 16:40.



Figura 4.3.1.11. Rotte seguite per l'esecuzione del transetto 2010 in condizioni di corrente di marea entrante di 0.65 m/s, dalle 16:12 alle 16:40. La draga si trova a circa 200 m di distanza dalla spezzata 1-2.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.12. Transetto 2010, concentrazione dei solidi sospesi lungo la prima spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza dal baricentro della cella di scavo: 125 m. Corrente media entrante: 0.56 m/s.



Figura 4.3.1.13. Transetto 2010, concentrazione dei solidi sospesi lungo la seconda spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza dal baricentro della cella di scavo: 220 m. Corrente media entrante: 0.68 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.14. Transetto 2010, concentrazione dei solidi sospesi lungo la terza spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza dal baricentro della cella di scavo: 350 m. Corrente media entrante: 0.67 m/s.



Figura 4.3.1.15. Transetto 2010, concentrazione dei solidi sospesi lungo la quarta spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza dal baricentro della cella di scavo: 510 m. Corrente media entrante: 0.68 m/s.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Questo transetto si estende dalla zona poco profonda vicina alla sponda dell'isola di Sant'Erasmo, fino a metà del canale. Il bassofondo ha impedito la caratterizzazione del pennacchio nell'intera sua larghezza. In questo caso abbiamo supposto la sorgente di sedimenti fissa in un punto corrispondente al centro della cella di scavo dall'inizio alla fine delle misure. I passaggi con l'imbarcazione attraverso la zona del pennacchio (area di massima concentrazione) sono in anticipo, con lo scostamento di 10-20 minuti, rispetto alla diffusione del materiale sospeso, che viaggia con la corrente dal momento del rilascio. Questo significa che durante il percorso sono state osservate parti del pennacchio rilasciate in diversi istanti e che pertanto le spezzate dello stesso transetto non necessariamente rilevano lo "stesso "pennacchio. Solo supponendo che il rilascio del materiale si verifichi in regime quasi stazionario ed in maniera pressoché continua, possiamo ipotizzare che un transetto taglia lo stesso pennacchio, indipendentemente dal tempo di attraversamento del pennacchio stesso. Sull'interpretazione delle misure eseguite in regime non stazionario si tornerà nelle Considerazioni Finali.

L'ultima spezzata, la quinta, attraversa la stessa zona di concentrazione massima della spezzata precedente e quindi non viene considerata. La prima spezzata (Figura 4.3.1.12) posta a circa 200 m di distanza dalla draga, per evitare l'infiltrazione delle bolle d'aria, mostra la presenza di un pennacchio di sedimenti che si estende anche nella zona a basso fondale che raggiunge, negli strati superficiali, una concentrazione massima di 60 mg/l, mentre il valore medio lungo la colonna d'acqua raggiunge quasi i 50 mg/l. La sua forma con due nuclei di maggior concentrazione si associa allo sfioro dei sedimenti ai due lati della draga. Il pennacchio rimane "appoggiato" lungo il pendio del fondale (Figura 4.3.1.13, Figura 4.3.1.14 e Figura 4.3.1.15). Nella quarta spezzata il massimo della concentrazione scende sotto ai 50 mg/l.



Figura 4.3.1.16. Andamento della concentrazione del materiale sospeso nel pennacchio con la distanza dalla draga per le quattro spezzate del transetto 2010.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

La curva di decadimento della concentrazione del pennacchio per le quattro spezzate del transetto 2010 è rappresentata in Figura 4.3.1.16. In queste condizioni, alla distanza di circa 500 metri dal centro dell'area di scavo il materiale sospeso è ancora abbondante con una concentrazione media del pennacchio di 32 mg/l. Si rileva una lenta diminuzione della concentrazione del materiale in sospensione all'aumentare della distanza dalla sorgente. Nella fattispecie tale comportamento potrebbe essere dovuto al rapido trasporto del materiale sospeso, alimentato alla sorgente in maniera pressoché continua, con una corrente, che, durante l'esecuzione del transetto, raggiungeva gli 0.68 m/s.

