

**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**

**Provveditorato Interregionale alle Opere Pubbliche – Veneto -Trentino Alto  
Adige – Friuli Venezia Giulia  
Servizio Informativo - Consorzio Venezia Nuova**

**Sintesi delle conoscenze disponibili presso il  
Servizio Informativo  
inerenti alcune questioni emerse nell'ambito  
del Progetto del Canale Contorta**

**09 marzo 2015**

## Indice

Premessa.....	4
1	Possibilità di riuso dei sedimenti di dragaggio dal Canale Contorta S. Angelo..... 5
1.1	I sedimenti come risorsa..... 5
1.2	Siti di recapito dei sedimenti previsti nell'ambito degli interventi di ricostruzione morfologica..... 7
2	Tecniche di realizzazione delle strutture artificiali a velma e barena nella laguna di Venezia desunti dall'esperienza del Provveditorato ..... 9
2.1	Sistemi per la dissipazione del moto ondoso, l'intercettazione dei sedimenti e la protezione delle strutture morfologiche artificiali..... 9
2.1.1	Realizzazione di strutture morfologiche artificiali a velma e barena e loro funzione ecosistemica..... 10
2.1.2	Interventi di protezione delle strutture morfologiche naturali e artificiali..... 13
2.1.3	Interventi per favorire la sedimentazione ..... 23
2.1.4	Gli stadi evolutivi delle strutture morfologiche artificiali a barene..... 25
2.2	Canali di grande navigazione: caratteristiche delle conterminazioni necessarie a garantire l'efficienza nella protezione delle strutture morfologiche artificiali e dei fondali retrostanti (esperienza Canale Malamocco-Marghera) ..... 33
2.3	Tecniche di stabilizzazione del fondale ..... 36
2.3.1	Trapianto di fanerogame marine sui fondali..... 36
2.4	Grado di confinamento del canale rispetto al basso fondale (ubicazione e dimensionamento dei varchi)..... 38
2.4.1	Mappe di abitabilità delle comunità biologiche acquatiche sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche del sito (Suitability index)..... 39
2.4.2	Erodibilità dei fondali ..... 47
2.5	Valutazioni sull'effetto della realizzazione delle strutture sulle aree di venericoltura ..... 60
2.5.1	Pesca artigianale ..... 60
2.5.2	Venericoltura..... 63
2.5.3	Effetti derivanti dalla risospensione dei sedimenti determinata dalle opere di scavo..... 66
2.6	Valorizzazione del paesaggio e delle funzioni ecosistemiche..... 71

2.6.1	Servizi ecosistemici .....	74
3	Considerazioni in merito agli effetti di dragaggi in ambito lagunare sulla qualità dei corpi idrici .....	80
3.1	Qualità dei corpi idrici dell'area .....	80
3.2	Torbidità in laguna di Venezia .....	88
3.3	Buone pratiche nelle attività di dragaggio per il controllo della torbidità ed il rilascio dei contaminanti .....	98
3.4	Campagne di monitoraggio degli effetti dei dragaggi eseguiti in area MAPVE .....	105
4	Valutazioni preliminari di natura idraulica in merito allo scavo del Canale Contorta S. Angelo .....	107
4.1	Portate e volumi scambiati alle bocche di porto .....	109
4.2	Livelli di marea a Punta Salute .....	110
4.3	Campi di moto nelle aree lagunari prossime al canale .....	111
4.4	Ricambio idrico nell'area tra Canale Contorta e Ponte della Libertà .....	116
4.5	Flussi tra Porto Marghera e aree di basso fondale prospicienti Venezia .....	116
4.6	Diffusione di inquinanti dall'area industriale verso i bassi fondali antistanti ed il centro storico .....	119
4.7	Velocità e fenomeni sedimentativi nel nuovo canale .....	123
4.8	Fenomeni erosivi sulle aree di basso fondale .....	123
5	Bibliografia .....	125
5.1	Bibliografia del capitolo 2 .....	125
5.1.1	Principali fonti derivanti da attività del Provveditorato .....	125
5.1.2	Altre fonti.....	126
5.2	Bibliografia del capitolo 3 .....	126
5.2.1	Principali fonti derivanti da attività del Provveditorato .....	126
5.2.2	Altre fonti.....	127

## **Premessa**

Il Provveditorato ha richiesto al suo concessionario, Consorzio Venezia Nuova, di sinterizzare, nell'ambito delle attività di sua competenza, dati ed informazioni utili ad approfondire alcune tematiche attinenti la possibilità di adeguamento della via acquea di accesso alla stazione marittima di Venezia e di riqualificazione delle aree limitrofe al Canale Contorta S. Angelo, il cui progetto preliminare è attualmente oggetto di procedura di Valutazione di Impatto Ambientale.

Il presente documento sintetizza alcune conoscenze sulle problematiche della salvaguardia idraulica, morfologica ed ambientale della laguna di Venezia connesse al tema in oggetto.

Tali conoscenze sono state sviluppate a seguito di attività di valutazione e monitoraggio dello stato dell'ecosistema, di indagini collegate all'effettuazione di interventi di recupero morfologico e nell'ambito delle procedure autorizzative (valutazioni di impatto, valutazioni di incidenza, monitoraggi *ante* e *post operam*) degli interventi di competenza.

Il documento intende delineare le principali evidenze emerse dagli studi ed attività promosse dal Provveditorato, con le fonti utilizzate che vengono riportate all'inizio di ogni capitolo ed a cui si rimanda per gli eventuali approfondimenti.

Il primo capitolo introduce la tematica del riuso dei sedimenti prodotti dalle attività di dragaggio effettuate nell'ambito degli interventi di recupero morfologico nella laguna di Venezia.

Il secondo capitolo riassume le tecniche di progettazione degli interventi, le problematiche, i dati e gli strumenti necessari per la loro realizzazione.

Il terzo capitolo riporta le esperienze maturate nell'ambito delle attività di dragaggio, comprensive delle tecnologie operative, dei dati raccolti nell'ambito dei monitoraggi e dei loro risvolti ambientali.

Il quarto capitolo tratta alcune tematiche di natura idraulica, idrodinamica ed ambientale connesse allo scavo del canale Contorta espresse a seguito dell'effettuazione di elaborazioni modellistiche.

Nel quinto capitolo si delineano le principali indicazioni di cui tenere conto nella progettazione dei monitoraggi di tipo ambientale.

Al sesto capitolo sesto viene raccolta tutta la bibliografia citata.

# **1 Possibilità di riuso dei sedimenti di dragaggio dal Canale Contorta S. Angelo**

## **1.1 I sedimenti come risorsa**

Ad oggi la gestione dei sedimenti in laguna di Venezia è regolata dalla legge 360/1991 per la cui applicazione è stato definito un Protocollo d'Intesa recante "Criteri di sicurezza ambientale per gli interventi di escavazione, trasporto e reimpiego dei fanghi estratti dai canali di Venezia", il cosiddetto "Protocollo Fanghi 1993", sottoscritto per risolvere la situazione di emergenza maturata progressivamente a causa del mancato ripristino della navigabilità dei canali di Venezia che non venivano dragati da anni in assenza di criteri e siti di recapito dei fanghi scavati.

Tale Protocollo definisce il riutilizzo dei sedimenti, in base al rispetto di valori tabellari di concentrazione di determinati inquinanti, individuando quattro classi: A, B, C ed oltre C.

Il presupposto di tale impostazione è legato al fatto che la movimentazione dei sedimenti, producendo una teorica quanto temporanea modificazione dello stato chimico fisico dei sedimenti, possa dar luogo ad un indefinito rilascio di inquinanti, proporzionato alla concentrazione degli stessi a prescindere dalla loro biodisponibilità e dalle condizioni del contorno (temperatura, salinità, ossigenazione, caratteristiche granulometriche, ecc.) ed in ogni caso ipotizzando una compromissione delle funzionalità ecologiche dell'ambiente lagunare e inducendo un non meglio definito rischio per la salute umana.

Da sottolineare che il Protocollo quale atto amministrativo, è stato adottato in via sperimentale l'8 aprile del 1993, con validità di 365 giorni e non è stato mai formalmente rinnovato né prorogato, anche se è diventato prassi consolidata fino alla realizzazione dell'Isola delle Tresse che, costruita per accogliere i sedimenti di dragaggio dei canali portuali, è stata realizzata tenendo conto non solo di quanto indicato dal protocollo '93, ma soprattutto di quanto stabilito dal DM 471/99 per i suoli a destinazione produttiva, ovvero di non superare i valori di concentrazione indicati in colonna B del DM stesso. Da rilevare che l'Isola delle Tresse si è configurata fin dall'inizio quale "discarica" per fanghi inquinati piuttosto che un'isola nella quale venivano riutilizzati i sedimenti ai sensi del protocollo '93, ciò a confermare che già nel passato altri riferimenti amministrativi applicativi di diverse normative sono prevalsi per la destinazione dei sedimenti lagunari.

Tale protocollo è divenuto prassi amministrativa piuttosto che procedura tecnica assoggettata a verifica, ovvero le tabelle sono divenute criteri oggettivi di protezione dell'ambiente, senza aver operato alcuna verifica sperimentale di campo.

In oltre 20 anni di vigenza della prassi del ricorso al Protocollo in parola, sono stati effettuati un certo numero di studi da parte del Magistrato alle Acque, con la supervisione di prestigiosi enti di ricerca internazionale, che hanno portato per lo più a descrivere una condizione di contaminazione dei sedimenti non omogenea. Tali studi non hanno però dimostrato significativi rilasci di inquinanti dalle operazioni di movimentazione legata ai dragaggi, dalla ricostruzione di velme e barene, dalle attività di navigazione e pesca, o dalla risospensione del sedimento legata agli eventi atmosferici, che sono di gran lunga le forze che operano per la movimentazione e la trasformazione dell'ambiente lagunare.

A prescindere dal fatto che la fondatezza scientifica del protocollo sia sempre stata piuttosto approssimativa per esplicita ammissione dei contraenti fin dalla sottoscrizione dello stesso, l'attualità deriva dai riferimenti tecnico scientifici europei intervenuti fin dal 2000 con l'introduzione della direttiva quadro n. 60. L'applicazione nella laguna di Venezia dei metodi di valutazione previsti dalla direttiva non ha evidenziato correlazioni significative tra la contaminazione dei sedimenti e le funzionalità ecosistemiche nonché la contaminazione della colonna d'acqua, infatti tutti i quattordici corpi idrici individuati nella laguna di Venezia sono stati classificati in stato chimico "buono" dopo gli esiti del primo triennio di monitoraggio operativo effettuato ai sensi della direttiva. Peraltro non si può non tenere conto del fatto che appena il 3% dei sedimenti lagunari appartiene alla classe A del protocollo, per cui il 97% dell'ambiente lagunare dovrebbe essere considerato inidoneo al riutilizzo in situ dei sedimenti.

In ogni caso, a fugare ogni dubbio sulla natura giuridica dei sedimenti lagunari, pendenti tra il regime dei rifiuti (protocollo Venezia ante DL 5 febbraio 1997, n. 22 – decreto Ronchi classificati con cod. CER 170505 o 170506 a seconda del livello di concentrazione di sostanze pericolose) ed il regime del riutilizzo dei materiali, valga per tutti il riferimento alla esclusione dei sedimenti dal regime dei rifiuti affermato con la Direttiva europea 98/2008/CE.

Tale esclusione dei sedimenti dal regime dei rifiuti lascia comunque in predicato la necessità dell'accertamento preliminare della presenza di sostanze che devono trovarsi comunque in concentrazioni inferiori al livello di pericolosità. Questi limiti sono molto più elevati delle concentrazioni che si riscontrano nei sedimenti della Laguna di Venezia negli ultimi 20 anni.

Per quanto attiene la fissazione di determinati limiti di riutilizzo dei sedimenti per la realizzazione di operazioni di ripascimento di velme o barene in erosione in relazione all'utilizzo di criteri di precauzione, va riaffermato che nella comunicazione del 2 febbraio 2000, la commissione europea ha chiarito che per il ricorso all'adozione di criteri restrittivi orientati alla tutela della salute umana e degli ecosistemi, il principio di precauzione può essere invocato solo quando "un fenomeno, un prodotto o un processo può avere effetti potenzialmente pericolosi, individuati tramite una valutazione scientifica e obiettiva, se questa valutazione non consente di determinare il rischio con sufficiente certezza".

In proposito occorre ribadire che tutte le valutazioni finora effettuate sull'ecosistema e sul bioaccumulo di sostanze pericolose nell'ambiente lagunare, non ha mai evidenziato effetti significativi.

Sulla base delle evidenze scientifiche riscontrate in 20 anni di studi dopo l'adozione del protocollo occorre prendere atto della necessità di dare applicazione a criteri tecnico scientifici fondati sull'accertamento della non pericolosità dei materiali da dragare e sul loro riutilizzo in situ, ricorrendo a procedure di valutazione di compatibilità dei materiali tra il sito di escavo ed il sito di destinazione al fine di evitare di generare rischi di non raggiungimento degli obiettivi ambientali o di non peggioramento dello stato di qualità chimico ed ecologico dei corpi idrici lagunari.

Ciò consentirà di provvedere alla ricostruzione delle barene e delle velme nell'ambito di interventi morfologici senza rischio per l'ambiente, riutilizzando i materiali di dragaggio ed evitando di conseguenza costi aggiuntivi, sia in termini di smaltimento di materiali dragati che di approvvigionamento di materiali idonei per le attività di recupero morfologico della laguna (ad esempio, da cave di sabbia in mare o dalla manutenzione di bacini idroelettrici montani) portando a sprechi di risorse senza prospettare reali benefici ambientali.

## **1.2 Siti di recapito dei sedimenti previsti nell'ambito degli interventi di ricostruzione morfologica**

In base alle "Leggi Speciali" (L. n. 171/1973, L. n. 798/1984, L. n. 139/1992), il Magistrato alle Acque di Venezia attraverso il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova ha in corso una serie di interventi di recupero morfologico e ambientale finalizzati al controllo dell'evoluzione negativa dell'ambiente lagunare, identificata nei suoi aspetti essenziali come perdita di velme e barene, appiattimento ed approfondimento dei bassifondi, interrimento dei canali, impoverimento di flora e fauna.

Gli interventi di recupero morfologico sinora realizzati, hanno permesso di ridurre la perdita dei sedimenti verso il mare e di limitare i processi di appiattimento ricostruendo strutture morfologiche artificiali a barena e a velma mediante il riutilizzo dei sedimenti provenienti dai dragaggi di manutenzione dei canali.

Secondo le priorità indicate nel *Piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia* i possibili siti di recapito dei sedimenti provenienti dal dragaggio del canale Contorta S. Angelo sono:

- Strutture morfologiche a protezione del canale Malamocco – Marghera

Secondo quanto previsto nel *Piano delle misure di compensazione, conservazione e riqualificazione ambientale dei SIC-ZPS -3250003 e IT3250023; dei SIC IT3250030 e IT3250031 e della ZPS IT3250046* ed in base allo stato di attuazione degli interventi previsti, i possibili siti di recapito dei sedimenti provenienti dal dragaggio del canale Contorta S. Angelo sono:

- Strutture morfologiche a barena nell'area Cenesa;
- Strutture morfologiche a velma lungo il canale Passaora;
- Strutture morfologiche a barena nell'area Bastia.

Inoltre in base alla verifica dello stato delle strutture morfologiche artificiali già realizzate è emerso che le seguenti strutture necessitano di un ulteriore refluitamento:

- Barena Sette Soleri
- Barena S.Cristina
- Barena Silone A
- Barena Silone C
- Barena S.Felice
- Barena Canale Fusina
- Barena S.Angelo
- Barena Traghetto B
- Barena Tezze Fonde
- Barena Cornio 4
- Barena Le Sorelle A
- Barena Le Sorelle B

- Barena Canal Battioro
- Barena lago Raina
- Barena Lago della Pietra
- Barena Gorna
- Barena casonetto Zappa
- Barena Buello 1
- Barena Buello 2
- Barena Buello 3
- Barena Otregan 1
- Barena Otregan 2
- Barena Otregan 6

Di seguito si riportano le strutture morfologiche di progetti già approvati di prossima realizzazione:

- Barena Lago delle Tese
- Barena Torson di Sopra
- BarenaContarina
- Barena Valle Battioro
- Barena Laghetto Tondo
- Barena Casone Battioro
- Barena Rame della Pietra
- Barena Volta Zappa
- Barena Lago Zappa
- Barena Volta Buora



## **2 Tecniche di realizzazione delle strutture artificiali a velma e barena nella laguna di Venezia desunti dall'esperienza del Provveditorato**

È attivo in laguna di Venezia un programma di interventi per il recupero morfologico, effettuati dal Provveditorato tramite il proprio concessionario Consorzio Venezia Nuova. Si tratta di interventi differenziati e tra loro complementari che comprendono il recupero morfologico e ambientale delle zone umide e delle piane a marea (barene e velme) riutilizzando i sedimenti provenienti dal dragaggio per la manutenzione dei canali lagunari soggetti all'interramento; dalla protezione dei bordi e della vegetazione delle barene esistenti con tecniche di ingegneria naturalistica alla realizzazione di sovralti per contrastare il moto ondoso fino al consolidamento dei fondali e delle strutture morfologiche emerse attraverso il trapianto di fanerogame e vegetazione alofila. Negli anni le tecniche di intervento sono state progressivamente modificate e migliorate sulla base delle esperienze acquisite.

### **2.1 Sistemi per la dissipazione del moto ondoso, l'intercettazione dei sedimenti e la protezione delle strutture morfologiche artificiali**

I paragrafi che seguono descrivono le modalità operative per la realizzazione delle strutture morfologiche artificiali come desumibili dai molteplici interventi già realizzati in laguna di Venezia dal Provveditorato e i metodi che sono stati messi in atto per favorire la cattura dei sedimenti e la protezione delle strutture stesse.

Anche la stabilizzazione dei fondali e gli interventi di messa a dimora di vegetazione, che possono riguardare le fanerogame marine sui fondali e la vegetazione alofila ed igrofila sulle barene, sono un efficace metodo per accelerare la colonizzazione naturale e migliorare la stabilità dei sedimenti refluiti e dei fondali. Per questo tipo di interventi si rimanda al paragrafo 2.3.

#### Principali documenti di riferimento:

L'analisi e la valutazione degli interventi realizzati dal Provveditorato sono raccolti in diversi studi dai quali sono state tratte le informazioni presentate ai paragrafi successivi.

In particolare gli studi utilizzati nel seguito sono:

- *MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI 2008. Studio C.2.10/IV Aggiornamento del piano morfologico in base alle richieste dell'ufficio di piano. Linea G. La valutazione tecnico-economica delle possibili opere di recupero ambientale. Sotto-attività G2 – Le modalità di intervento per mitigare le attuali cause del degrado; Sotto-attività G3 – Le modalità di intervento in grado di riattivare i dinamismi naturali e che aiutino a creare velme e barene. Rapporto finale. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova;*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2011. Studio C.1.10. "Valutazione dello stato degli habitat ricostruiti nell'ambito degli interventi di recupero morfologico". Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova;*

- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis e Studio Rinaldo, 2013. Strutture morfologiche per la protezione di bassofondali adiacenti il canale “S. Leonardo – Marghera”. Progetto esecutivo 1° stralcio 2^ fase Lotto attività di monitoraggio. Modello idrodinamico tridimensionale. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova;*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2014. Studio C.2.10/IV. Aggiornamento del piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*

### **2.1.1 Realizzazione di strutture morfologiche artificiali a velma e barena e loro funzione ecosistemica**

Le barene e le velme artificiali presentano un elevato valore ambientale, sia da un punto di vista idro-morfologico, per la loro capacità di conservarsi resistendo all'erosione e intercettando le correnti e il moto ondoso, sia da un punto di vista naturalistico, per la presenza e l'abbondanza di specie animali e vegetali tipiche degli ambienti intertidali. La presenza di velme e barene infatti riduce la formazione e la propagazione del moto ondoso da vento attraverso i fondali, conserva i flussi lungo i canali oltre a costituire una componente insostituibile del paesaggio lagunare per la capacità di auto conservarsi attraverso processi di biostabilizzazione e accrescimento del suolo rispetto al livello medio del mare; sono inoltre habitat di pregio in quanto ospitano biotopi e specie di rilevante interesse naturalistico: l'avifauna degli ambienti di estuario, l'entomofauna e le specie di vegetazione alofila.

Le esperienze maturate fino ad oggi negli interventi realizzati in laguna hanno portato a modificare i sistemi di conterminazione a seconda della esposizione al moto ondoso: in zone molto esposte si impiegano moduli ad alta resistenza (burghe con griglia in poliestere riempite con pietrame); in zone poco esposte sistemi a media resistenza costituite da moduli resistenti alla base e moduli degradabili sulla sommità; in zone non esposte sistemi a bassa resistenza, i buzzoni (degradabili) o fascinate di sedimentazione per favorire la cattura dei sedimenti in sospensione.

La protezione del bordo delle barene con sovralti o spiagge ridossate realizzate con il refluisimento di sabbia è risultato essere un ottimo sistema di protezione dell'ambiente naturale in quanto è un intervento che si adatta al locale regime delle onde ed è particolarmente efficace quando il fondale antistante è basso (profondità minori di 1 m), come nel caso delle barene della laguna centromeridionale. Negli altri casi, in cui vi sono canali e il fondale è profondo, le strutture in sabbia devono essere contenute e protette con burghe e materassi di pietrame disposti o lungo il margine o in senso trasversale alla direzione del movimento (a pennello) con la funzione di ridurre il moto ondoso e trattenere il trasporto longitudinale dei sedimenti.

A titolo di esempio delle tecniche di protezione dei bordi barenali esposti al moto ondoso si riportano gli interventi eseguiti lungo il canale di Burano nel 2007. I cordoni di barene naturali, compresi nell'area del canale di Burano e di S. Antonio, sono particolarmente esposti ai fenomeni erosivi dovuti al moto ondoso da natante con un arretramento medio del margine attorno a 0.5 m/anno che in alcuni tratti raggiunge 1m/anno. Per arrestare la perdita di habitat naturali di grande pregio, in accordo con la Soprintendenza, dal 2005 al 2007 sono stati effettuati gli interventi di protezione. Nei bordi più esposti al moto ondoso, sono state collocate conterminazioni in burghe con maglia di poliestere e pietrame appoggiate su materassi, anch'essi riempiti di pietrame, per l'intercettazione e dissipazione del moto ondoso. Nelle zone a minor esposizione al moto ondoso, quali quelle più interne, si sono impiegate le burghe realizzate in

fibre naturali resistenti riempite con conglomerati di conchiglie, che pur presentano caratteristiche di minor resistenza, sono state sperimentate per verificarne il vantaggio paesaggistico. Sono state infine previste alcune zone con strutture di contenimento con sole fibre vegetali degradabili, i buzzoni, per avviare i processi di compattazione dei bordi ad opera della vegetazione di barena; l'estensione di queste zone è limitata ai bordi interni senza moto ondoso.

### **Barene artificiali**

Le barene artificiali vengono realizzate refluyendo il materiale dragato all'interno di una conterminazione realizzata ad una quota tale da consentire il refluento del materiale con alte maree senza dispersione di torbidità. La quota iniziale, a fine refluento è circa 0.7-0.8 m s.m. così da consentire il raggiungimento della quota ottimale, a medio lungo termine, di 0.3-0.4 m, in seguito agli inevitabili processi di compattazione e consolidamento del terreno retrostante.

Quando il luogo di conferimento dei sedimenti dragati non è accessibile ai mezzi, si procede al pompaggio diretto, negli altri casi si utilizza un deposito temporaneo, la fossa di transito dove il materiale viene scaricato e, successivamente, ripreso e refluito in barena con una draga stazionaria.

Il riutilizzo dei sedimenti di dragaggio è normato dal Protocollo d'Intesa 08.04.93, nato dall'accordo tra il Ministero dell'Ambiente, il Comune di Venezia, la Provincia di Venezia, il Comune di Chioggia, il Provveditorato al Porto di Venezia, la Regione Veneto, Il Magistrato alle Acque e l'assistenza dei rappresentanti dell'IRSA-CNR, l'ICRAM, l'Istituto Superiore della Sanità, il laboratorio di Idrobiologia del Ministero dell'Agricoltura. Sulla base della concentrazione di alcuni metalli pesanti, IPA e PCB sono state individuate 4 classi, per ciascuna delle quali è definito il relativo utilizzo. Per gli interventi di ripristino di morfologie lagunari (ricostruzione di barene erose e recupero di zone depresse) comportanti il contatto diretto o indiretto dei materiali di escavazione con le acque della laguna e suscettibili di rimettere in circolo nelle acque lagunari il materiale stesso, potranno essere utilizzati solo fanghi conformi ai valori della colonna A della tabella. Per gli interventi riguardanti il recupero e il ripristino di isole lagunari, realizzati in maniera tale da garantire un confinamento permanente del materiale utilizzato così da impedire ogni rilascio di inquinanti nelle acque lagunari, potranno essere utilizzati fanghi conformi ai valori della colonna B della tabella. Il sito deve comunque essere conterminato in maniera da evitare erosioni e sommersioni in caso di normali alte maree. I sedimenti di classe C possono essere utilizzati per interventi riguardanti ampliamenti ed innalzamenti di isole permanentemente emerse o di aree interne limitrofe alla contaminazione lagunare, mentre i sedimenti di classe oltre C devono essere utilizzati in aree al di fuori della conterminazione lagunare.

Nella ricostruzione della morfologia lagunare, si sono riutilizzati non solo i sedimenti rientranti nella classe A secondo il Protocollo del 1993, ma anche quelli rientranti nella classe B, adottando particolari accorgimenti (Figura 2-1). Per evitare la migrazione delle sostanze dai sedimenti prima della loro compattazione e stabilizzazione da parte della vegetazione, queste barene sono munite di una fascia perimetrale, la coronella larga circa 20 m costituita da sedimenti di tipo A e di una ricopertura con sedimenti di tipo A per uno spessore di 20-30 cm.



**Figura 2-1 Barena Fusina 1: realizzazione della coronella esterna con sedimenti tipo A, che separa il nucleo centrale costituito da sedimenti tipo B (Magistrato alle Acque, 2008).**

### Velme e sovralti

Le velme artificiali sono state realizzate in Laguna di Venezia dal Provveditorato refluyendo materiale sabbioso fino a raggiungere una quota iniziale, a fine lavori, attorno al medio mare in modo che, in seguito all'azione delle correnti e delle onde, si stabilizzi una quota variabile da -0.20 m a -0,40 m s.m. a seconda dell'esposizione al moto ondoso.

Le prime velme, situate sui fondali di S. Spirito, sono state realizzate refluyendo i sedimenti all'interno di una conterminazione costituita da fascinate che, degradandosi rapidamente, ha consentito il rimodellamento per effetto delle correnti e del moto ondoso. Nelle successive realizzazioni le fascinate sono state sostituite da pareti filtranti di delimitazione del perimetro nella fase di refluimento.

E' stato osservato che nei sovralti situati a ridosso della fascia di barene naturali il rimodellamento della sabbia per effetto del moto ondoso avviene in senso longitudinale lungo il bordo barenale, senza sormonto di sabbia sulla superficie della barena stessa e per ridurre gli oneri di manutenzione è necessario collocare pennelli trasversali di contenimento in burghie.

La superficie dei sovralti in sabbia distaccati dalle barene invece, è stata più soggetta all'azione delle onde e delle correnti che hanno portato a stabilizzare la quota attorno a -0,4 m s.m. per.

Le strutture morfologiche a velma e sovralto svolgono una funzione idromorfologica di protezione dei fondali e dei margini delle barene naturali retrostanti esposti al moto ondoso da vento o da natante simile a quella delle barene naturali o artificiali e quando sono collocate a lato dei canali navigabili svolgono anche la funzione di canalizzazione, concorrendo a ripristinare la cosiddetta "gengiva" che si sviluppa lungo il canale.

Le velme e i sovralti artificiali, specie se costituiti da sedimenti sabbiosi, costituiscono ambienti tidali e subtidali soggetti ad una rapida colonizzazione con un numero di specie e di individui, in alcuni casi maggiore di quelli dei fondali circostanti.

La progressiva stabilizzazione a quote attorno a -0.40 m s.m. e le caratteristiche del piano sedimentario sabbioso o limoso favoriscono lo sviluppo di fanerogame marine in forme miste e

pure (*Nanozostera noltii*, *Zostera marina*, *Cymodocea nodosa*) e di macroalghe delle specie *Vaucheria*, *Gracilaria*, *Ulva*.

L'insediamento delle fanerogame marine a sua volta assume particolare valore per la difesa dall'erosione dei fondali e contribuisce al ripristino degli ambienti di elevato pregio sia per la biodiversità locale, sia costituendo aree di nursery ad elevata produttività.

Dai rilievi effettuati dal Provveditorato tramite il proprio Concessionario Unico Consorzio Venezia Nuova sulle strutture artificiali a velma o sovrizzo è risultato che (MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI, 2008):

- Le strutture si assestano alla quota delle minime basse maree, sono caratterizzate da generali condizioni di stabilità dal punto di vista morfologico e quindi mantengono un certo grado di intercettazione delle onde e delle correnti, riducendo gli effetti erosivi sulle barene naturali retrostanti;
- Le velme presentano coperture a fanerogame marine o macroalghe, costituendo aree di nursery e di biostabilizzazione;
- In alcune velme inoltre si trova una comunità zoobentonica caratterizzata principalmente da Molluschi, con presenza significativa del bivalve *Tapes philippinarum*.

### **2.1.2 Interventi di protezione delle strutture morfologiche naturali e artificiali**

Per la protezione dei bordi barenali dall'erosione si utilizzano materiali e metodologie diverse a seconda delle caratteristiche della zona in cui la struttura morfologica è stata realizzata. La protezione del bordo di barene è infatti necessaria in quelle aree in cui gli effetti delle correnti e del moto ondoso non possono essere mitigati attraverso misure preventive, come la regolamentazione e il controllo del traffico di natanti a motore o con l'inserimento di sovrizzi in materiale sabbioso per assorbire l'energia del moto ondoso.

Questi interventi si rendono particolarmente necessari quando sussiste il pericolo che si apra un varco nel bordo della barena che metta a diretto contatto chiari interni con il canale principale: attraverso questo varco infatti si sviluppano correnti che in breve tempo possono modificare l'intera idrografia dell'area.

I bordi delle barene risultano interessati da intensi fenomeni erosivi che raggiungono valori di 0.5 - 1.0 m/anno. L'erosione procede rimuovendo dapprima il sedimento al piede del margine provocando poi il collasso delle zolle di terreno vegetato soprastanti e la loro asportazione ad opera delle correnti. L'effetto maggiore è prodotto dal riflusso dell'acqua di tracimazione.

E' sufficiente una quantità minima di moto ondoso da traffico acqueo per innescare l'erosione del bordo che poi procede e aumenta dove il bordo si presenta irregolare.

#### **2.1.2.1 Le palificate in legno**

Questo tipo di protezione è stato uno dei primi sistemi messi in atto in laguna di Venezia a partire dagli anni '90. Le palificate si sono dimostrate una difesa efficace solo nelle zone a minor esposizione ed a bassa salinità (condizione indispensabile per la durata dei pali).

Nei luoghi ad intenso traffico, questa protezione si è dimostrata ben poco efficace in quanto la struttura verticale riflette e amplifica l'energia dell'onda con erosioni localizzate sia lungo il bordo interno per effetto dell'onda tracimante, che lungo quello esterno della palificata.

Inoltre, queste strutture presentano un'ulteriore criticità legata alla limitata durata dei pali in legno specie nelle zone ad elevata salinità. Il rapido degrado dei legni in ambiente lagunare e marino è infatti legato a fenomeni di biodemolizione ed è dovuto alla sinergica azione di invertebrati xilofagi, batteri e funghi.

Per questi motivi l'utilizzo delle palificate è ora molto ridotto e specifico e anche per gli ausili per la navigazione si è dato corpo alla sperimentazione di nuovi materiali e tecniche protettive del legno per realizzare pali di maggiore durata.

Fino ad alcuni anni fa, la Sovrintendenza ai Beni Ambientali imponeva l'utilizzo esclusivo, tranne sporadiche eccezioni, di materiali "naturali" per la laguna, intendendo con ciò principalmente palificate in legno a pali accostati o fascine, accettando fra gli inerti la sabbia ma non consentendo l'impiego di materiale lapideo. A partire dal 1999 sono state sperimentate alcune tipologie protettive alternative a quelle lignee, caratterizzate da diverso grado di resistenza e degradabilità e pertanto meglio adattabili alle differenti situazioni morfologiche lagunari.



**Figura 2-2 Palificata degradata dall'azione delle teredini, che perforano e penetrano in senso longitudinale all'interno del palo (MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI, 2008).**

#### **2.1.2.2 Le palificate in plastica**

Verificata la limitata durata delle palificate in legno, soprattutto nelle aree lontane da apporti di acqua dolce dove è maggiore la concentrazione delle teredini e nelle aree soggette ad elevato

moto ondoso e con elevate velocità di corrente, sono state sperimentate palificate in plastica riciclata.

L'impiego di questo tipo di materiali di protezione tuttavia non è ad oggi tra quelli correntemente utilizzati né tra quelli che hanno trovato vasta applicazione.



**Figura 2-3 Pali in plastica a protezione di un tratto di margine della barena naturale Tresso a 5 anni dall'infissione (MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI, 2008).**

### 2.1.2.3 Le burghe

Le burghe sono strutture modulari cilindriche riempite con pietrame di piccola pezzatura, sabbia o conchiglie contenute all'interno di una geogriglia di poliestere ad alta densità.

La quota attorno a +0.30 m s.m. non altererà il naturale profilo delle strutture barenali. Agli inizi esse sono state utilizzate come alternativa alle palificate in legno nei siti di interesse archeologico dove non era possibile infiggere i pali.

La disposizione di queste strutture protettive segue l'andamento naturale dei margini barenali rispettando la presenza di ghebi e la presenza di conformazioni a spiaggia: proteggendo solo le estremità a promontorio e lasciando libero il tratto a spiaggia, in equilibrio con le onde locali.

Rispetto alle strutture verticali piane, le burghe consentono una maggior dissipazione del moto ondoso, per la presenza di spazi vuoti tra il pietrame, e sono particolarmente indicate nei canali ad intenso traffico.

Le burghe, di durata pressoché illimitata, offrono il vantaggio di poter essere rimosse quando non risultano più necessarie: o perché il moto ondoso è diminuito o perché l'energia ondosa è tale da rendere preferibile assecondare la formazione di una rientranza a spiaggia.

Per quanto riguarda il microhabitat locale le burghe, già dopo pochi mesi, vengono colonizzate dagli organismi animali e vegetali che oltre a conferire alla struttura una buona integrazione con il paesaggio, contribuiscono ad aumentare la biodiversità in misura maggiore rispetto alle palificate attraendo gli organismi algali e zoo bentonici. La presenza di substrati in pietra e la presenza di cavità, costituiscono infatti habitat ideali per la colonizzazione di comunità bentoniche, la cui strutturazione risulta molto diversificata specie nelle aree a maggior ricambio e maggior salinità.



**Figura 2-4 Barena Ca la Vela: conterminazione in burghe (MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI, 2008).**





**Figura 2-5 Operazione di rimozione delle burghe lungo il canale di Burano (MAGISTRATO ALLE ACQUE- CVN-SI, 2008).**

#### **2.1.2.4 I buzzoni**

Sono strutture a moduli cilindrici, simili alle burghe, costituiti da sacchi di materiali a diversa degradabilità, riempiti con materiali naturali, che vengono posizionati a protezione diretta dei margini barenali.

Sono stati realizzati diversi tipi di buzzoni con differenti materiali posti all'interno dei sacchi tra cui fascine, ramaglie, canna palustre, sedimento e zolle vegetate con piante alofile; all'interno

dei sacchi oltre al substrato per lo sviluppo della vegetazione, viene inserito anche del pietrame per garantire il peso specifico necessario a mantenere il buzzone sul fondo.

Queste strutture sono state posizionate nelle zone a minor esposizione al moto ondoso, come i bordi interni di canali secondari, per ricostruirne e rinforzarne i bordi.

I risultati degli interventi realizzati hanno dimostrato che solo nelle zone a minima esposizione all'energia ondosa, e cioè nei bordi riparati posti oltre l'imbocco dei canali secondari, si è avuta la stabilizzazione del sedimento a tergo di queste strutture con lo sviluppo della vegetazione di barena; nelle zone più esposte al moto ondoso invece il terreno è stato subito dilavato e l'attecchimento delle piante compromesso.

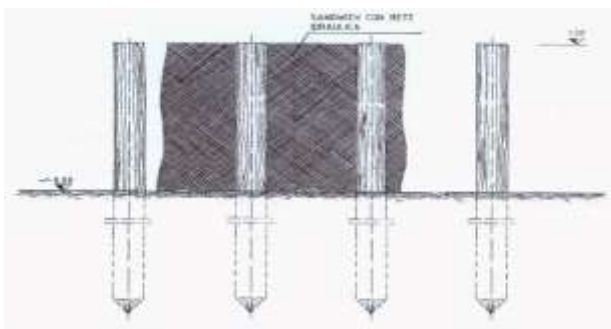


**Figura 2-6 Buzzoni in cocco ai margini della canaletta Laghi (sopra). Buzzoni con ramaglie (sotto), al momento della realizzazione 2001. Fonte MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI, 2008.**

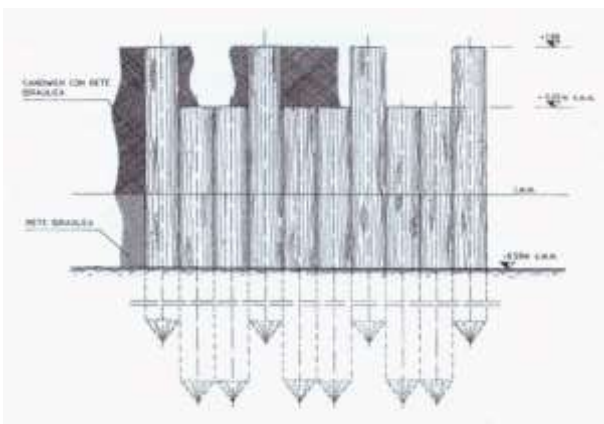
#### **2.1.2.5 Tecniche costruttive**

Le schede seguenti sono tratte dal rapporto “MAGISTRATO ALLE ACQUE - -CVN – SI, 2008. Studio C.2.10/IV Aggiornamento del piano morfologico in base alle richieste dell’ufficio di piano. Linea G. La valutazione tecnico-economica delle possibili opere di recupero ambientale. Sotto-attività G2 – Le modalità di intervento per mitigare le attuali cause del degrado; Sotto-attività G3 – Le modalità di intervento in grado di riattivare i dinamismi naturali e che aiutino a creare velme e barene. Rapporto finale.”