Si esaminano di seguito i transetti 3021 e 3033, eseguiti durante la campagna successiva, rispettivamente nei giorni 14 e 15 settembre 2005, nel periodo di luna crescente, ovvero tra la quadratura e la sizigia, con le correnti di marea in aumento. La Figura 4.3.1.17 mostra l'andamento della corrente assiale media, misurata dall'ADCP fisso alla bocca di porto di Lido, nei giorni di esecuzione di tale campagna.



Figura 4.3.1.17. Diagramma della corrente assiale, mediata lungo la colonna d'acqua, misurata per mezzo dell'ADCP fisso nella bocca di porto di Lido. Sono indicate le durate dei transetti 3021 e 3033.

Per i giorni 14, 15 e 16 di settembre erano stati forniti i dati di posizione della draga ASTRA operante nella zona lavori. Questi dati hanno messo in evidenza sia l'orario complessivo dell'attività della draga (Figura 4.3.1.17), che lo spostamento della stessa durante l'esecuzione delle misure (Figura 4.3.1.9 e Figura 4.3.1.10). Secondo i dati forniti la consistenza di scarico gradualmente aumenta durante l'attività, e varia da 1.024 a 1.030 t/m³. I due esempi successivi si distinguono per le diverse condizioni operative in quanto:

- a) il transetto 3021 è cominciato dopo quasi due ore dall'inizio degli scavi, ed è proseguito anche ad attività di dragaggio conclusa, mentre il transetto 3033 è stato eseguito nel periodo centrale dell'attività di scavo, durata complessivamente 4 ore e 30 minuti;
- b) il percorso della draga al di fuori della cella di scavo in corrispondenza del transetto 3021 (Figura 4.3.1.9), è più corto di quello in corrispondenza del transetto 3033 (Figura 4.3.1.10);
- c) il transetto 3021 è stato eseguito in un periodo di massima corrente uscente, mentre il transetto 3033 si svolge nella fase di corrente entrante.

Il transetto 3021, il cui percorso è illustrato nella Figura 4.3.1.18, è stato eseguito a valle della draga, con una corrente media uscente di 0.5 m/s. Tale transetto è iniziato alle 11:46 e terminato alle 12:47 all'imboccatura del canale, coprendo quindi una zona compresa tra i 200 e i 2200 metri circa dalla draga. Nella stessa figura è anche evidenziato lo spostamento della draga dal punto D20 al punto D23 durante l'esecuzione del transetto. L'acquisizione dati è avvenuta in concomitanza con il massimo di corrente di marea per cui, pur prolungandosi per circa un'ora, la velocità della corrente si è mantenuta abbastanza costante nel periodo di misura.

La prima spezzata rivela valori di concentrazione massima che raggiungono i 94 mg/l, mentre il valore medio lungo la colonna d'acqua non supera i 70 mg/l (Figura 4.3.1.19). La forma della nube del materiale sospeso è asimmetrica. Il pennacchio è ben distinto dall'ambiente non disturbato e la sua larghezza è di circa 80-90 m. Le spezzate successive (Figura 4.3.1.20 - Figura 4.3.1.28) mostrano il decadimento del materiale in sospensione.



Figura 4.3.1.18. Rotte seguite per l'esecuzione del transetto 3021 (34-FaroS) in condizioni di corrente di marea uscente di 0.50 m/s dalle 11:46 alle 12:47 e spostamento della draga nello stesso intervallo. La distanza della draga dalla spezzata 34-35 è di circa 220 m.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.19. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la prima spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 220 m. Corrente media uscente: 0.57 m/s.



Figura 4.3.1.20. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la seconda spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 330 m. Corrente media uscente: 0.59 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.21. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la terza spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga : 540 m. Corrente media uscente: 0.52 m/s.



Figura 4.3.1.22. Transetto 3021, la quarta spezzata, concentrazione dei solidi sospesi: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 700 m. Corrente media uscente: 0.56 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.23. Transetto 3021, la quinta spezzata, concentrazione dei solidi sospesi: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 900 m. Corrente media uscente: 0.55m/s.



Figura 4.3.1.24. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la sesta spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 1100 m. Corrente media uscente: 0.60 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.25. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la settima spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 1380 m. Corrente media uscente: 0.51m/s.



Figura 4.3.1.26. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la ottava spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 1550 m. Corrente media uscente: 0.47 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.27. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la nona spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 2050 m. Corrente media uscente: 0.43 m/s.



Figura 4.3.1.28. Transetto 3021, concentrazione dei solidi sospesi lungo la decima spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 2250 m. Corrente media uscente: 0.38 m/s.



Figura 4.3.1.29. Andamento della concentrazione dei solidi sospesi nel pennacchio in relazione alla distanza dalla draga per le dieci spezzate del transetto 3021.

La Figura 4.3.1.29 mostra l'andamento della concentrazione del pennacchio in relazione alla distanza dalla draga per il transetto 3021. In questo caso, pur essendo in possesso dei dati di posizione della draga, si è assunto che quest'ultima rimanesse ferma, nella posizione rilevata nell'istante corrispondente al punto medio della prima spezzata. La curva di decadimento mostra una concentrazione elevata, di quasi 65 mg/l a circa 200 m e un rapido decadimento del materiale sospeso entro i 750 m di distanza. Dai 1000 m in poi i livelli di concentrazione si mantengono sotto ai 6 mg/l.

Il transetto 3033 è iniziato alle ore 16:14 e si è concluso alle ore 16:31. Il percorso illustrato nella Figura 4.3.1.30, rivela che solo le ultime tre spezzate sono state eseguite a valle della draga, con una corrente media entrante di 0.55 m/s. L'acquisizione dati, che copre un intervallo di 15 minuti, è stata effettuata durante una fase di corrente di marea entrante prima del suo massimo, e la velocità della corrente si è mantenuta abbastanza costante.



Figura 4.3.1.30. Rotte seguite per l'esecuzione del transetto 3033 (59-64) in condizioni di corrente di marea entrante di 0.55 m/s dalle 16:14 alle 16:31 ed il corrispondente spostamento della draga (D52-D56). La draga si trova a circa 200 m di distanza a monte dalla spezzata 61-62.



Figura 4.3.1.31. Transetto 3033, concentrazione dei solidi sospesi lungo la terza spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 200 m. Corrente media entrante: 0.56 m/s.

CORILA ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI



Figura 4.3.1.32. Transetto 3033, concentrazione dei solidi sospesi lungo la quarta spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 400 m. Corrente media entrante: 0.58 m/s.



Figura 4.3.1.33. Transetto 3033, concentrazione dei solidi sospesi lungo la quinta spezzata: distribuzione verticale (a) e la media verticale (b). Distanza del punto medio della spezzata dalla draga: 550 m. Corrente media entrante: 0.58 m/s.

La prima spezzata presa in considerazione (Figura 4.3.1.31) indica due nuclei di massima concentrazione intorno ai 70 mg/l contenuti in un pennacchio largo 80 m; sono presenti alcune scie di imbarcazioni. I valori medi lungo la colonna d'acqua non superano i 50 mg/l. A destra del pennacchio principale si osserva una zona di concentrazione di 20 mg/l, con una larghezza di 50 m in corrispondenza del fondo, che è probabilmente dovuta ad un rilascio precedente. L'elevata concentrazione del pennacchio principale si può associare al recente rilascio del materiale che non è stato rilevato nelle successive due spezzate (Figura 4.3.1.32 e Figura 4.3.1.33).



Figura 4.3.1.34. Andamento della concentrazione dei solidi sospesi nel pennacchio in relazione alla distanza dalla draga per le tre spezzate del transetto 3033.