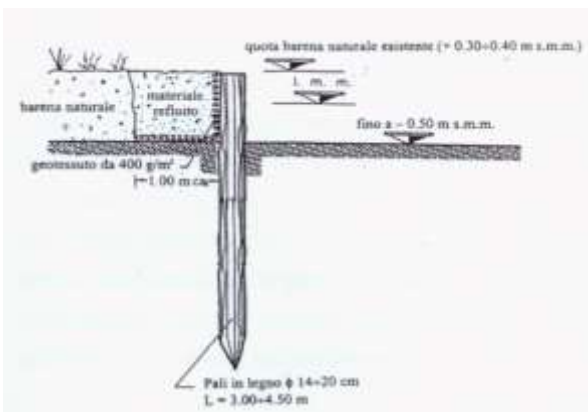
## PALIFICATE



**Conterminazione con parete filtrante in pali di legno distanziati per la realizzazione di strutture morfologiche artificiali.**

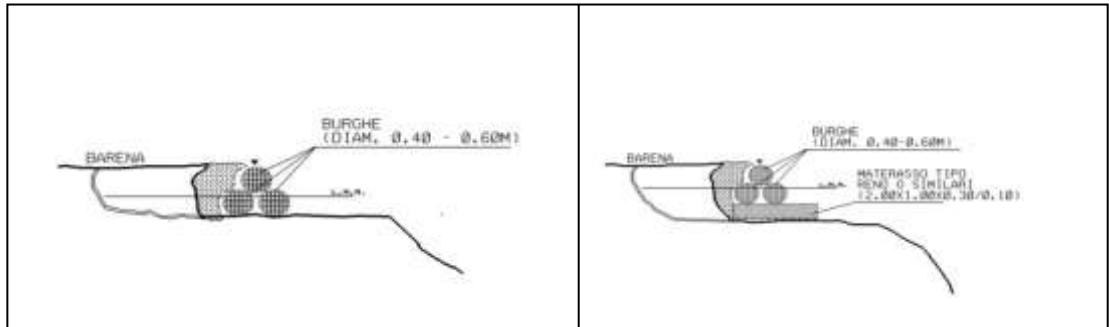


**Conterminazione con parete filtrante in pali di legno accostati per la realizzazione di strutture morfologiche artificiali.**



**Protezione dei margini barenali naturali mediante conterminazione in pali di legno accostati.**

## BURGHE e MATERASSI



**Moduli di conterminazione dei bordi marginali di barene sia naturali che artificiali in aree esposte alle sollecitazioni idrodinamiche da vento e da natante.**

Le burghe sono strutture modulari rimovibili di diametro di 0.40-0.60 m, che possono essere posati su 1 o 2 ordini, riempite con pietrame o conglomerati di conchiglie o argilla consolidata.

I materassi sono strutture modulari di forma parallelepipedica per la ripartizione del carico e per l'aumento della portanza del fondale, utilizzabili come base di appoggio di burghe e gabbioni, per la costruzione di barene e sovralti per la protezione e/o innalzamento di fondali, per dissipare l'energia del moto ondoso.



## BUZZONI



**Moduli di conterminazione di margini di barene sia naturali che artificiali poco esposte alle sollecitazioni idrodinamiche o in cui sia presente un'ampia fascia di velma. Sono costituiti da griglie in fibre naturali e riempite da diversi materiale (groviglio di fibre di cocco, ramaglie, sabbia, conchiglie).**

### **2.1.3 Interventi per favorire la sedimentazione**

Per favorire i processi di sedimentazione, accrescimento e ripopolamento dei bassofondali, delle velme e delle barene possono essere utilizzati una serie di interventi: le fascinate di sedimentazione, i ripascimenti a strato sottile, il deposito di materiale organico (conchiglie e fanerogame), il trapianto di vegetazione.

#### **2.1.3.1 Le fascinate di sedimentazione**

Nelle zone protette dove il moto ondoso generato da vento è contenuto, i sedimenti risospesi e trasportati dalle correnti possono depositarsi e compattarsi formando nuove velme.

Per realizzare queste condizioni possono essere realizzate le fascinate di sedimentazione che hanno la caratteristica di:

- proteggere i margini barenali con strutture che ben si inseriscono nel paesaggio lagunare;
- ripristinare le condizioni naturali di barene protette da velme;
- favorire la ricolonizzazione delle aree protette da parte della specie animali e vegetali tipiche della laguna veneta.

La posa delle fascinate favorisce la sedimentazione di sedimenti in sospensione creando zone di acque calme in anse barenose soggette a fenomeni erosivi dovuti al moto ondoso generato prevalentemente dal vento. Sono costituite da una doppia fila di pali tra cui sono posizionati due o tre moduli composti da fascinotti di ramaglie avvolti in una geogriglia in fibre di poliestere (Figura 2-7).

In Laguna di Venezia la prima fascinata è stata realizzata nel 1993 di fronte alla barena di Tessera. Durante i successivi tre anni di monitoraggio, la quota del fondale lagunare si è alzata di 15 cm con la formazione di una fascia intertidale di terreno che è stata colonizzata dalla vegetazione.

Le fascinate di sedimentazione, per le caratteristiche del materiale vegetale utilizzato, presentano un'elevata compatibilità paesaggistica, ma richiedono una periodica manutenzione per la sostituzione delle fascine e dei pali che possono risultare ammalorati.

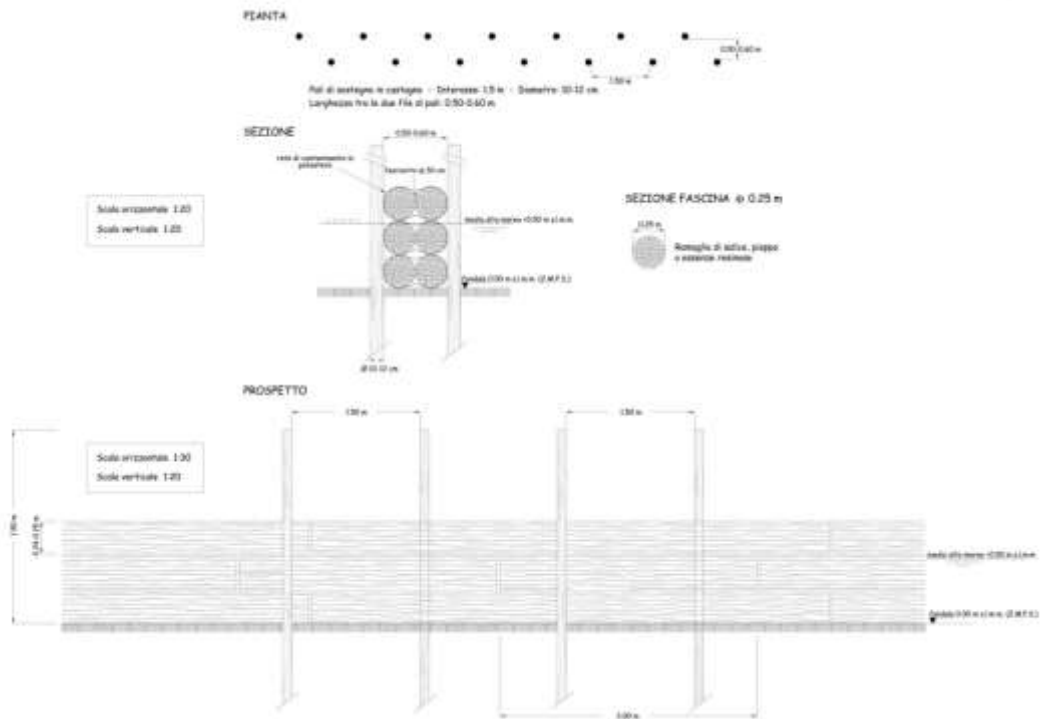
Le cause della degradazione delle fascine o dei pali sono molteplici; le essenze che costituiscono le fascine (salice, pioppo, in misura minore robinia) sono più resistenti di altre ma hanno comunque una durata in acqua che, sulla base delle esperienze maturate, è stimabile nell'ordine di alcuni anni. Le violente mareggiate che si osservano soprattutto nel periodo tardo autunnale determinano una frammentazione delle fascine, accelerando quindi i processi di degrado. I pali invece, generalmente di castagno, hanno una resistenza maggiore delle fascine, ma comunque si degradano anch'essi.

I monitoraggi effettuati dal Provveditorato hanno evidenziato la necessità di effettuare periodici interventi di ripristino e di rimessaggio ogni 2 anni circa per garantire l'efficienza di tali strutture.

Di contro però, proprio perché queste strutture sono costituite per la maggior parte da elementi biodegradabili, il loro impatto ambientale risulta del tutto impercettibile e questo ne amplifica

l'inserimento nel contesto paesaggistico lagunare come testimoniano chiaramente le fotografie sotto riportate.

A scala locale le fascinate producono un rilevante aumento delle aree intertidali: si sono dimostrate efficaci nel ridurre la turbolenza favorendo la sedimentazione nelle aree protette a un tasso di circa 1-3 cm/anno; inoltre tali strutture sono risultate efficaci per la protezione del margine barenale retrostante.



**Figura 2-7 tecnica costruttiva delle fascinate di sedimentazione (MAGISTRATO ALLE ACQUE – CVN – SI, 2008).**



**Figura 2-8 Fascinata dietro le barene di Burano.**



### **2.1.3.2 Il ripascimento a strato sottile**

Il ripascimento a strato sottile è stato sviluppato negli Stati Uniti (Delta del Mississippi) per ridurre al minimo l'impatto delle operazioni di dragaggio di nuovi canali nei delta fluviali ed ha lo scopo di rallentare il processo di perdita di quota delle barene mediante il refluitamento di un sottile strato di sedimento che favorisce lo sviluppo della vegetazione. I sedimenti, mescolati con acqua in modo da ottenere una miscela fluida, vengono spruzzati sulla superficie della barena con un getto aereo fino a formare un sottile strato di alcuni centimetri.

In laguna di Venezia il ripascimento a strato sottile ha mostrato nelle barene in cui è stato realizzato una crescita di quota dell'ordine di 3-8 cm, che si sono rapidamente compattati senza conseguenze sulla vegetazione esistente e già dopo 24 mesi è stato riscontrato un aumento nello sviluppo della vegetazione, con un incremento del 50% della biomassa radicale rispetto alle zone non trattate.

### **2.1.3.3 Deposito di materiali organici**

Lungo il margine delle barene più compatte si verificano spesso fenomeni erosivi che determinano un continuo arretramento della copertura vegetale realizzando un profilo a "spiaggia" su cui si depositano materiali organici grossolani come le conchiglie e foglie di fanerogame. Il processo è particolarmente evidente nelle barene esposte ai venti di bora. Nelle barene naturali soggette ad un accentuato spiaggiamento di materiali organici (frammenti di bivalvi, foglie e rizomi di fanerogame marine) si osserva la formazione di una fascia di materiale, parallela alla linea di spiaggia, che rende il margine più resistente all'erosione e nello stesso tempo si crea un habitat ottimale per la vegetazione alo-nitrofila e per lo sviluppo di specie animali diverse: benthos di margine e nidificazione di numerose specie di uccelli, incluse quelle di interesse comunitario. Lungo i margini di alcune barene naturali ed artificiali sono stati riportati accumuli di materiali costituiti da frammenti di bivalvi e fanerogame marine con uno spessore di 25 cm, in fasce parallele alla linea di spiaggia, ad imitazione dei depositi naturali.

Questa tecnica è stata recentemente estesa anche alle zone di intestazione delle conterminazioni di protezione dei margini barenali sia naturali che artificiali, dove onde e correnti generano un'elevata turbolenza locale provocando vistose erosioni. Ad esempio nelle barene presenti lungo il canale di S. Antonio a Burano, protette con le burghe, nelle intestazioni tra le burghe e le barene naturali sono stati sversati gusci di conchiglie e frammenti di laterizi con ottimi risultati.

### **2.1.4 Gli stadi evolutivi delle strutture morfologiche artificiali a barene**

Nell'ambito degli studi condotti dal Magistrato alle Acque – Consorzio Venezia Nuova (Studio C.8.6 e C.8.6./II) sono state elaborate le informazioni e i dati acquisiti sull'evoluzione delle strutture morfologiche artificiali ed è stato definito un modello teorico di evoluzione delle strutture morfologiche a barena per valutare nel tempo l'assetto morfologico e lo sviluppo delle comunità biologiche in modo da poter individuare eventuali interventi per accelerare i processi di naturalizzazione. In particolare sono stati identificati 5 differenti stadi evolutivi, ognuno con proprie caratteristiche in relazione all'età delle strutture:

- stadio 0: periodo di realizzazione fino a 2 mesi successivi al termine dei lavori;
- stadio 1: da 2 mesi ad 1 anno;

- stadio 2: da 1 a 3 anni;
- stadio 3: da 3 a 6 anni;
- stadio 4: da 6 a 10 anni;
- stadio 5: maggiore di 10 anni.

Lo stadio 0 comprende approssimativamente i quattro mesi successivi alla fine del refluen-  
to, durante i quali la struttura sembra un'area di sedimento incoerente, caratterizzata da quota  
relativamente alta rispetto al medio mare (da +70 cm a + 100 cm) e la completa assenza di  
vegetazione e di una rete di canali e ghebi.

Lo stadio 1 caratterizza le barene di età compresa tra quattro mesi ed un anno, caratterizzate  
dall'assenza di una rete idrica interna. La quota media comincia a diminuire (da +60 cm a +70  
cm) ed inizia la colonizzazione da parte delle specie vegetali annuali, specialmente nelle zone  
più basse. La vegetazione è quindi dominata da *Salicornia* spp. con un copertura a carattere  
sparso, mentre larghe aree di suolo nudo sono utilizzate da alcune specie per la nidificazione  
tra cui il Fratino (*Charadrius alexandrinus*), il Fraticello (*Sterna albifrons*), la Beccaccia di mare  
(*Haematopus ostralegus*) e il Gabbiano reale (*Larus michahellis*).

Lo stadio 2 (che copre il periodo compreso tra uno e tre anni dalla fine del refluen-  
to) carat-  
terizzato da una perdita progressiva di quota fino ai +45 cm, e lo l'avvio della formazione di  
una rete idrografica di canali e *ghebi* che ricopre circa il 5% della superficie. La vegetazione  
annuale viene progressivamente sostituita da quella perenne e come conseguenza in questo  
periodo le specie dominanti sono *Salicornia* e *Sarcocornia*. La copertura vegetale si estende  
per circa il 50 % della superficie delle barene.

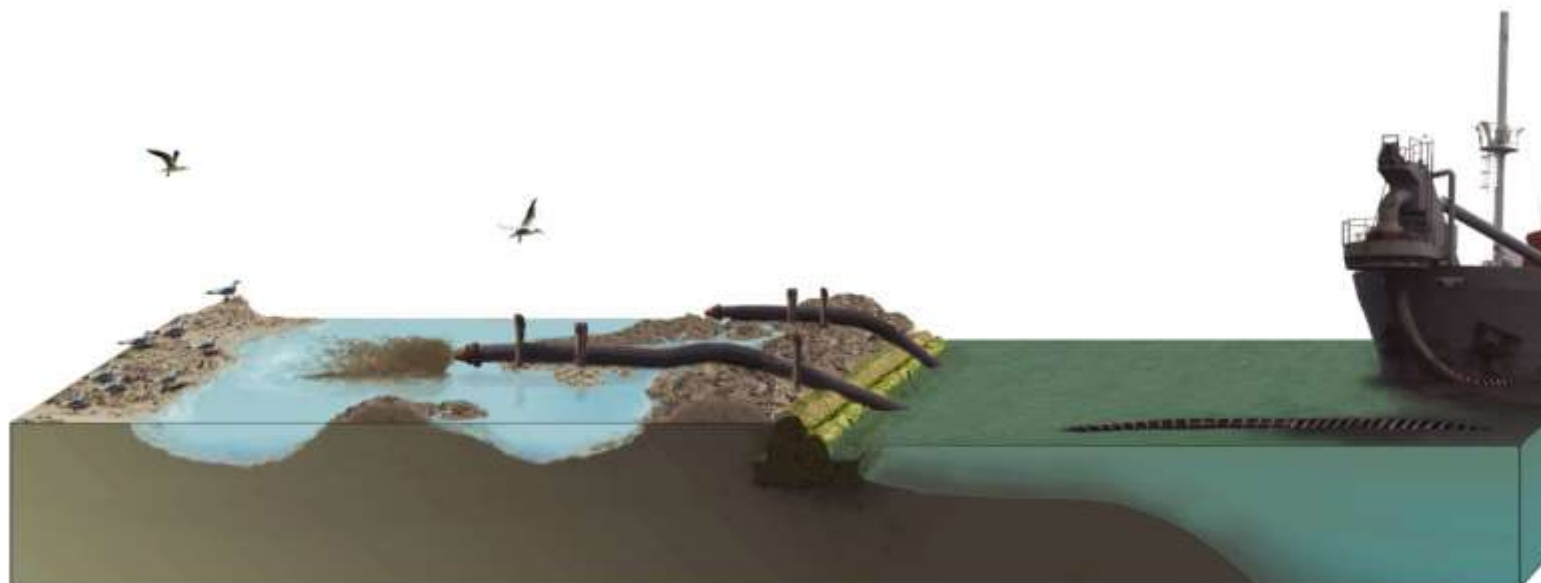
Lo stadio 3 (dai tre ai sei anni dal refluen-  
to) si caratterizza per un drastico rallentamento  
delle dinamiche evolutive. L'elevazione si riduce a +30 cm dal medio mare e la copertura delle  
superfici d'acqua libera varia tra il 5 e il 10 % della superficie totale. La copertura della vegeta-  
zione alofila è pari a circa il 90% della superficie emersa, e comprende una cospicua copertu-  
ra di specie perenni. La vegetazione è dominata da *Sarcocornia fruticosa*, *Limonium narbo-  
nense* e *Halimione portulacoides*. L'incremento della copertura vegetale favorisce la presenza  
di altre specie ornitiche tra cui la Pettegola (*Tringa totanus*) e la Volpoca (*Tadorna tadorna*).

A partire dallo stadio 4 (dal sesto al decimo anno) l'elevazione media si stabilizza attorno al  
livello del medio mare o poco al di sotto di esso, mentre la rete idrografica, che raggiunge la  
copertura del 10-15%, prende la forma di un ben definito sistema di *chiari* e *ghebi*. La vegeta-  
zione alofila ricopre totalmente le superfici della barena e una quota compresa tra il 40 e il 90  
% è costituita da specie perenni. La comunità risulta ben strutturata specialmente per le com-  
ponenti del Sarcocornieto e delle associazioni con *Halimione portulacoides*. L'aumento della  
copertura vegetale porta a un calo di habitat idonei per la nidificazione di molte specie: le spe-  
cie ornitiche caratteristiche delle strutture allo stadio 4 sono la Pettegola, la Beccaccia di ma-  
re, il Fratino. La presenza dei *chiari* favorisce condizioni ideali per la nidificazione del Cavalie-  
re d'Italia e dell'Avocetta.

Lo stadio evolutivo finale (stadio 5), indicativamente dopo dieci anni dalla fine del refluen-  
to, è caratterizzato da una copertura della rete idrica composta da chiari e ghebi è pari a ca. il 15  
– 25 % della superficie totale, la vegetazione è composta quasi esclusivamente da specie pe-  
renni (le specie annuali di *Salicornia* sono relegate ad aree molto isolate). Le specie di uccelli  
nidificanti sono le medesime che caratterizzano lo stadio 4.

STADIO ZERO (fino a 2 mesi)

# Stadio 0



Appena dopo il termine del refluento la barena si presenta come una distesa di sedimento incoerente in cui sono ben riconoscibili i coni di refluento. Il sedimento, a seconda delle tipologie costruttive, può essere di matrice sabbiosa o limosa, risulta privo di copertura vegetazionale e con un elevato contenuto d'acqua. La quota media alla quale si trova la struttura in questa fase è abbastanza elevata (+0.70 - +1.00 m s.m.), per compensare il successivo processo di riduzione di quota per: la compattazione dovuta alla perdita di contenuto d'acqua per essiccamento; il peso del materiale refluito; il cedimento del terreno sottostante. La struttura è caratterizzata da un'assenza di acqua superficiale e non presenta una rete a marea. Le quote e le caratteristiche del suolo sono favorevoli all'alimentazione di alcune specie di avifauna quali il gabbiano reale.