La curva di decadimento della concentrazione del pennacchio è illustrata in Figura 4.3.1.34. Si può dedurre che entro i primi 600 m di distanza dalla draga avviene un lento decadimento del materiale in sospensione, come osservato nel caso del transetto 2010. La similitudine riscontrata nell'evoluzione del pennacchio dei transetti 3033 e 2010 potrebbe essere riconducibile non solo alle simili condizioni della corrente (intensità di circa 0.60 m/s), ma anche alla simile consistenza e quantità del materiale rilasciato durante lo sfioro.

Dall'analisi degli esempi esposti, emergono i limiti e le difficoltà nell'interpretare il fenomeno di diffusione del materiale sospeso dovuti principalmente:

- ✓ alla semplificazione del fenomeno osservato;
- ✓ alla mancanza di dati dettagliati sulla quantità e composizione del materiale rilasciato alla sorgente;
- ✓ al fatto che la sorgente dei sedimenti è in movimento e rilascia il materiale in maniera discontinua.

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

5 CONSIDERAZIONI FINALI

Il monitoraggio delle tre tipologie di scavo sinora esaminate (draga a benna, draga idrorefluente e draga idrorefluente a sfioro) ha comportato principalmente la difficoltà di scegliere una metodologia di campionamento idonea per la misura dell'impatto derivante dalle opere di scavo, in termini di concentrazione del particellato solido in sospensione. In alcuni casi, la mancanza di sincronia tra le attività di dragaggio e quelle di misura, a causa dell'impossibilità di ottenere informazioni precise sugli orari di scavo, ha complicato l'esecuzione del monitoraggio, il cui successo è condizionato anche dalla collaborazione fra gli esecutori delle attività di misura e gli operatori impegnati nelle operazioni di scavo.

Le prime campagne di misura, eseguite alla bocca di porto di Chioggia per monitorare gli effetti derivanti dall'impiego di draghe a benna, hanno consentito di mettere a punto la metodologia sperimentale scelta, basata sull'acquisizione di transetti ADCP a valle della cella di scavo, a distanze progressivamente maggiori dalla sorgente di sedimenti. Lo schema di campionamento adottato ha evidenziato, in questo caso, la difficoltà di tracciare in modo efficace il pennacchio di sedimenti prodotto dal dragaggio a causa del ciclo di lavoro discontinuo della draga a benna. Inoltre, il tentativo di avvicinarsi il più possibile alla draga, per poter stimare la concentrazione del particellato solido in sospensione in prossimità della fonte di materiale risospeso, non ha dato esito positivo a causa dell'errore non accettabile indotto dall'elevata turbolenza presente nella zona di dragaggio.

In generale, si può, comunque, osservare come la dispersione del materiale risospeso dipenda principalmente dalle condizioni idrodinamiche (velocità della corrente e condizioni mareali), portando ad un decadimento piuttosto rapido del pennacchio di sedimento in sospensione con velocità elevate della corrente (marea di sizigie e fase centrale del calante o del crescente). Per esempio, in condizioni di marea di sizigie con una velocità assiale media della corrente pari a -0.9 m/s, il flusso solido all'interno del pennacchio registrato a 700 m di distanza dalla cella di scavo si riduce ad un terzo (-6.2 kg/s) del flusso calcolato a 400 m dalla draga (-18.6 kg/s), anche se è comunque più elevato del valore del flusso solido di una area equivalente nelle zone della sezione non perturbate dalle attività di scavo (-2.9 kg/s).

Per quanto riguarda le curve di decadimento longitudinale, bisogna ricordare quanto detto nel paragrafo precedente a proposito del transetto 2010, e cioè che tali curve possono tracciarsi direttamente solo se il pennacchio ha raggiunto lo stato stazionario (velocità della corrente e immissione di sedimenti praticamente costante per un sufficiente periodo di tempo di tempo prima dell'istante di rilievo). Se l'operazione di dragaggio è iniziata troppo di recente, bisogna tener conto che la concentrazione ad una certa distanza dalla draga cresce asintoticamente verso il valore stazionario. Il regime transitorio che si stabilisce per il pennacchio può essere simulato con un semplice modello di dispersione e deposizione di sedimenti.

Il monitoraggio della draga idrorefluente è stato condizionato altresì dal tipo di cantiere realizzato per la costruzione del porto rifugio del Canale di Treporti alla bocca di porto di Lido. Il basso fondale e l'estremità della scogliera già posata, di cui la draga stava preparando la sezione di imbasamento, hanno impedito la navigazione e l'esecuzione delle misure nel tratto antistante la barriera del porto rifugio.

Nonostante questi problemi logistici nell'esecuzione dei transetti ADCP, l'analisi e l'elaborazione dei dati dimostrano come l'attività svolta da questa tipologia di draga sia la meno impattante tra

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

quelle considerate, in quanto il materiale aspirato dall'attrezzo di scavo veniva trasportato, mediante una conduttura a tenuta stagna, all'interno del terrapieno del bacino e l'impatto dello scavo era localizzato nello spazio in prossimità della testa dell'attrezzo con scarsa influenza, ovviamente, delle condizioni idrodinamiche. In questo caso l'impatto ambientale dell'attività delle chiatte addette alla posa dei massi sulla barriera del bacino si è dimostrato più consistente rispetto a quello derivante dal dragaggio stesso.

L'ultima tipologia di draga monitorata, l'idrorefluente a sfioro, è sicuramente la più impattante in termini di risospensione tra quelle esaminate a causa del suo ciclo di lavoro che è basato sull'utilizzo di un meccanismo di sfioro per aumentare la capacità della tramoggia di carico. Il ciclo di scavo e gli impatti da esso derivanti hanno richiesto in questo caso uno schema di campionamento diverso da quelli applicati in precedenza e basato sull'esecuzione di percorsi a zig-zag a valle della cella di scavo. Ciascun percorso è costituito da più spezzate la cui larghezza viene il più possibile adattata alla larghezza del pennacchio di torbida. Questo metodo si è dimostrato il più "produttivo" tra quelli sperimentati nel corso delle varie campagne di misura, perché consente di tracciare in modo più efficace il percorso del pennacchio di materiale risospeso e di determinare la distanza massima di dispersione del sedimento.

Come si è detto, le misure effettuate vanno opportunamente interpretate tenendo presente che le concentrazioni lungo il pennacchio decadono allontanandosi dalla draga, ma possono aumentare nel tempo se non si è ancora raggiunto il regime stazionario. Anche in regime stazionario, peraltro, le condizioni idrodinamiche del periodo in cui le misure sono state acquisite influenzano significativamente il decadimento della concentrazione del materiale dragato. In condizioni di marea di quadratura, quindi con velocità della corrente piuttosto basse, il sedimento risospeso viene disperso molto lentamente e si rideposita prevalentemente in prossimità dell'area di dragaggio. In condizioni di sizigie, invece, in presenza di velocità della corrente relativamente elevate, il pennacchio di torbida viene disperso più velocemente e può essere trasportato a distanze maggiori. Tutti questi meccanismi possono essere incorporati in un modello di dispersione e deposito del pennacchio, il quale dia ragione delle misure effettuate in diverse condizioni idrodinamiche e di dragaggio.

Comunque, in base ai risultati ottenuti nelle diverse fasi del monitoraggio di questo tipo di impianto, si può affermare che, in condizioni meteomarine normali, con una velocità media della corrente compresa tra 0.5 e 0.6 m/s, ad una distanza superire ad 1 km dalla sorgente, la risospensione indotta delle operazioni di dragaggio è confrontabile con i livelli mediamente presenti in bocca di porto di Lido in condizioni imperturbate (7.1 mg/l, valore medio ricavato dalla serie temporale oraria di concentrazioni di SPM ottenuta dall'ADCP fisso al fondo della bocca di Lido).