<u>Età</u>		Periodo di realizzazione fino a 2 mesi
<u>Quota media</u>		+ 0.70 - 1.00 m s. m.
<u>Vegetazione</u>		Assente
<u>Avifauna</u>		Specie di interesse conservazionistico Assenti
		Altre specie
		Gabbiano reale ( <i>Larus cachinnans</i> )
<u>Rete idrica</u>		assente

STADIO 1 (da 2 mesi ad 1 anno)

# Stadio 1



Col passare dei mesi il terreno se argilloso tende ad assumere una struttura poligonale caratterizzata dalla formazione di fessure all'interno della quali vengono catturati i semi delle specie alofile pioniere assieme al detrito organico. La quota media inizia gradatamente ad abbassarsi per il processo di consolidamento e cedimento del suolo (+0.6-+0.7 m s.m.). Lungo le bassure ha principio la colonizzazione della struttura da parte delle specie vegetali annuali. La vegetazione dominante è il Salicornieto, sebbene a copertura rada. Le superfici nude, a matrice sabbiosa mista a frammenti di conchiglie, spesso leggermente rilevate rispetto alle aree circostanti costituiscono habitat idoneo alla nidificazione del fratino (*Charadrius alexandrinus*), la beccaccia di mare (*Haematopus ostralegus*), il fraticello (*Sterna albifrons*), talvolta anche il gabbiano reale *Larus michahellis*

<u>Età</u>		Da 2 mesi a 1 anno
<u>Quota media</u>		+ 0.60 – 0.70 m s. m.
<u>Vegetazione</u>		Vegetazione a <i>Salicornia</i> sp. (specie pioniere)
<u>Avifauna</u>	Specie di interesse conservazionistico	
		Fratino ( <i>Charadrius alexandrinus</i> )
		Beccaccia di mare ( <i>Haematopus ostralegus</i> )
		Fratello ( <i>Sterna albifrons</i> )
	Altre specie	
		Gabbiano reale ( <i>Larus cachinnans</i> )
<u>Rete idrica</u>		assente

STADIO 2 (da 1 a 3 anni)

## Stadio 2



L'evoluzione prosegue con l'instaurarsi di caratteri distinti : la riduzione della quota media anche di 10-15 cm ( la quota ora è circa 0.45-0.55 m s.m.), a seconda del tipo di sedimento e della capacità portante del substrato sul quale è stato refluito il sedimento. Il processo di assestamento delle quote per essiccamento e compattazione avviene in modo più rapido nelle barene in sabbia che raggiungono già dopo pochi anni una quota stabile.) La copertura della vegetazione alofila arriva ad essere fino alla metà dell'intera superficie della barena ed è costituita prevalentemente da specie annuali e da specie perenni in percentuali ridotte; le associazioni dominanti sono il Salicornieto e il Sarcocornieto. La colonizzazione avviene più rapidamente nelle barene limose mentre il processo è più lento in quelle sabbiose perché l'arricchimento in sostanza organica avviene in tempi più lunghi a causa della minore rugosità e presenza di deposito salino per evaporazione dell'acqua di risalita capillare. Come nello stadio precedente, le specie di avifauna che utilizzano la barena per la nidificazione sono almeno due tra quelle che generalmente si osservano in questo stadio: fratino (*Charadrius alexandrinus*), beccaccia di mare (*Haematopus ostralegus*), fraticello (*Sterna albifrons*) e talvolta anche il gabbiano reale (*Larus michahellis*).

### Età



Da 1 a 3 anni

### Quota media



+ 0.45 – 0.55 m s. m.

### Vegetazione



Vegetazione a *Salicornia* sp.  
(specie pioniera)



Vegetazione a *Puccinellia palustris* e a *Sarcocornia fruticosa* (specie perenni)

### Avifauna

Specie di interesse conservazionistico



Fratino (*Charadrius alexandrinus*)



Beccaccia di mare (*Haematopus ostralegus*)



Fraticello (*Sterna albifrons*)

Altre specie



Gabbiano reale (*Larus cachinnans*)

### Rete idrica



Rete di ghebi e chiari assente

STADIO 3 (da 3 a 6 anni)

# Stadio 3



In questo stadio i processi evolutivi subiscono un rallentamento, la quota media si assesta alla quota caratteristica delle medie delle alte marea (+0.40 - +0.50 m s.m.). Inizia a svilupparsi una prima rete a marea fatta di piccoli ghebi e chiari all'interno della barena che assecondano la struttura delle depressioni. Grazie all'arricchimento del suolo per cattura del di sedimento e materia organica e alla sua maggiore stabilità, dovuta anche alla presenza di piante perenni, la copertura vegetazionale aumenta arrivando a colonizzare circa 2/3 della superficie della barena. Il mosaico di vegetazione inizia a diversificarsi e si possono riconoscere vegetazioni a dominanza di Limonieto, Sarcocornieto, aggregazione ad *Halimione portulacoides* e aggruppamenti a *Suaeda maritima*. La varietà del mosaico vegetazionale comporta una varietà di habitat idonei alla nidificazione di molte specie dell'avifauna. Il progressivo aumento della copertura vegetale determina l'arrivo di altre specie, quali la pettegola *Tringa totanus*, la volpoca *Tadorna tadorna*, l'aumento di altre già presenti nella precedente fase (il gabbiano reale) ed infine la progressiva scomparsa di alcune altre, prima nidificanti.



STADIO 4 (da 6 a 10 anni)

# Stadio 4



Con il passare degli anni la barena ha raggiunto una stabilità ed una maggiore complessità strutturale, verso caratteristiche simili ad un ambiente naturale. La quota media delle barene realizzate con sedimenti limosi si stabilizza a valori ottimali di +0.30 - +0.40 m s.m. mentre le barene realizzate con i sedimenti sabbiosi presentano una quota media più rilevata dovuta al più lento cedimento. Le superfici ad acqua coprono complessivamente fino al 20% della superficie totale e sono costituite da una rete di ghebi e chiari. La vegetazione tende a coprire quasi completamente il suolo della barena, con comunità ascrivibili al climax per questo tipo di ambienti. La vegetazione dominante è costituita pertanto da Limonieto. Spesso il Limonieto è sostituito dal Sarcocornieto o dall'aggregazione ad *Halimione portulacoides*. La semplificazione del mosaico vegetazionale comporta una diminuzione di habitat idonei alla nidificazione di molte specie di avifauna: quando lo sviluppo della vegetazione porta ad una totale copertura della superficie poche specie vi nidificano, segnatamente la pettegola, la beccaccia, il fratino ed il germano reale *Anas platyrhynchos*. In queste condizioni, la presenza di chiari anche di piccole dimensioni è condizione necessaria perchè si possa osservare la nidificazione di cavaliere d'Italia *Haematopus haematopus* e avocetta *Recurvirostra avosetta*

<u>Età</u>		Da 6 a 10 anni
<u>Quota media</u>		+ 0.30 - 0.40 m s. m.
<u>Vegetazione</u>		Vegetazione a <i>Sarcocornia fruticosa</i> (specie perenne)
		Vegetazione a <i>Limonium narbonense</i> (specie perenne)
		Vegetazione ad <i>Halimione portulacoides</i> (specie perenne)
<u>Avifauna</u>	<u>Specie di interesse conservazionistico</u>	
	 Beccaccia di mare ( <i>Haematopus ostralegus</i> )	 Germano reale ( <i>Anas platyrhynchos</i> )
	 Cavaliere d'Italia ( <i>Haematopus haematopus</i> )	 Fratino ( <i>Charadrius alexandrinus</i> )
	 Avocetta ( <i>Recurvirostra avosetta</i> )	 Pettegola ( <i>Tringa totanus</i> )
	<u>Altre specie</u>	
		Gabbiano reale ( <i>Larus cachinnans</i> )
<u>Rete idrica</u>		Superficie ad acqua pari al 15% del totale e rete ben sviluppata di ghebi e chiari

STADIO 5 (oltre 10 anni)

# Stadio 5



La barena si presenta ben inserita nel paesaggio lagunare con caratteri simili a quelli delle barene naturali. E' ora possibile rimuovere le conterminazioni (tagliare le palificate a quota fondale o rimuovere e riutilizzare le burghe) per migliorare l'inserimento paesaggistico e togliere qualsiasi impedimento allo scambio con le acque circostanti. Le barene in sabbia presentano una maggior stabilità della quota mentre in quelle in limo il processo di essiccamento avviene più lentamente in quanto la crosta superficiale mantiene più a lungo l'imbibizione del terreno sottostante, rendendo più lento il processo di compattazione

<u>Età</u>		Maggiore di 10 anni
<u>Quota media</u>		+ 0.30 – 0.40 m s. m.
<u>Vegetazione</u>		Vegetazione a <i>Sarcocornia fruticosa</i> (specie perenne)
		Vegetazione a <i>Limonium narbonense</i> (specie perenne)
		Vegetazione ad <i>Halimione portulacoides</i> (specie perenne)
<u>Avifauna</u>	<u>Specie di interesse conservazionistico</u>	
	 Beccaccia di mare ( <i>Haematopus ostralegus</i> )	 Germano reale ( <i>Anas platyrhynchos</i> )
	 Cavaliere d'Italia ( <i>Haematopus haematopus</i> )	 Fratino ( <i>Charadrius alexandrinus</i> )
	 Avocetta ( <i>Recurvirostra avocetta</i> )	 Pettegola ( <i>Tringa totanus</i> )
	<u>Altre specie</u>	
		Gabbiano reale ( <i>Larus cachinnans</i> )
<u>Rete idrica</u>		Superficie ad acqua pari al 20% del totale e rete ben sviluppata di ghebi e chiari



## **2.2 Canali di grande navigazione: caratteristiche delle conterminazioni necessarie a garantire l'efficienza nella protezione delle strutture morfologiche artificiali e dei fondali retrostanti (esperienza Canale Malamocco-Marghera)**

### Principali documenti di riferimento:

- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2014. Studio C.2.10/IV. Aggiornamento del piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis e Studio Rinaldo, 2013. Strutture morfologiche per la protezione di basso fondali adiacenti il canale “S. Leonardo – Marghera”. Progetto esecutivo 1° stralcio 2^ fase Lotto attività di monitoraggio. Modello idrodinamico tridimensionale. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*

I fattori che determinano la risospensione dei sedimenti sui bassi fondali sono sia di origine naturale (il moto ondoso generato dal vento), sia di origine antropica (il moto ondoso generato dai natanti, il passaggio di imbarcazioni, le attività di pesca con mezzi meccanici). I sedimenti risospesi tendono a depositarsi nel fondo dei canali trasportati dalle correnti di riflusso, ma se i canali sono conterminati entro barene o velme, i flussi trasversali sono intercettati in quanto i sedimenti risospesi, impiegando più tempo per raggiungere il canale, tendono a ridepositarsi nei bassi fondali.

Alcune indagini sull'effetto della risospensione dei sedimenti dovuto al passaggio delle navi hanno evidenziato come il processo sia legato alle caratteristiche geometriche della nave, alla sua velocità, alla profondità del canale e al pescaggio (Rapaglia et al., 2011; Gelinis et al., 2013).

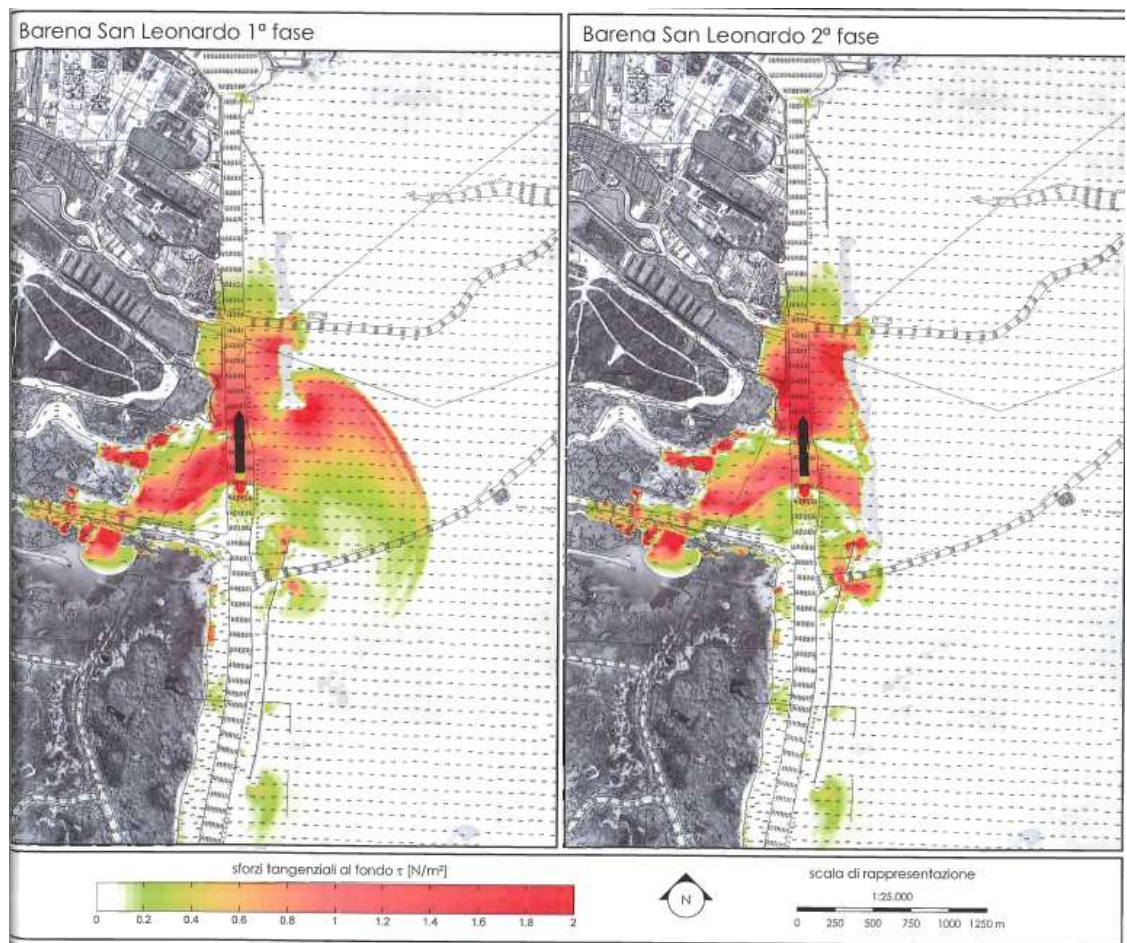
Da un punto di vista idraulico, le onde generate dalle navi sono originate dal veloce spostamento della massa d'acqua lungo lo scafo per compensare il volume spostato dal dislocamento della nave. Risulta dunque evidente come, per i canali lagunari di grande navigazione, mantenendo costanti sezioni e velocità, all'aumentare del pescaggio e della larghezza della nave, cresce l'altezza delle onde prodotte in navigazione.

Altri elementi rilevanti sono la batimetria e la larghezza del canale. Maggiori profondità e larghezza, mantenendo costanti velocità, pescaggio e larghezza, riducono l'altezza delle onde.

La zona lungo il canale Malamocco-Marghera ha subito, dal suo escavo in poi, una significativa evoluzione morfologica, portando ad un progressivo appiattimento della laguna centrale per erosione dei bassi fondali, con conseguente trasposto dei sedimenti nei canali adiacenti, dovuto alla maggiore intensità delle correnti di marea lungo il canale ed anche al traffico marittimo transitante. Per contrastare questo degrado nel *Piano per il recupero morfologico ed ambientale della laguna di Venezia* del Magistrato alle Acque (MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2014), è prevista la realizzazione di strutture morfologiche a lato del canale per ridurre i flussi trasversali tra i bassofondali e il canale, e di conseguenza ridurre il trasporto di materiale dai bassofondali stessi al canale.

Al 2013 sono state realizzate tre strutture morfologiche (barena canale Fusina, barena S. Angelo e barena S. Angelo 2) che proteggono un tratto di 2 km del canale Malamocco Marghera, oltre al tratto di circa 2 km già protetto da dighe in pietrame. Tali interventi comprendono strutture morfologiche artificiali poste alle tipiche quote barenali di circa +0.30/0.40 m s.l.m lungo il canale, mentre per il tratto adiacente il canale Fisolo è prevista una struttura a quota +0.10m s.m.m. ad assestamento avvenuto.

L'efficacia della protezione dei bassi fondali svolta dalle strutture morfologiche realizzate a lato del canale risulta evidente dall'elaborazione modellistica del passaggio di una nave (MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis e Studio Rinaldo, 2013). Nella Figura 2-9 viene riportata la propagazione dello sforzo tangenziale al fondo prima e dopo la realizzazione della barena dell'Angelo, che impedisce la propagazione delle perturbazioni provocate dal passaggio delle imbarcazioni.



**Figura 2-9 Propagazione dello sforzo tangenziale al fondo prima e dopo la realizzazione della Barena dell'Angelo (MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis e Studio Rinaldo, 2013).**

Come si può notare la realizzazione del sistema a protezione del canale Malamocco-Marghera permette di:

- arrestare il fenomeno erosivo, che attualmente penalizza pesantemente i bassi fondali adiacenti al canale dovuto al trasporto di materiale dai bassofondali al canale, al deposito delle torbide mantenute in sospensione dalla corrente, particolarmente in corrispondenza degli eventi di bora e dovuto al transito delle navi;

- proteggere le comunità dei bassifondali a lato del canale;
- contenere, se non eliminare, l'interramento del canale.

Vista l'esposizione al moto ondoso è opportuno che la conterminazione delle strutture artificiali previste sia costituita da burghe in geogriglia riempite di materiale lapideo. Ciò consente di contenere la notevole energia delle onde incidenti e le sollecitazioni generate dal "richiamo" dell'acqua verso il canale dal passaggio del 'cavo' dell'onda associata ai grandi natanti (di dimensioni confrontabili con quelle del canale). Il margine posto sul lato del bassifondale può essere costituito da burghe meno massicce, per la minor energia delle onde dovute al vento. Particolare attenzione deve essere posta alla quota (0.30/0.40 m s.m.m. ad assestamento avvenuto) cui porre la superficie della struttura, poiché quote inferiori renderebbero meno efficace la funzione di 'filtro' dei sedimenti provenienti dal basso fondale.

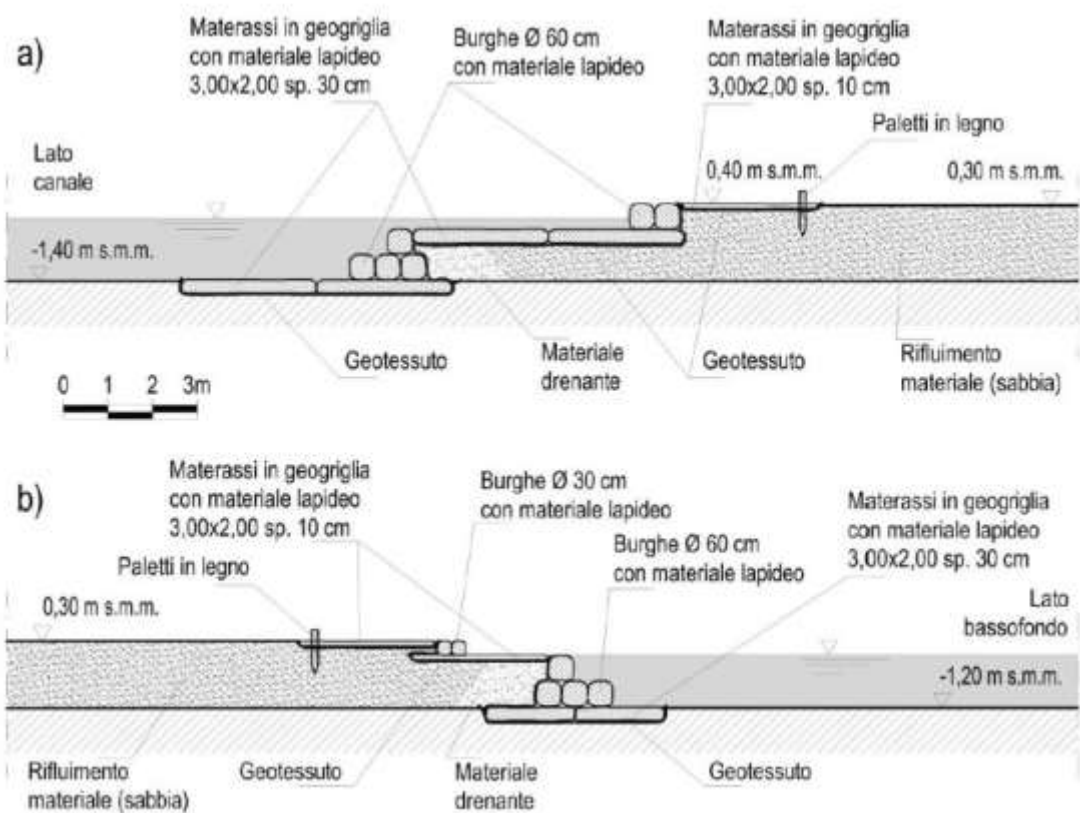


Figura 2-10 Schema costruttivo tipo per la realizzazione di strutture morfologiche in fregio al Canale Malamocco-Marghera poste a quota media di 0.30 m s.m.m.. Lato canale (a) e lato bassofondo (b). Fonte: Studio C2.10/IV.

## 2.3 Tecniche di stabilizzazione del fondale

### Principali documenti di riferimento:

- *MAGISTRATO ALLE ACQUE - CVN-SI 2008. Studio C.2.10/IV Aggiornamento del piano morfologico in base alle richieste dell'ufficio di piano. Linea G. La valutazione tecnico-economica delle possibili opere di recupero ambientale. Sotto-attività G2 – Le modalità di intervento per mitigare le attuali cause del degrado; Sotto-attività G3 – Le modalità di intervento in grado di riattivare i dinamismi naturali e che aiutino a creare velme e barene. Rapporto finale. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*

Tra gli interventi messi in atto dal Provveditorato in laguna di Venezia, finalizzati alla riduzione dei fenomeni di erosione dei bassifondi e delle strutture morfologiche artificiali, ci sono anche i trapianti di vegetazione sui fondali e sulle barene.

### 2.3.1 Trapianto di fanerogame marine sui fondali

Gli interventi di trapianto di fanerogame marine consentono di:

- a) riforestare i fondali già nudi o già precedentemente ricoperti;
- b) arricchire il fondale di fauna bentonica stanziale o vagile, (favorita o legata alla presenza e al ruolo di richiamo e protezione delle praterie sommerse);
- c) stabilizzare i fondali soggetti ad erosione.

Le esperienze di trapianto di fanerogame marine condotte dal Provveditorato tramite il proprio Concessionario Consorzio Venezia Nuova in Laguna di Venezia con *C. nodosa*, *Z. marina* e *N. noltii* hanno permesso di mettere a punto metodi di trapianto specifici per le diverse caratteristiche morfologiche e sedimentarie della Laguna.

E' stato possibile riformare praterie di fanerogame marine che oltre a stabilizzare i fondali, hanno arricchito la composizione della fauna bentonica contribuendo alla biodiversità della laguna.

Dalle esperienze condotte e dai risultati conseguiti, è risultato che *Cymodocea nodosa* si è rivelata la specie più adatta per i trapianti in aree litoranee, di laguna aperta prossime alle bocche portuali e su siti caratterizzati da buona vivificazione marina e da sedimenti a rilevante frazione sabbiosa. La specie non ha invece tendenza ad insediarsi su aree interne, meno vivificate e con sedimenti a forte presenza di limi ed argille. Costituisce un fattore fondamentale, per la riuscita del trapianto, la presenza di una carica organica, associata ad una seppur minoritaria componente limosa in grado di compattare e consolidare i sedimenti ospiti, soprattutto in ambienti a sollecitazioni idrodinamiche come le bocche di porto ancorché offrano un certo riparo rispetto al caso del litorale vero e proprio.

Per *Zostera marina* sono stati ottenuti i migliori risultati nelle zone lagunari più interne rispetto alle bocche di porto.

Per *Zostera noltii* i risultati sono stati positivi con prospettive sia per velme artificiali, sia per velme naturali al piede delle strutture a barena, purché in aree con limitata esposizione al moto ondoso.

A seconda della zona di trapianto (caratteristiche morfo-batimetriche, sedimentologiche, vivacità idrodinamica, salinità) deve essere individuata la specie di fanerogama marina maggiormente adatta e in base alla dimensione dell'area di trapianto la tecnica da adottare. Ad esempio la tecnica tradizionale<sup>1</sup> risulta più conveniente nelle zone più interne con battenti ridotti e per trapianti di quantitativi modesti. Nei siti maggiormente esposti al moto ondoso e alle correnti, come ad esempio nelle celle del litorale di Pellestrina, è necessario proteggere le zolle di nuovo impianto, posizionando, al termine del trapianto, una rete protettiva al di sopra del piano sedimentario.

La tecnica *innovativa* invece<sup>2</sup> è stata applicata per ottimizzare il rapporto costi-benefici impiegando mezzi idraulici che le rendono più efficienti le operazioni di espianto e di reimpianto, nel rispetto dei siti donatori ed accettori.

### **2.3.1.1 Trapianto di vegetazione alofila in barena e vivai di piante alofile in laguna**

Nell'ambito del progetto LIFE NATURA 1999 "Barene: protezione e recupero con tecniche di ingegneria naturalistica", cofinanziato dalla Comunità Europea, dal Magistrato alle Acque e dal Comune di Venezia, è stato realizzato presso l'Isola dei Laghi un Vivaio di piante alofile.

Nel vivaio, situato a nord di Burano, nella zona definita "Palude dei Laghi", è attrezzato per la produzione di alofite e igrofite a partire dal recupero delle zolle che si distaccano dalle barene naturali per effetto delle onde prodotte dalle imbarcazioni che assieme alle correnti producono erosione al piede dei margini barenali.

Vengono prodotte diversi tipi di essenze alofile che includono zolle vegetate, piantine singole o raggruppate nei cosiddetti "cocchetti" e tappeti vegetati, costituiti da stuoie in cocco o materiali degradabili similari recanti apposite tasche riempite con sedimento e stoloni. Le zolle si distaccano per effetto delle onde prodotte dalle imbarcazioni che assieme alle correnti di marea, producono erosione al piede quando le acque di sormonto rifluiscono nel canale.

Nel complesso si impiegano le piante recuperate dalla raccolta delle zolle distaccatesi dai margini delle barene naturali nell'area circostante il vivaio. Le specie che hanno evidenziato maggior successo, sia nella fase di coltivazione e confezionamento che in quella di reimpianto con migliore adattamento e maggiore percentuale di sopravvivenza, sono state le graminacee: *Puccinellia palustris* e *Spartina maritima*.

Con il trapianto di piante e zolle vegetate ci si prefigge di accelerare i tempi di sviluppo vegetazionale nei siti dove sono già stati realizzati interventi di protezione dei margini barenali e di recupero morfologico. Sulla base dell'esperienza maturata, sono state ottimizzate le operazioni di trapianto a seconda dei substrati oggetto di intervento scegliendo diversi tipi di confezionamento delle piante.

---

<sup>1</sup> La tecnica tradizionale consiste nella posa manuale di zolle vegetate di dimensioni ridotte (zolle vegetate di diametro di circa 20-30 cm) ed è condotta con operazioni manuali di prelievo di zolle vegetate con apposito carotatore dal sito "donatore" e inserimento nel sito ospite originario per ridurre i fenomeni di stress post-trapianto.

<sup>2</sup> La tecnica innovativa consiste nel prelievo e reimpianto di "grandi zolle", delle dimensioni approssimative di 1-2 m<sup>2</sup>, che vengono movimentate con mezzi idraulici servoassistiti opportunamente modificati per ottimizzare le fasi di raccolta e di "reinserimento" delle zolle.

Ad esempio la posa di elementi vegetati (zolle, tappeti, ecc.), su suoli preparati con erpicatura, ed eventuale aggiunta di materiale sabbioso ed ammendanti, consente di avviare la colonizzazione delle aree adiacenti agli inneschi.

Le zolle hanno dimostrato maggior versatilità e resistenza, i cocchetti e i tappeti garantiscono migliori risultati se impiegati entro 2-3 mesi dalla produzione.

Il trapianto di specie perenni (come le graminacee *Spartina maritima* e *Puccinellia palustris*), ha riguardato barene colonizzate soprattutto da specie annuali (come la *Salicornia veneta*) con l'obiettivo di diversificare le specie. Le nuove specie assicurano anche nei periodi invernali - sebbene in temporanea quiescenza - una copertura che aumenta la cattura del sedimento risospeso dai bassi fondali.

Il trapianto di zolle di vegetazione igrofila invece (quali ad esempio *Phragmites australis*), realizzato nella foce del Dese, ha dimostrato che in certi casi è preferibile stimolare i processi di sedimentazione nelle adiacenze di canneti piuttosto che ricorrere al trapianto di zolle vegetate.



Figura 2-11 Barena Ca la Vela: trapianto di cocchetti e tappeti vegetati (MAGISTRATO ALLE ACQUE – CVN -SI, 2008).

## 2.4 Grado di confinamento del canale rispetto al basso fondale (ubicazione e dimensionamento dei varchi)

La realizzazione di strutture morfologiche in ambito lagunare, in particolare l'interposizione di tali strutture tra canali e basso fondali, deve essere progettata anche in riferimento a criteri che tengano conto dell'influenza delle strutture sul grado di confinamento dei basso fondali. Questo riguarda in particolare la dislocazione delle strutture morfologiche, ossia l'ubicazione

ed il dimensionamento dei varchi tra le diverse strutture lungo la direzione longitudinale al canale. Il grado di confinamento a sua volta influisce sulle principali variabili chimico-fisiche e sulle condizioni trofiche che caratterizzano l'ecosistema, in ragione del diverso regime idrodinamico (e quindi della possibilità di ricambio mareale), nonché della diversa influenza esercitata dagli apporti provenienti dalle aree di gronda. Analogamente la presenza di varchi di diversa ampiezza tra le strutture espone i basso fondali a diversi regimi di vento e corrente con le relative conseguenze sui fattori di erodibilità dei fondali stessi. L'erodibilità dei fondali è peraltro controllata da ulteriori fattori quali la granulometria dei sedimenti, le comunità biologiche ivi presenti (che agiscono da biostabilizzatori) e la presenza di attività antropiche, quali ad esempio la pesca e la molluschicoltura.

I parametri chimico-fisici, i macrodescrittori e le condizioni trofiche ed idrodinamiche in generale rappresentano le forzanti che guidano il sistema ecologico verso diverse condizioni di equilibrio. Nel seguito si forniscono alcuni riferimenti metodologici e basi informative che tornano utili al fine di valutare gli effetti del grado di confinamento sugli habitat e sullo stato dei fondali e quindi, attraverso un procedimento a ritroso, permettono di valutare il grado di confinamento più opportuno per i basso fondali.

#### **2.4.1 Mappe di abitabilità delle comunità biologiche acquatiche sulla base delle caratteristiche chimico-fisiche del sito (Suitability index)**

La risposta degli organismi e delle comunità acquatiche alla variazione delle condizioni ambientali è stata oggetto di analisi modellistiche nell'ambito dello studio B12.3 e nell'ambito degli studi propedeutici alla predisposizione dell'aggiornamento del Piano morfologico.

Lo studio B12.3 (Magistrato alle Acque - DSA UNIVE, 2007 e Magistrato alle Acque - DSA UNIVE, 2010) ha analizzato l'evoluzione temporale della funzionalità dell'ambiente lagunare anche attraverso l'applicazione di modelli predittivi dell'idoneità ambientale basati sulla formulazione e applicazione di habitat suitability index (HSI). Tali modelli avevano lo scopo di predire la variazione di distribuzione e/o abbondanza di alcune specie nectoniche (pesci e crostacei) in risposta al variare dei valori di un set di variabili ambientali (torbidità, salinità, temperatura, ossigeno disciolto, granulometria del sedimento, ampiezza del fetch) ritenute significative nel condizionare la funzionalità dell'ambiente lagunare. I modelli permettono quindi di valutare gli effetti della variazione temporale delle principali forzanti chimico-fisiche sulla distribuzione e abbondanza potenziale delle specie. Per rappresentare la funzione ecologica lagunare sono state selezionate e modellizzate due specie: il decapode *Crangon crangon* quale indicatore della comunità lagunare residente (Figura 2-12) giovanili della specie ittica *Sparus aurata* quale indicatore della funzione di nursery (Figura 2-13). La funzione di nursery degli habitat lagunari oltre ad essere un importante elemento ecologico di per sé, può essere considerata una buona proxy della funzionalità ecologica (Magistrato alle Acque - DSA UNIVE, 2010).

##### Principali documenti di riferimento:

- *Magistrato alle Acque – DSA UNIVE, 2007. Studio B.12.3/III - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. - Individuazione di indicatori di funzionalità ambientale. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*
- *Magistrato alle Acque – DSA UNIVE, 2010. Studio B.12.3/V - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e*

*dell'ittiofauna. - Individuazione di indicatori di funzionalità ambientale attraverso rilievi della fauna neotonica. III Rapporto intermedio. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*

- *Magistrato alle Acque – CORILA, 2009. Studio C.2.10/IV - Aggiornamento del Piano Morfologico in base alle richieste dell'Ufficio di Piano. Attività D – Il sistema lagunare di riferimento. Rapporto finale D2 – Stato delle componenti naturali e biologiche. A cura di: Unità Operativa AMB. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2014. Studio C.2.10/IV. Aggiornamento del piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*



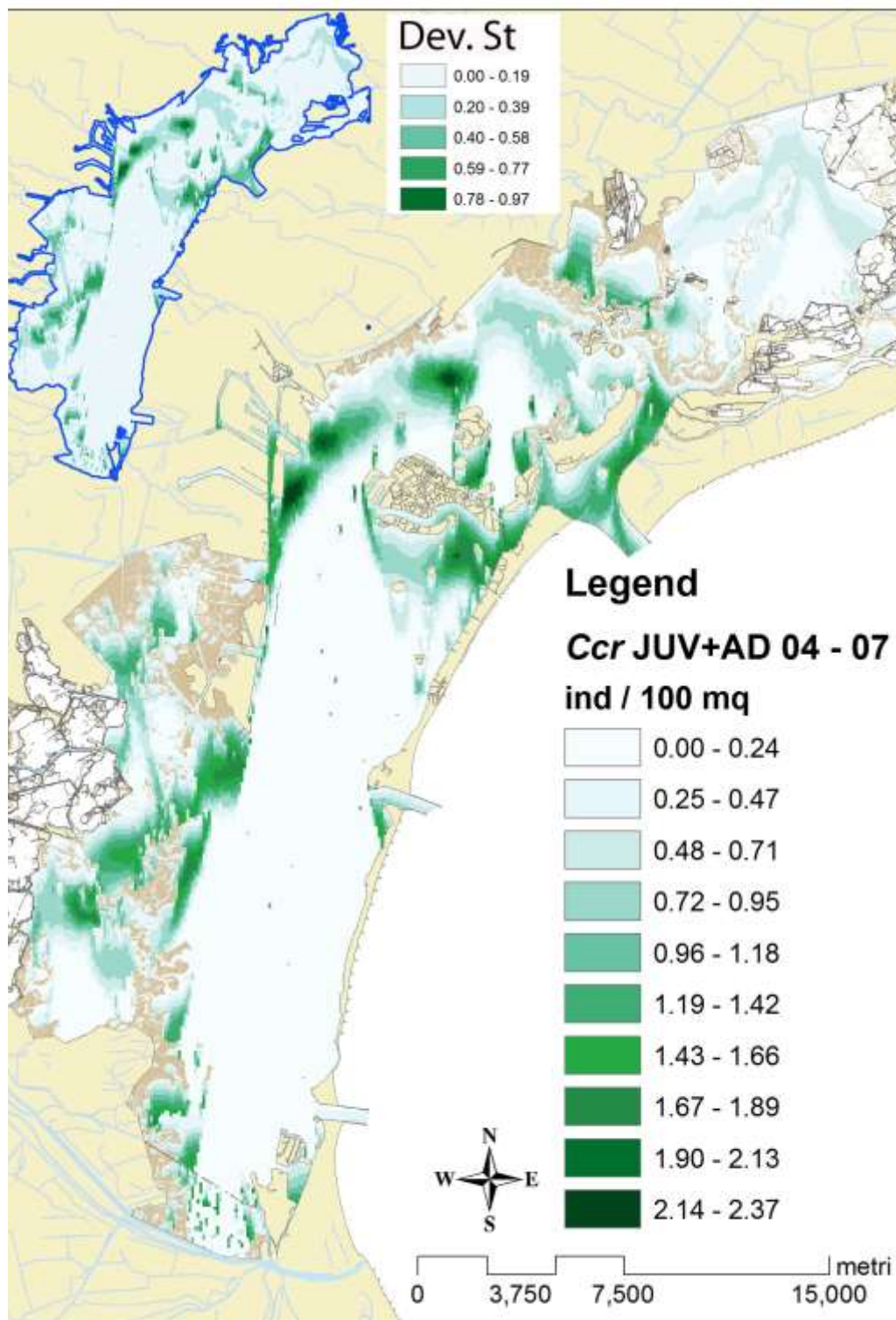
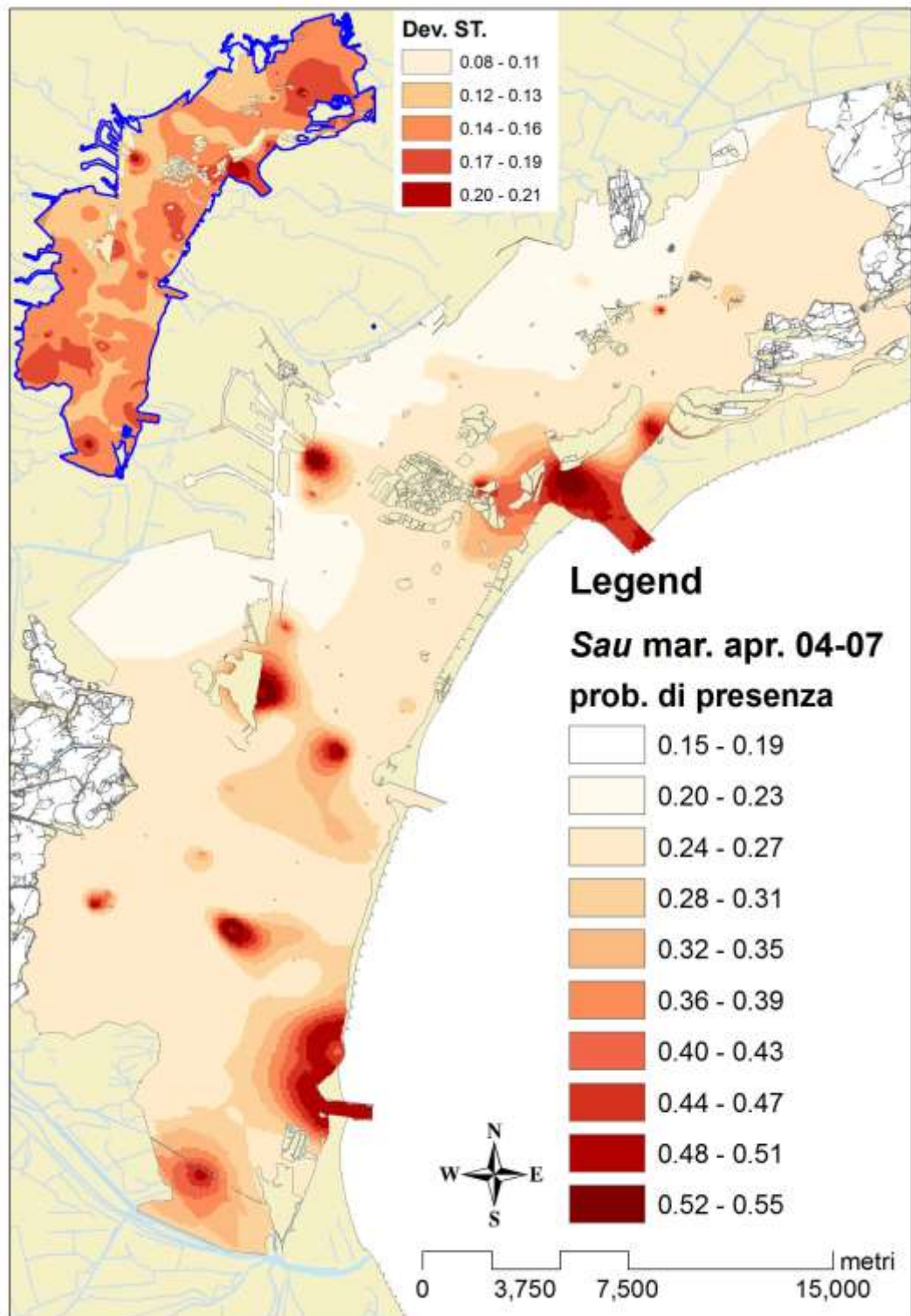


Figura 2-12 Abbondanza potenziale di *Crangon crangon* per il periodo marzo-aprile 2004-2007. Tratta da: Magistrato alle Acque - DSA UNIVE, 2010.