A parte l'effetto della velocità della corrente, l'interpretazione dei dati, però, non è sempre così agevole anche a causa della mancanza di informazioni dettagliate sulle condizioni al contorno, cioè sul ciclo di scavo della draga (durata dello scavo e dello sfioro, quantità di materiale scavato ed aspirato dalla pompa, quantità rilasciata dal sistema di sfioro), sugli orari di scavo, sulla posizione e i percorsi eseguiti dalla draga e sulla densità della miscela allo sfioro, rendono estremamente difficile la stima del rilascio di sedimenti alla fonte o la costruzione di curve di decadimento del tutto realistiche. Le curve di decadimento mostrate nella discussione dei risultati evidenziano come sia difficile individuare un comportamento standard, non solo per la forte incidenza delle condizioni idrodinamiche, ma anche perché le modalità di scavo della draga possono variare notevolmente, passando da una situazione in cui la draga rimane all'interno di una determinata cella di scavo a quella in cui la draga si sposta anche di molto seguendo un proprio percorso operativo.

TORBIDITÀ-RAPPORTO VALUTAZIONE

ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Queste limitazioni consentono, quindi, di proporre unicamente un modello semplificato del fenomeno di dispersione del materiale dragato, che può essere valutato nell'ipotesi che il rilascio avvenga in condizioni ideali, e cioè imponendo che la sorgente del rilascio di sedimenti sia localizzata al centro della cella di scavo, la velocità media della corrente sia costante ed il rilascio attraverso lo sfioro sia uniforme. Diversamente sarà possibile ottenere risultati più informativi qualora si possa effettuare una sperimentazione programmata dell'attività di cantiere, con il natante che opera in modo continuo esclusivamente all'interno di una cella di scavo di dimensioni ridotte e in condizioni idrodinamiche tali per cui non si verifichino variazioni significative del campo di corrente nell'intervallo di tempo necessario all'esecuzione delle misure.

6 BIBLIOGRAFIA

Bray, R.N., Bates, A.D. and J.M. Land, 1997. Dredging. A Handbook for Engineers (Second Edition), Arnold, London, pp 434.

Consorzio Venezia Nuova, 2005. Rapporto sullo stato di avanzamento al 15/06/2005 degli interventi alle Bocche di Porto per la difesa dalle acque alte.

Dankers, P.J.T., 2002. The behaviour of fines released due to dredging. A literature review, Delft University of Technology, the Netherlands, pp 59.

Dredging Research Ltd, 2003. Sediview V3 User Manual. DRL Software Ltd, Godalming, Surrey GU7 1LG, UK, p. 62.

HR Wallingford Ltd and Dredging Research Ltd, 2003. Protocol for the field measurement of sediment release from dredgers, Issue No 1, Pub HR Wallingford Ltd, Howbery Park, Wallingford, Oxon (UK), August 2003.

Land, J.M. and Bray, R.N. 2000. Acoustic measurement of suspended solids for monitoring of dredging and dredged material disposal. *Journal of Dredging Engineering*, 2 (3), 1-17.

Puckette, T.P., 1998. Evaluation of dredged material plumes - Physical monitoring techniques, *DOER Technical Notes Collection* (ERDC TN-DOER-E5), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <u>http://www.wes.army.mil/el/dots/doer</u>.

Reine, K.J., Clarke, D.G. and C. Dickerson, 2002. Acoustic characterization of suspended sediment plumes resulting from barge overflow, *DOER Technical Notes Collection* (ERDC TN-DOER-E15), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <u>http://www.wes.army.mil/el/dots/doer</u>.

Tubman, M.W. and W.D. Corson, 2000. Acoustic monitoring of dredging-related suspendedsediment plumes, *DOER Technical Notes Collection* (ERDC TN-DOER-E7), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. <u>http://www.wes.army.mil/el/dots/doer</u>