**Figura 2-13 Distribuzione potenziale dei giovanili di *Sparus aurata* (L.S. < 20mm) per il periodo marzo-aprile 2004-2007. Tratta da: MAV-UNIVE, 2010.**

Nell'ambito degli studi condotti dal Magistrato alle acque (MAG. ACQUE – CORILA, 2009), è stata verificata la possibilità di definire le principali tipologie di "habitat", aree con caratteristiche abiotiche idonee allo sviluppo delle diverse comunità biologiche acquatiche presenti in laguna di Venezia, basandosi principalmente sulla distribuzione di tre comunità biologiche (ma-

crofitobenthos, macrozoobenthos e necton), successivamente integrate da elementi relativi alla comunità zooplanctonica. Sulla base della composizione e distribuzione spaziale delle biocenosi lagunari e degli intervalli di variabilità dei parametri abiotici (salinità, torbidità, granulometria, tempi di residenza) cui esse si associano, sono state individuate sette tipologie di habitat associate ad altrettante unità ambientali omogenee (Figura 2-14):

Habitat a fanerogame (K) - Localizzato in prossimità delle bocche di porto, questo habitat è caratterizzato da salinità 31-32 psu, da valori di torbidità e tempi di residenza più bassi rispetto agli altri habitat ( $16\pm 1.4$  FTU;  $4\pm 4.9$  gg), nonché dalla più elevata percentuale di sabbia nel sedimento ( $45.5\pm 20.1\%$ ). Le popolazioni macrofitobentoniche che caratterizzano questo habitat sono le fanerogame nei bassofondali o in aree particolarmente limpide e le macroalghe ad elevata valenza ecologica in aree più profonde e/o caratterizzate dalla presenza di substrati duri. Il numero di taxa delle macrofite è generalmente elevato, ma le biomasse sono piuttosto basse. Molte forme macroalgali sono epifite di fanerogame o di altre macroalghe. La comunità fitoplanctonica è caratterizzata da abbondanze piuttosto modeste, mentre nella comunità zooplanctonica prevalgono organismi tipici di aree marino-costiere. La comunità macrozoobentonica risulta molto ricca e ad elevata diversità, ed è caratterizzata da individui mediamente più grandi degli altri habitat. La comunità nectonica presenta una ricchezza specifica variabile (8-15 specie in media), con valori maggiori nelle aree più esposte all'influenza marina, situate di fronte alle bocche di porto. La comunità ornitica, infine, è caratterizzata dalla predominanza (in termini di numero di specie e di abbondanza relativa) di specie che prediligono habitat di acque libere e mediamente profonde.

Habitat Laguna centrale protetto (W) - Questo habitat è caratterizzato da salinità media di  $30.4\pm 0.8$  PSU, torbidità di  $20.7\pm 1.9$  FTU e tempo di residenza di  $10.3\pm 4.6$  gg. La percentuale di sabbia è molto più bassa rispetto all'habitat K ( $8.9\pm 9.1$ ). Esso registra un elevato carico trofico e la copertura macroalgale è soggetta a forti variazioni stagionali e in funzione del livello di degrado. La comunità fitoplanctonica è mediamente più abbondante che nell'habitat K, soprattutto per effetto dell'alternarsi di importanti fioriture durante il periodo di degradazione delle macroalghe. La comunità zoobentonica ha una diversità comparabile a quella dell'habitat di laguna centrale dinamico. È il terzo habitat per quanto riguarda la diversità e il secondo per la densità; ha una buona biomassa e capacità produttiva secondaria (CPS) comparabile all'habitat di laguna centrale dinamico. La comunità nectonica presenta una ricchezza relativamente elevata (12-13 specie in media). La comunità ornitica caratteristica di quest'habitat è caratterizzata dalla predominanza di specie legate all'ambiente di acque libere e limicoli.

Habitat Laguna centrale dinamico (Wbis) - Questo habitat è caratterizzato da una salinità media di 30.9 PSU, valori di torbidità e tempi di residenza bassi rispetto agli altri habitat ( $18.1\pm 2.2$  FTU;  $8.3\pm 6.5$  gg) e da una percentuale di sabbia media del  $36.2\pm 19.9\%$ . Le condizioni ambientali sono del tutto simili a quelle descritte per l'habitat W, con le macroalghe come produttori primari dominanti, sebbene nelle aree immediatamente a ridosso delle barene possa essere dominante il fitoplancton. Anche la comunità zooplanctonica e quella zoobentonica risultano molto simili a quelle descritte per l'habitat W. La comunità nectonica tipica di questo habitat presenta una ricchezza variabile in media tra 9 e 12 specie, con bassi livelli di dominanza specifica. La comunità ornitica presenta caratteristiche del tutto simili a quelle dell'habitat W.

Habitat Confinato eualino (P) - Questo habitat presenta salinità media e torbidità simili a quelli di ambienti più marinizzati ( $30.3\pm 0.2$  PSU e  $18.2\pm 0.3$  FTU, rispettivamente), mentre la composizione granulometrica ed il tempo di residenza sono propri di un ambiente più confinato ( $3.4\pm 1.2\%$  sabbia;  $52.7\pm 10.6$  gg). Dal punto di vista dei produttori primari e dei popolamenti

zooplanctonici l'habitat è associabile all'habitat Y. La comunità zoobentonica presenta basse densità e biomassa, con CPS minima. La comunità nectonica è relativamente ricca (9-11 specie), con specie residenti preponderanti in tutte le stagioni, mentre in primavera si può osservare un picco di ricchezza e di abbondanza relativa dei migratori marini. La comunità ornitica caratteristica è costituita da specie legate all'ambiente di velma/barena e da specie che prediligono le acque libere poco profonde e con salinità maggiore.

Habitat Confinato di gronda (Y) - Questo habitat comprende le aree più confinate e meno soggette all'influenza della marea. I parametri ambientali che lo caratterizzano evidenziano una minore salinità ( $29.8 \pm 0.6$  PSU), un sedimento piuttosto fine ( $14.7 \pm 15.7\%$  sabbia), una torbidità media di  $20.5 \pm 3.8$  FTU e un tempo di residenza medio pari a  $23.6 \pm 15.7$  gg. L'elemento distintivo è la presenza di strutture morfologiche ben definite quali velme e barene. Le aree a ridosso delle barene possono essere colonizzate da produttori primari in funzione dello stato delle barene stesse. Se le condizioni della barena sono compromesse, l'area circostante è dominata essenzialmente da fitoplancton, perché la disponibilità di luce al fondo risulta insufficiente alla produzione primaria delle macrofite. Nel caso in cui, invece, la barena sia in buono stato si ha una colonizzazione a fanerogame (generalmente *Nanozostera noltii*). La comunità fitoplanctonica è composta in prevalenza da forme bentoniche risospese e da cellule di piccole dimensioni in grado di proliferare in poche ore. Le dinoflagellate e le specie pelagiche coloniali sono completamente assenti. Il comparto zooplanctonico è caratterizzato dall'insediamento di popolamenti propriamente lagunari e dominata da copepodi, con specie che non si trovano mai in ambiente marino. La comunità nectonica è relativamente ricca (9-12 specie in media), con predominante componente residente. La comunità ornitica è costituita da specie legate all'ambiente di velma/barena e da quelle che prediligono le acque libere poco profonde.

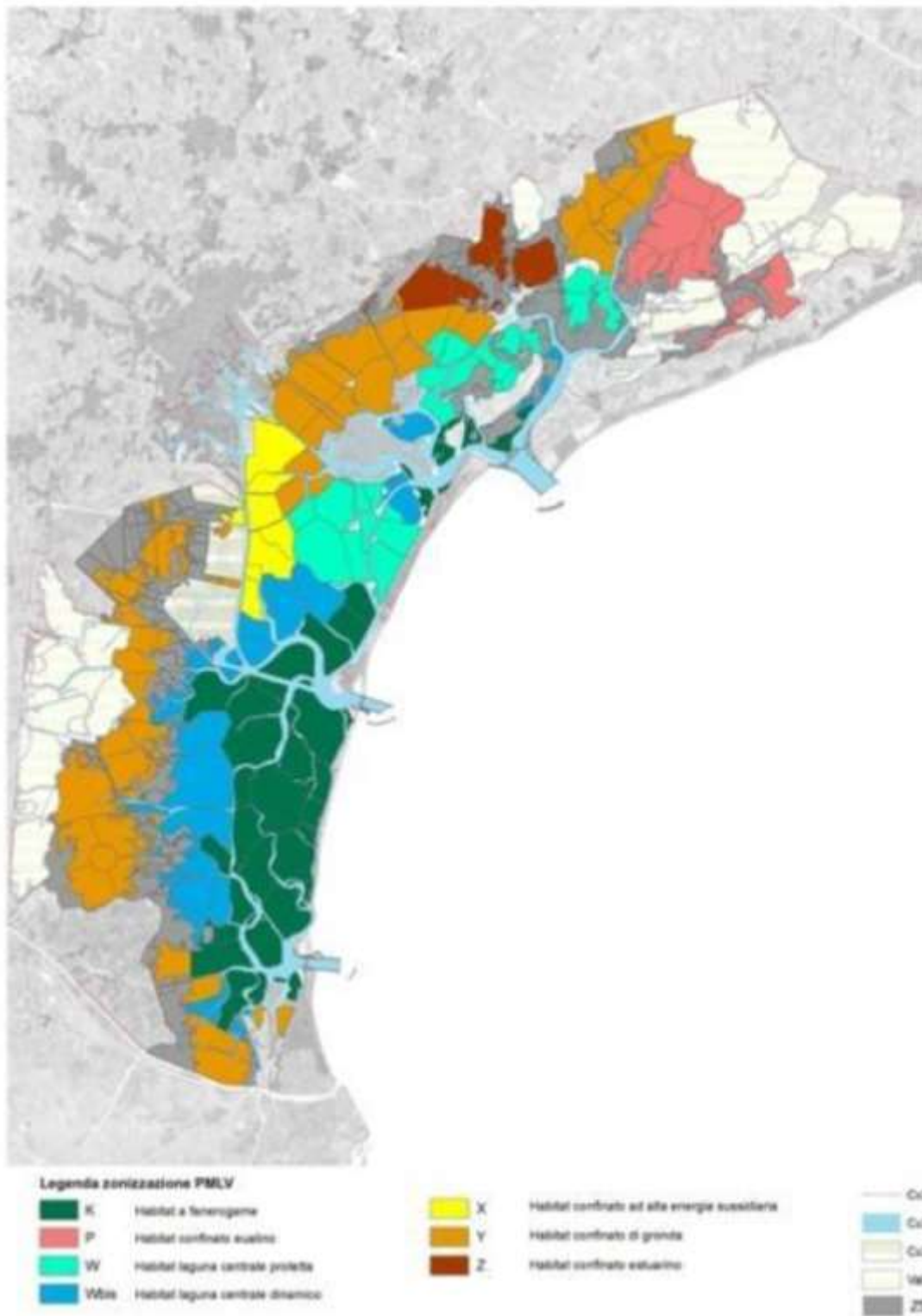
Habitat Confinato estuarino (Z) - Questo habitat si caratterizza per i valori di salinità più bassi ( $28.3 \pm 0.8$  PSU) e torbidità media di  $20.2 \pm 2.0$  FTU. Granulometria e tempo di residenza sono propri di un ambiente decisamente confinato ( $9.5 \pm 9.4\%$  sabbia;  $39.1 \pm 19.7$  gg). Le aree di tale habitat si distinguono da quelle dell'habitat Y per importanti apporti di acque dolci e, quindi, per concentrazioni dei principali nutrienti tra le maggiori in laguna. In tali condizioni tende a prevalere il fitoplancton, composto prevalentemente da piccole flagellate e da diatomee spesso risospese dal sedimento e da forme dulciacquicole, anche se sporadicamente si possono trovare macroalghe. L'abbondanza fitoplanctonica è tra le più elevate registrate in laguna, con fioriture di diversi milioni di cellule per litro. Le condizioni ambientali sono spesso scadenti per la scarsa qualità degli apporti fluviali e lo scarso ricambio mareale. La comunità zooplanctonica, è analogo a quello descritto per l'habitat Y, con sporadica presenza, in prossimità delle foci, di specie tipiche di acque dolci. La comunità zoobentonica non evidenzia un'identità propria, benché sia possibile riconoscervi condizioni ambientali caratteristiche. In particolare, si osserva una biomassa media leggermente superiore all'habitat Y, con alta densità associata a un alto potenziale produttivo. La comunità nectonica caratteristica di questo habitat è relativamente ricca (9-10 specie in media), ed è caratterizzata per lo più dalla presenza ed abbondanza di *P. canestrinii* e altri piccoli gobidi. La comunità ornitica è caratterizzata dalla predominanza di specie legate all'ambiente di velma/barena.

Habitat Confinato ad alta energia subsidiaria (X) – L'habitat presenta un elevato carico di contaminanti di diversa natura (IPA, PCB, metalli pesanti, arsenico, ecc.) e malgrado un discreto ricambio idrico, l'elevato traffico marittimo e l'insieme delle attività connesse allo scalo portuale determinano condizioni ambientali generalmente pessime. La torbidità media è la più elevata ( $25.1 \pm 1.7$  FTU), la granulometria è simile a quella dell'habitat Y, mentre il tempo di residenza

e la salinità sono più simili a quelli di un ambiente più dinamico ( $16.8 \pm 14.4\%$  sabbia;  $18.5 \pm 8.0$  gg). I fondali appaiono “nudi” o al massimo coperti da una biomassa macroalgale trascurabile ( $< 0.1$  kg fwt/m<sup>2</sup>), a causa della maggiore profondità dei fondali e, soprattutto, dell’elevata pressione antropica che crea condizioni non favorevoli alla crescita delle macrofite. Questo habitat è compromesso anche dall’intensa attività di pesca delle vongole che ostacola ulteriormente la colonizzazione delle macrofite e aumenta la risospensione dei sedimenti. In tali condizioni, il principale produttore primario è il fitoplancton che presenta abbondanze mediamente maggiori che nelle altre aree lagunari. La comunità zooplanctonica è costituita da raggruppamenti intermedi tra quelli tipicamente lagunari descritti per l’habitat Y e quelli eurietici dell’habitat W. La comunità zoobentonica mostra una diversità leggermente superiore alla media, un’alta biomassa e una taglia media degli individui eccezionalmente alta. La comunità nectonica presenta una ricchezza variabile tra 8 e 13 specie in media con assenza di una dominanza netta. Esiste nella comunità un certo bilanciamento tra specie residenti e marine migratrici, che suggerisce una marcata funzionalità potenziale di nursery. La comunità ornitica è costituita da specie che prediligono habitat di acque libere e mediamente profonde.

Mediante l’approccio “Random Forest” (Breiman, 2001) è stato sviluppato un modello predittivo che mettendo in relazione i sette habitat (variabile predetta) con i parametri ambientali (tempo di residenza, salinità, torbidità, percentuale di sabbia) quali variabili predittive o forzanti, consente di predire gli effetti che la variazione dei parametri ambientali può determinare sugli habitat e quindi sulle biocenosi e sulle reti trofiche lagunari (MAV-CORILA, 2009).

Il modello fornisce quindi scenari tendenziali che rappresentano la distribuzione degli habitat attesa a seguito della variazione delle variabili predittive. Applicando il modello agli scenari delle variazioni morfologiche e idrodinamiche attese dalla realizzazione di interventi, è possibile prevederne gli effetti sulle comunità degli habitat lagunari. Nell’ambito del Piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia, per esempio, il modello è stato applicato per valutare la potenziale distribuzione degli habitat indotta da uno scenario di variazioni dei tempi di residenza e del gradiente di torbidità in relazione agli interventi di protezione morfoidrodinamici ed ecologici progettati. Lo scenario evidenzia come alla diminuzione di torbidità attesa si determini una potenziale espansione della distribuzione dell’habitat a fanerogame marine (MAV-CORILA, 2014).



**Figura 2-14** Distribuzione degli habitat acquatici lagunari individuati sintetizzando le relazioni esistenti tra biocenosi e parametri abiotici (tratta da: MAV-CORILA, 2014).

## 2.4.2 Erodibilità dei fondali

### Principali documenti di riferimento:

- *Magistrato alle Acque – Thetis, 2003. Studio B.12.3/II. Valutazione degli effetti della pesca sulla morfologia lagunare. Monitoraggio degli effetti della pesca nelle aree in concessione - Rapporto finale.*
- *Magistrato alle Acque – Thetis, 2004. Studio C.2.5. Dati meteomarini per la gestione della Laguna di Venezia. Analisi delle interazioni tra condizioni climatiche e processi ambientali tipici della laguna di Venezia.*
- *Magistrato alle Acque – CVN Servizio Ingegneria, 2005. Studio B.12.3/III - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. Erodibilità del fondale e fattori di disturbo . Rilievi dell'erodibilità. Rapporto finale.*
- *Magistrato alle Acque – Thetis, 2006. Attività di monitoraggio ambientale della laguna di Venezia. Stato dell'ecosistema lagunare veneziano aggiornato al 2005, con proiezioni al 2025. DPSIR – 2005. Attività A. Evoluzione morfologica.*

### Fattori di controllo

La risposta dei fondali lagunari all'azione di onde e correnti dipende dalle caratteristiche del sedimento, ma anche dall'eventuale presenza di fitobenthos e zoobenthos, che può costituire un fattore fondamentale nel contrastare i fenomeni erosivi (biostabilizzazione).

In particolare come è noto la presenza di praterie di fanerogame modifica localmente le condizioni idrodinamiche, creando al di sopra del sedimento un ambiente a bassa energia che ne riduce l'erosione e insieme favorisce la sedimentazione del materiale fine in sospensione nella colonna d'acqua (il cosiddetto effetto di "sheltering").

Effetti simili sono riscontrabili anche per gli accumuli di ulva. L'azione biostabilizzatrice di queste macroalghe risulta tuttavia limitata alle aree caratterizzate da minore vivacità idrodinamica, in quanto l'assenza di un apparato radicale le espone ad essere facilmente rimosse e trasportate dalle correnti.

All'effetto di "sheltering" appena descritto, derivante dalla presenza di macrofite, si affianca un secondo, diverso effetto di biostabilizzazione, costituito dall'incremento della soglia di erosione del sedimento da parte del benthos che ne colonizza lo strato più superficiale.

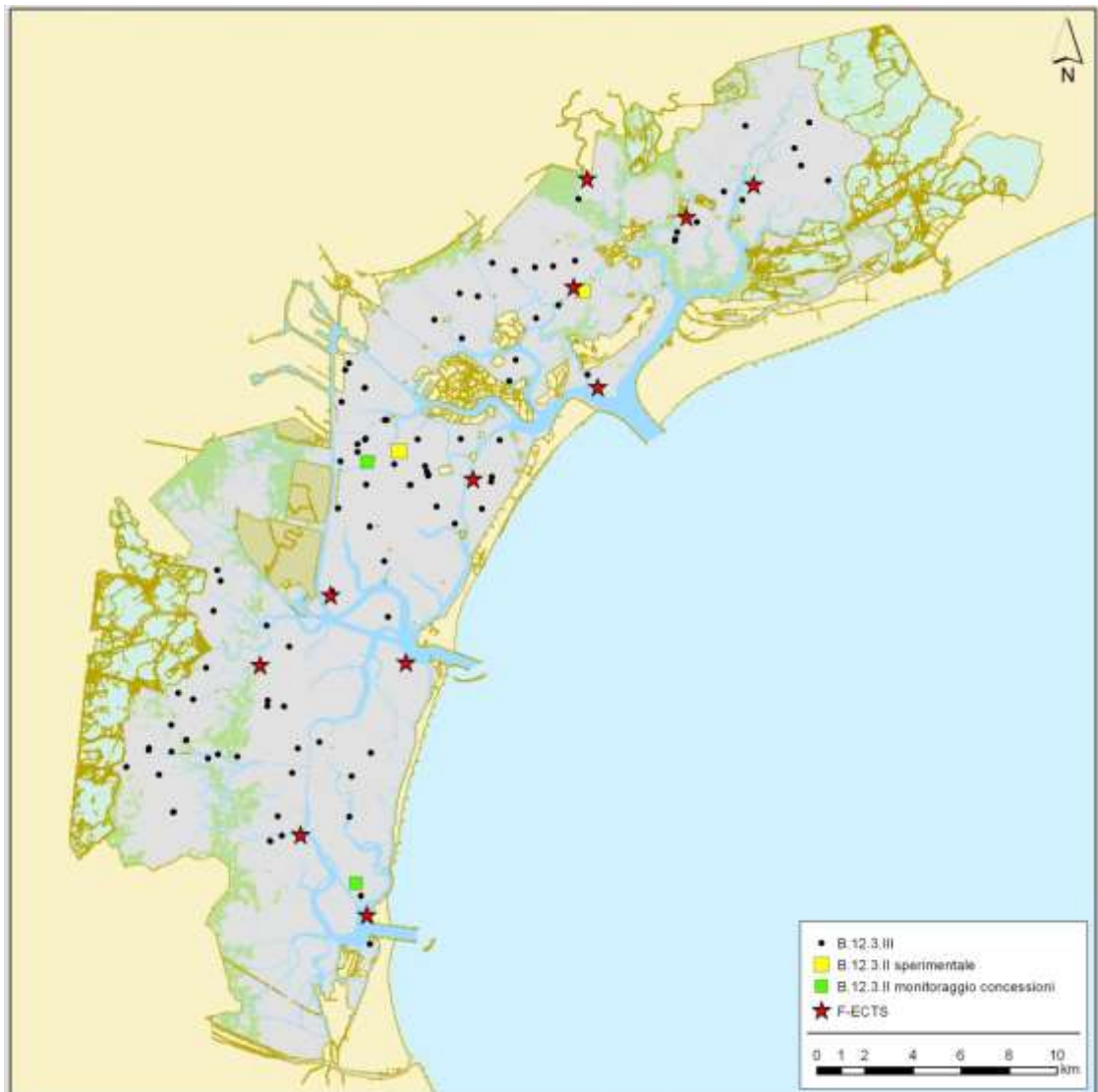
Sono ben noti in questo senso i rilevanti effetti di biostabilizzazione derivanti dalla presenza di materassi microbici di cianobatteri filamentosi, che ricoprono il sedimento con dei veri e propri feltri naturali isolandolo dall'azione diretta delle forze idrodinamiche, come pure il contributo degli essudati prodotti dalle diatomee bentoniche, rilevabili all'analisi di laboratorio in termini di elevate concentrazioni di carboidrati colloidali, che contribuiscono a legare tra loro le particelle di sedimento.

In assenza di biostabilizzazione l'erodibilità del fondale dipende invece dalle caratteristiche del sedimento. In particolare risulta legata alla granulometria nel caso di materiale non coesivo, alla densità e alle caratteristiche mineralogiche per materiale coesivo.

L'erodibilità del sedimento è evidentemente soggetta ad una forte variabilità stagionale per la componente di biostabilizzazione, ma anche la componente legata alle caratteristiche sedimentologiche è soggetta a una certa variabilità temporale, in funzione del naturale processo di consolidazione dello strato più superficiale del sedimento, specie nelle prime ore che seguono la sua deposizione.

I principali parametri che descrivono la risposta del fondale alle sollecitazioni idrodinamiche sono la soglia critica di erosione (sforzo tangenziale all'interfaccia acqua-sedimento al di sopra del quale ha inizio l'erosione del sedimento), la velocità di erosione (flusso di massa del sedimento risospeso nell'unità di tempo), la soglia di sedimentazione (sforzo tangenziale al di sotto del quale il materiale in sospensione comincia a sedimentare) e la velocità di deposizione (flusso di massa del sedimento sedimentato nell'unità di tempo).

Tutti questi parametri sono stati investigati per la prima volta *in-situ* nella laguna di Venezia durante il progetto Mast III F-ECTS, che ha visto il monitoraggio di undici siti scelti come rappresentativi delle principali tipologie di fondale (Figura 2-15).



**Figura 2-15** Localizzazione dei siti di misura dell'erodibilità dei fondali in Laguna di Venezia.



Il monitoraggio, eseguito una prima volta nell'estate del 1998 e ripetuto nell'inverno seguente per investigare la variazione stagionale dei parametri, è stato eseguito in quell'occasione mediante il posizionamento *in situ* di una speciale canaletta circolare strumentata e aperta sul fondo denominata "Sea Carousel", in cui la rotazione del coperchio è in grado di generare correnti di intensità nota e di trasmettere quindi sollecitazioni di intensità nota al sedimento su cui la canaletta poggia.

Accanto alla misura dei parametri che descrivono la risposta del fondale alle sollecitazioni idrodinamiche fu eseguita inoltre per ogni sito la determinazione di caratteristiche del fondale quali granulometria, densità, contenuto di carboidrati colloidali ed altre ancora che controllano l'erosibilità del fondale, in vista di un tentativo di parametrizzazione di quest'ultima.

Anche per le rilevanti difficoltà operative connesse all'utilizzo in campo del Sea Carousel, caratterizzato da un diametro di 200 cm e da un peso di 150 kg, le successive campagne di misura dell'erosibilità dei fondali lagunari, svolte nell'ambito degli Studi B.12.3/II (Valutazione degli effetti della pesca sulla morfologia lagunare) e B.12.3/III (La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna) del Magistrato alle Acque – Consorzio Venezia Nuova, sono state caratterizzate dall'utilizzo di un Cohesive Strength Meter (CSM), uno strumento portatile di peso e ingombro ridotto in grado di determinare però la sola soglia critica di erosione del sedimento. Il CSM ha inoltre lo svantaggio di un'impronta ridotta (60 mm di diametro), ciò che implica la necessità di eseguire più misure in ogni sito per mediare la grande variabilità spaziale a scala ridotta tipica del parametro.

Per l'obiettivo che si prefiggevano, le campagne di misura eseguite nell'ambito dello studio B.12.3.II hanno riguardato un numero ridotto di siti subtidali, sui quali sono state eseguite diverse misure concentrate in aree ristrette, mentre il monitoraggio svolto nell'ambito dello studio B.12.3.III è consistito in una caratterizzazione sistematica dei fondali in un numero elevato di punti.

Più in dettaglio, l'esecuzione di test con il CSM sui fondali lagunari è avvenuta in tre momenti successivi:

1. nell'ambito delle attività di simulazione sperimentale delle attività di pesca dello studio B.12.3.II. L'attività, svolta nel luglio 2002, ha riguardato la caratterizzazione di due siti (San Giacomo in Paludo e Sant'Angelo della Polvere, cfr. Figura 2-15) immediatamente prima e dopo lo svolgimento dell'attività di raccolta di tapes. Oltre alla determinazione della soglia di erosione del sedimento sono state determinate le principali caratteristiche sedimentologiche del fondale, nonché il contenuto di carboidrati colloidali e di clorofilla a;
2. nell'ambito delle attività di monitoraggio delle aree di pesca dello studio B.12.3.II, finalizzata alla quantificazione degli effetti a medio e lungo termine indotti dalla pesca dei tapes. L'attività, svolta tra novembre 2002 e giugno 2003, ha compreso la determinazione della soglia di erosione e delle medesime caratteristiche del sedimento misurate durante le attività di simulazione sperimentale, in due aree tra quelle date in concessione per tale tipo di pesca (Ca' Roman e Sant'Angelo della Polvere, cfr. Figura 2-15).
3. nell'ambito di una specifica attività di rilievo dell'erosibilità del fondale dello studio B.12.3.III, in cui il rilievo della soglia di erosione in circa 100 siti distribuiti su tutta la superficie lagunare (Figura 2-15) si è accompagnato al rilievo della scabrezza del fondale mediante strumentazione multibeam, con l'obiettivo specifico di cercare una correlazione tra la prima e il disturbo associabile all'attività di pesca. Nel corso di questa

attività sono state inoltre determinate la granulometria e il contenuto d'acqua del sedimento superficiale.

La tabella che segue riassume le principali caratteristiche dei database di misure di campo oggi disponibili per quanto attiene all'erodibilità dei fondali lagunari e ai suoi parametri di controllo.

**Tabella 2-1 Erodibilità dei fondali lagunari - prospetto riassuntivo delle principali caratteristiche dei database di misure di campo disponibili.**

			Parametri di Erosione /sedimentazione				Caratteristiche del sedimento					
Studio	n° siti	Strumento	$\tau_c$	$E_m$	$\tau_d$	$D_m$	Granulometria	Chl	Carb coll.	$\rho_b$	TOC	W%
F-ECTS	11	Sea carousel	X	X	X	X	$d_{50}$	X	X	X	X	X
B.3.12.II	4	CSM	X				3 classi	X	X	X	X	X
B.3.12.III	100	CSM	X				3 classi					X

$\tau_c$  = soglia di erosione;  $E_m$  = velocità media di erosione;  $\tau_d$  = soglia di sedimentazione;  $D_m$  = velocità di deposizione; Chl = clorofilla a; Carb. coll = concentrazione di carboidrati colloidali nel sedimento superficiale;  $\rho_b$  = densità del sedimento; TOC = carbonio organico totale; W% = contenuto d'acqua.

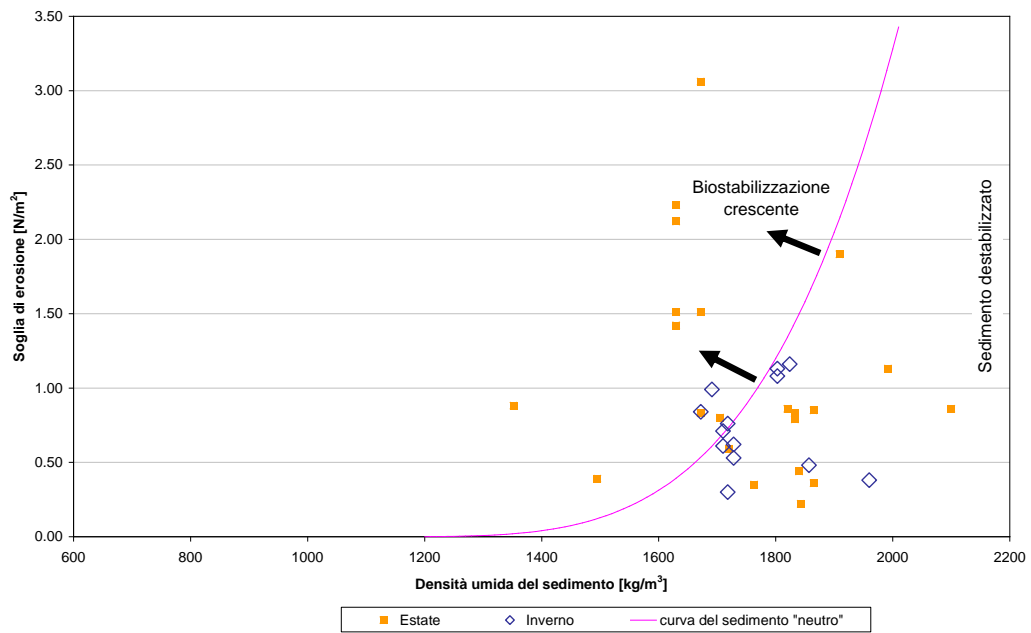
Alla luce di tutti i monitoraggi eseguiti risulta possibile oggi tracciare un quadro d'insieme, almeno a livello qualitativo, dell'erodibilità dei fondali lagunari.

La prima, più importante evidenza, è quella del ruolo fondamentale svolto in Laguna di Venezia dalla biostabilizzazione, in grado di assicurare, specie nel periodo estivo, soglie di erosione di gran lunga superiori a quelle attese per un sedimento nudo.

A questo proposito, nel riesaminare i risultati delle attività di campo svolte in Laguna di Venezia nell'ambito del progetto F-ECTS, Amos (2004) rileva come le soglie di erodibilità misurate durante la campagna invernale siano abbastanza in linea con quelle tipiche di un sedimento non biostabilizzato, funzione della densità del sedimento. Per le misure estive invece l'indice di biostabilizzazione BI, definito come rapporto tra la soglia misurata e quella attesa per un sedimento non biostabilizzato, assume valori assolutamente rilevanti (Figura 2-16).

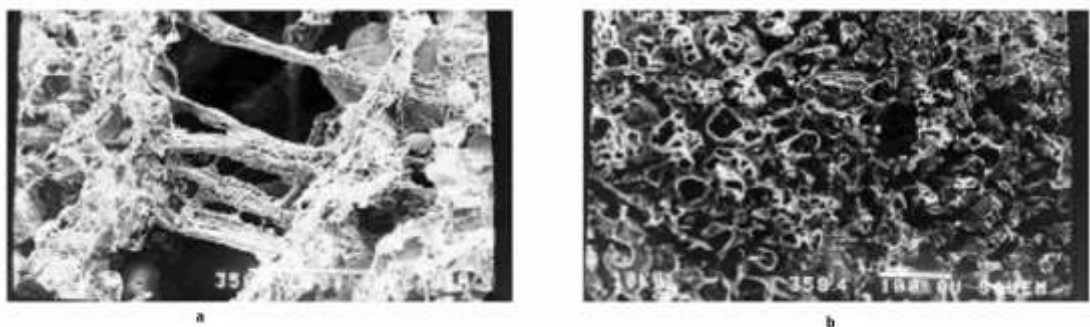
In particolare per le misure eseguite sui fondali intertidali coperti da cianobatteri filamentosi il valore medio di BI è del 244%, mentre per le aree colonizzate in maniera importante da diatomee il valore medio dell'indice è del 153% (Amos, 2004).

L'analisi dei dati raccolti evidenzia peraltro, sia per la situazione estiva che per quella invernale la forte presenza di campioni destabilizzati, per i quali la soglia di erosione risulta inferiore ai valori attesi sulla base della densità del sedimento (Figura 2-16).

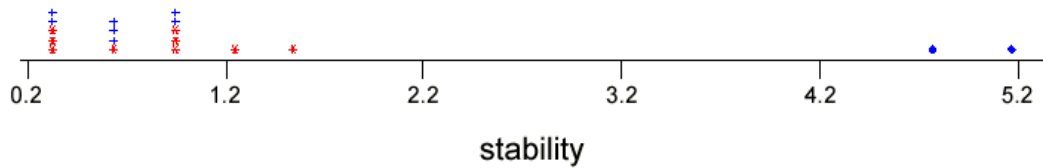


**Figura 2-16 Valori estivi e invernali della soglia di erosione misurata in campo nell'ambito del progetto F-ECTS e stima della biostabilizzazione (da Amos et al., 2004).**

L'azione stabilizzatrice delle diatomee bentoniche si è evidenziata in tutta la sua rilevanza anche nel corso dell'attività di monitoraggio delle aree in concessione di pesca svolta nell'ambito dello studio B.3.12.II del MAV-CVN. Nel corso della campagna di febbraio 2003 nell'area di pesca di Ca' Roman, la cui esecuzione è coincisa casualmente con un bloom di diatomee bentoniche, la soglia di erosione dei campioni caratterizzati dalla presenza rilevante di diatomee è risultata infatti superiore ai 4 N/m<sup>2</sup>, mentre tutti gli altri campioni sono risultati inferiori a 1.5 N/m<sup>2</sup> (Figura 2-17 e Figura 2-18).



**Figura 2-17 Immagini SEM del sedimento superficiale nell'area di Ca' Roman. Sedimento stabilizzato dagli essudati colloidali delle diatomee (a) e sedimento non biostabilizzato (b) (studio B.3.12.II).**



\* = area test; + = area controllo; • = campioni dell'area di controllo contenenti diatomee

**Figura 2-18 Variazione della soglia di erosione del sedimento nel sito di Ca' Roman durante la campagna di monitoraggio di febbraio 2003 (Studio B.3.12.II).**

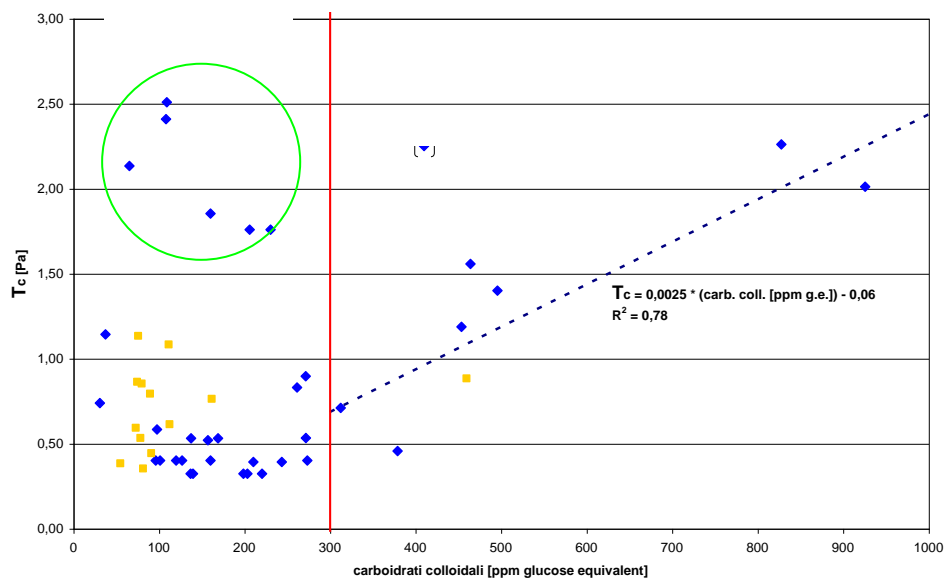
Sulla base dei dati raccolti nell'ambito del progetto F-ECTS e dello Studio B.3.12.II del MAV-CVN, un primo tentativo sistematico di realizzazione di una mappa dell'erosibilità dei sedimenti lagunari è stato eseguito nel 2004 nell'ambito dello Studio C.2.5 del Magistrato alle Acque – Consorzio Venezia Nuova (Dati meteomarini per la gestione della Laguna di Venezia).

In quell'occasione, volendo assegnare valori ragionevolmente rappresentativi di erodibilità ai fondali lagunari, e tenuto conto del numero ridotto di misure disponibili e della forte variabilità spaziale osservata per il parametro, non è apparsa percorribile la strada dell'interpolazione.

Si è proceduto invece cercando di parametrizzare l'erosibilità in funzione delle caratteristiche sedimentologiche e "biologiche" del sedimento superficiale, procedendo quindi a stimarne il valore sull'intera superficie lagunare a partire da mappature recenti dei parametri di controllo.

Se da un lato la mappa dell'erosibilità dei fondali prodotta in quell'occasione risulta superata alla luce delle nuove evidenze sperimentali emerse nel corso dello studio B.12.3.III, i risultati della parametrizzazione risultano ancora validi.

In particolare per quanto attiene alla biostabilizzazione l'analisi svolta ha permesso di evidenziare l'esistenza di una correlazione piuttosto buona ( $R^2=0.78$ ) tra la soglia di erosione del sedimento ed il contenuto di carboidrati colloidali (negli essudati delle diatomee bentoniche) nel sedimento superficiale (primi 2 mm), almeno al di sopra la soglia di 300 ppm (Figura 2-19).

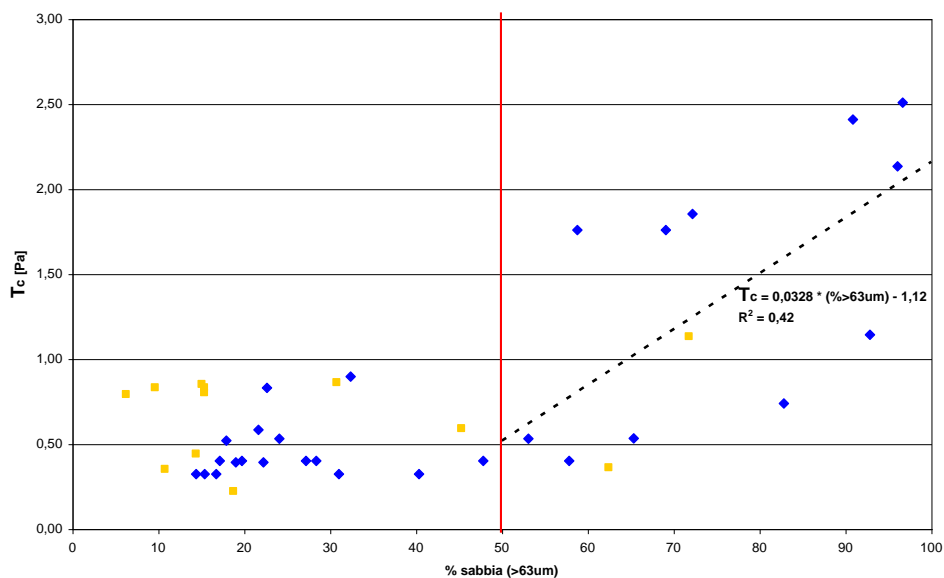


**Figura 2-19 Soglia di erosione e contenuto di carboidrati colloidali (Studio C.2.5).**

Per quanto riguarda invece il sedimento non biostabilizzato, una discreta correlazione è stata trovata nei casi di sedimento non coesivo o poco coesivo (contenuto di sabbia > 50%) tra la soglia di erosione e la percentuale di sabbia nel sedimento superficiale (Figura 2-20).

Va notato che l'utilizzo di questo parametro come rappresentativo della granulometria del sedimento, piuttosto che altri più appropriati quali ad esempio il diametro mediano, non è stato il frutto di una scelta deliberata bensì una soluzione di ripiego determinata dall'indisponibilità di una caratterizzazione granulometrica di dettaglio del sedimento.

Si nota in effetti una certa dispersione dei punti sperimentali attorno alla retta di regressione individuata ( $R^2=0.42$ ).



**Figura 2-20 Soglia di erosione e percentuale di sabbia (>63  $\mu$ ) per i campioni subtidali (Studio C.2.5).**

Un ulteriore contributo alla quantificazione della biostabilizzazione dei sedimenti lagunari è venuto dai risultati dello studio B.3.12.III, che ha compreso tra i siti monitorati sedimenti superficiali densamente colonizzati da policheti e aree caratterizzate dalla presenza di vaucheria, un'alga filamentosa abbastanza diffusa specie in laguna nord, mettendone in rilievo le soglie di erosione caratterizzate da valori superiori a quelli mediamente caratteristici dei sedimenti non biostabilizzati (Tabella 2-2).

Ancora, l'analisi statistica condotta nello studio B.12.3.III ha evidenziato per le stazioni subtidali un lieve incremento della soglia di erosione del sedimento a matrice limosa (% di sabbia < 50%) al crescere della presenza di frammenti di conchiglie sulla sua superficie (Tabella 2-2).

Lo studio B.12.3.III ha investigato infine espressamente la variazione della soglia di erosione del fondale in funzione della presenza/assenza di disturbo associato all'attività di pesca.

L'analisi, condotta sui soli campioni subtidali non vegetati, ha evidenziato che la soglia di erosione del sedimento è mediamente maggiore per le aree sottoposte a sforzo di pesca rispetto a quelle indisturbate. Ciò è stato spiegato con il fatto che l'azione di pesca rimuove il sedimento superficiale meno compatto esponendo gli strati sottostanti più resistenti all'erosione, ipotesi questa che appare coerente anche con il minor contenuto d'acqua riscontrato nei campioni di sedimento prelevati nelle zone soggette a disturbo.

La figura che segue evidenzia la distribuzione in laguna al 2005 dei principali fattori che concorrono a determinare l'erosibilità dei fondali lagunari:

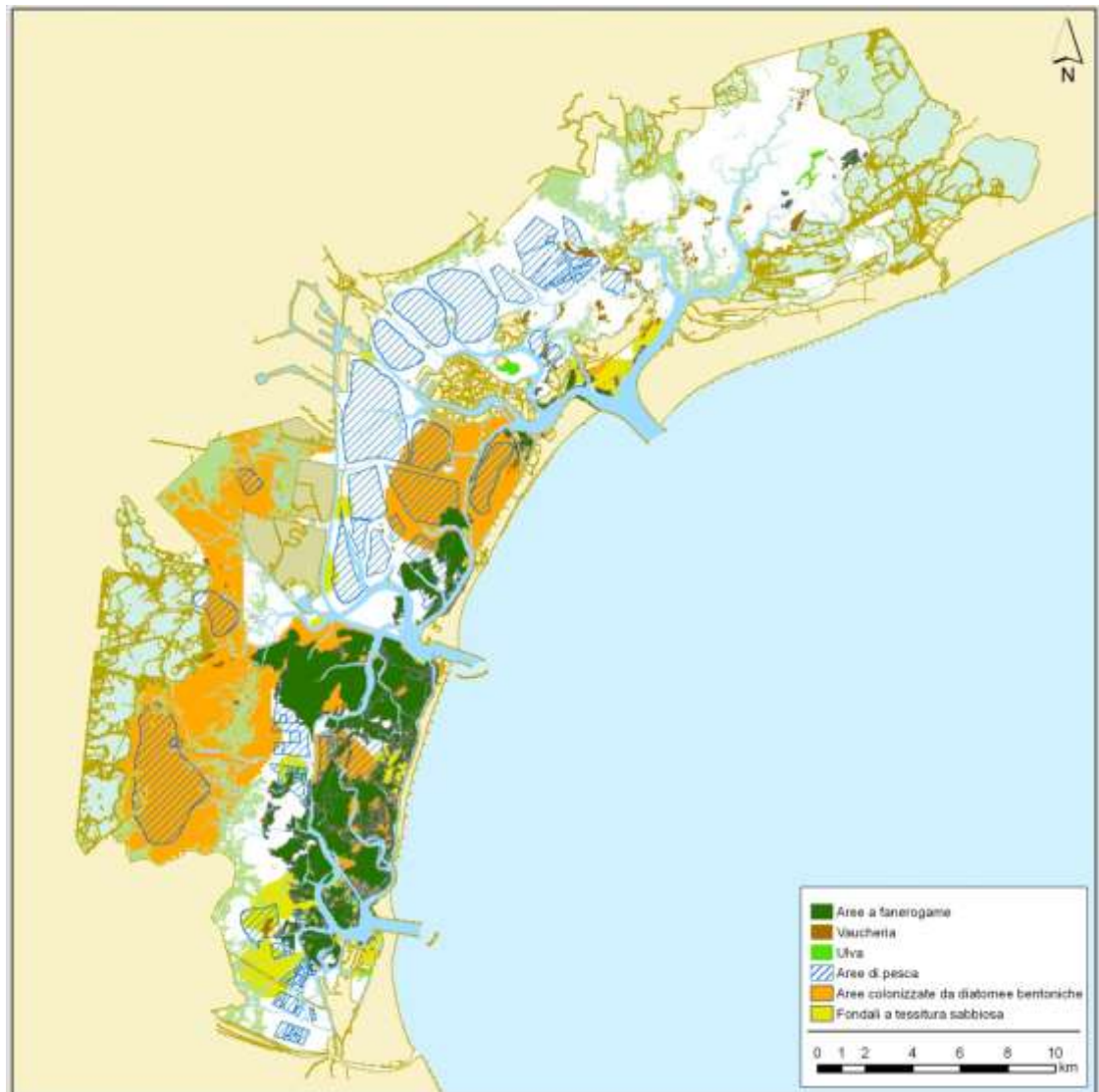
- diatomee bentoniche (aree con densità  $> 1000$  celle/cm<sup>2</sup>. Interpolazione dei valori medi primaverili 2000-2002 rilevati nell'ambito delle attività di monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia del MAV-CVN)
- fanerogame (aree a copertura  $> 50\%$ . Areali rilevati nel 2004 nell'ambito delle attività di monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia del MAV-CVN);
- ulva (aree a copertura  $> 50\%$ . Areali rilevati nel 2004 nell'ambito delle attività di monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia del MAV-CVN);
- vaucheria (aree a copertura  $> 50\%$ . Areali rilevati nel 2004 nell'ambito delle attività di monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia del MAV-CVN);
- fondale a matrice sabbiosa (aree con percentuale di sabbia  $> 50\%$  nei primi 15 cm di sedimento di fondo, da interpolazione dati MAV-CVN);
- aree soggette ad attività di pesca di tapes (aree in concessione ed aree a sfruttamento non regolamentato, come mappate nello studio B.12.3.III del MAV-CVN).

Non sono compresi in figura gli areali coperti da cianobatteri filamentosi, né quelli fittamente colonizzati da policheti, né quelli protetti da una abbondante presenza di gusci di conchiglie, in quanto non mappati.

L'effetto dei diversi fattori di controllo citati ai fini della stabilizzazione del fondale, così come risultanti dall'insieme dei diversi monitoraggi e studi svolti ad oggi in Laguna di Venezia, è riassunto schematicamente in Tabella 2-2.

In assenza di misure specifiche eseguite in loco, l'ordine di grandezza dell'erosibilità dei fondali in un dato punto della laguna può essere desunto, in linea di massima, dall'utilizzo congiunto della Figura 2-21 e della Tabella 2-2. La prima consente di individuare i principali fattori di controllo esistenti nel sito (da verificare alla luce delle conoscenze più recenti, stante il decennio trascorso dalla sua redazione), la seconda di stimare la soglia di erosione conseguente.

Particolare attenzione andrà posta nel considerare o meno l'effetto di biostabilizzazione fornito dalle diatomee bentoniche, data la sua forte variabilità stagionale (massima durante i bloom dei mesi primaverili ed estivi, pressoché assente nei mesi invernali) e la forte sensibilità delle diatomee ai disturbi di origine antropica sul fondale (dalla pesca al moto ondoso).



**Figura 2-21 Distribuzione in Laguna di Venezia dei principali fattori di controllo dell'erosione dei fondali lagunari al 2005.**

**Tabella 2-2 Erodibilità dei fondali lagunari – prospetto riassuntivo dello stato delle conoscenze relativamente ai diversi fattori di controllo.**

	ELEMENTO	STUDIO	AREALE INVESTIGATO		SHELTERING	SOGLIA DI EROSIONE ( $\tau_c$ )			NOTE
			INTERTIDALE	SUBTIDALE		n° misure	Media	Dev.st.	
<b>FONDALE BIOSTABILIZZATO</b>	Cianobatteri filamentosi	F-ECTS	X		NO	4	2.28	0.77	
	Diatomee bentoniche	F-ECTS; B3.12.3.II	X	X	NO	8	1.31*	0.63	Soglia di erosione del sedimento superficiale crescente con la densità della popolazione. Molto legata ai bloom stagionali (primavera e autunno).
	Policheti	B3.12.3.III	X	X	NO	10	1.17	0.47	
	Vaucheria	B3.12.3.III	X	X	NO	25	1.20	0.68	Variazioni stagionali
	Ulva	F-ECTS	X	X	SI	3	0.77	0.26	Efficacia nello sheltering legata alla copertura e alla biomassa. Ridotta nei mesi invernali.
	Fanerogame	Tutti	X	X	SI	13	0.55**	0.09**	Efficacia nello sheltering legata alla copertura e al numero e lunghezza delle foglie. Minore nei mesi invernali
<b>FONDALE NON BIOSTABILIZZATO</b>	Fondale a matrice sabbiosa (sabbia>50%)	Tutti		X	n.a.	42	0.99***	0.60	Soglia di erosione del sedimento superficiale crescente con il contenuto di sabbia.
	Fondale a matrice limosa senza presenza importante di gusci di conchiglie	B3.12.3.III		X	n.a.	119	0.63	0.34	



	ELEMENTO	STUDIO	AREALE INVESTIGATO		SHELTERING	SOGLIA DI EROSIONE ( $\tau_c$ )			NOTE
			INTERTIDALE	SUBTIDALE		n° misure	Media	Dev.st.	
	Fondale a matrice limosa con presenza importante di gusci di conchiglie	B3.12.3.III		X	n.a.	30	0.73	0.34	
EFFETTO PESCA	Fondale non vegetato in-disturbato	B3.12.3.III		X	n.a.	171	0.64	0.30	
	Fondale non vegetato soggetto a sforzo di pesca	B3.12.3.III		X	n.a.	84	0.70	0.38	

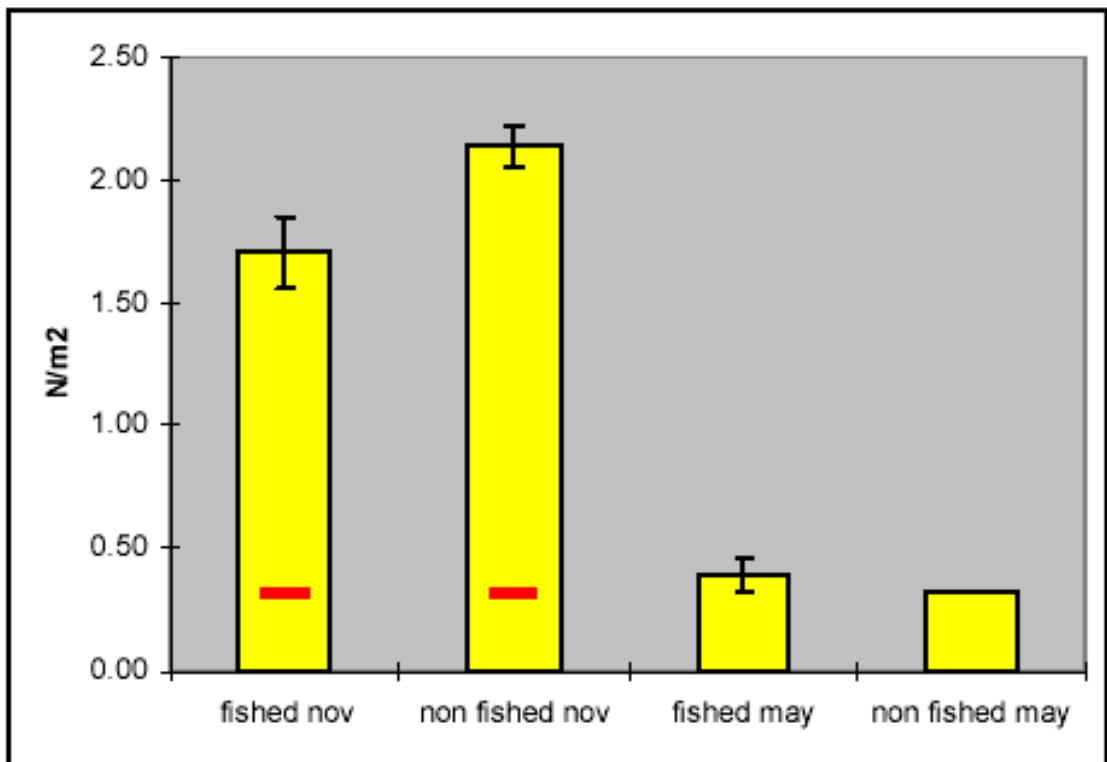
\* valore medio dei campioni con contenuto di carboidrati colloidal > 300 ppm nei primi 5 mm di sedimento; \*\*valore rilevato nelle aree di fondale nudo tra le piante in aree a bassa copertura (<50%). Nelle aree a maggiore copertura l'effetto di sheltering del sedimento si traduce in una sostanziale inerosibilità del fondale, fintanto che la prateria di fanerogame si conserva; \*\*\* valore medio per campioni con contenuto di sabbia > 50%

### Erodibilità del sedimento nell'area di intervento

Per quanto riguarda nello specifico l'area di intervento, le misure eseguite sui fondali lagunari ai lati del canale Contorta nei pressi dell'isola di S. Angelo della Polvere nell'ambito dei monitoraggi delle concessioni dello studio B.12.3/II hanno evidenziato valori medi della soglia di erosione estremamente variabili.

Nel corso della campagna di monitoraggio di novembre 2002 il sedimento sia nell'area test che nell'area di controllo è risultato caratterizzato da uno strato superficiale molto instabile di particelle fini flocculanti, con una soglia di erodibilità al di sotto del limite di detenzione strumentale ( $<0.3$  Pa). Il sedimento sottostante è risultato viceversa caratterizzato da una soglia di erodibilità piuttosto elevata, dell'ordine di  $1.5 \pm 2.0$  Pa.

Durante la campagna di maggio 2003 il sedimento è risultato invece uniformemente caratterizzato da una soglia di erosione dell'ordine dei  $0.4 \pm 0.5$  Pa (Figura 2-22).



**Figura 2-22** Soglia media di erosione nella subarea interna (fished) e della subarea esterna alla concessione di pesca dei tapes (non fished) nelle due campagne di monitoraggio (Studio B.12.3/II).

Le misure eseguite sui fondali lagunari a nord del canale Contorta S. Angelo nell'ambito dello studio B.12.3/III (5 siti di misura) nell'agosto del 2004 hanno evidenziato ancora soglie di erosione del sedimento variabili tra e  $0.5$  e  $1.6$  Pa (Tabella 2-3).

**Tabella 2-3 Soglia media di erosione misurata sui fondali subtidali in prossimità del canale Contorta (Studio B.12.3/III).**

<b>Nome stazione</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Data misura</b>	<b><math>\tau_c</math> (N/m<sup>2</sup>)</b>
<b>31</b>	2307851.0	5033545.1	03/08/04	1.58
<b>35</b>	2307055.0	5032771.8	03/08/04	0.79
<b>36</b>	2307032.3	5032721.5	03/08/04	0.55
<b>39</b>	2306711.7	5032216.4	03/08/04	0.73
<b>40</b>	2306726.6	5032537.6	03/08/04	0.60
<b>46</b>	2306001.4	5031828.4	06/08/04	0.56
<b>96</b>	2307935.9	5033544.7	19/08/04	0.91

## **2.5 Valutazioni sull'effetto della realizzazione delle strutture sulle aree di venericoltura**

Nel presente capitolo vengono riportate le valutazioni raccolte nelle risposte MATTM-34 e MATTM-62 alle osservazioni del Ministero dell'Ambiente contenute nella lettera prot. n. 719 del 22 febbraio 2013 sul progetto preliminare "Terminal plurimodale off-shore al largo della costa di VENEZIA", delle quali si riporta un estratto.

### **2.5.1 Attività di pesca in laguna**

La pesca storicamente rappresenta un'attività economica di rilievo per le comunità costiere del Veneto, ed avviene secondo modalità differenziate con un utilizzo variegato di attrezzi di pesca, in funzione delle specie e delle aree di prelievo.

Le attività che vengono svolte in laguna sono:

- Produzione ittica nelle valli da pesca ubicate in prossimità della gronda lagunare, dedicata principalmente ad orate, branzini, cefali, anguille;
- Venericoltura (*Tapes philippinarum*) nelle aree in concessione interne alla laguna;
- Pesca tradizionale in laguna mediante reti fisse (cogolli o bertovelli) e nasse;

Le attività alieutiche in laguna di Venezia si possono distinguere in pesca tradizionale e venericoltura.

#### **Pesca artigianale**

L'attività di pesca artigianale è tra le più antiche svolte in laguna ed ancora oggi vengono praticate con modalità molto simili al passato da circa un centinaio di operatori professionali delle marinerie di Burano, Pellestrina e Chioggia.

I principali sistemi di pesca attualmente utilizzati sono:

- reti fisse, utilizzate dai pescatori professionisti e posizionate in zone a bassa profondità (palù);
- trappole (nasse), utilizzate da pescatori professionali per la cattura delle seppie;
- reti da pesce novello, utilizzate dai pescatori della laguna Nord nei periodi primaverili per la raccolta del novellame da conferire alle valli da pesca.

La pesca con reti fisse si fonda principalmente sul fenomeno della marea; quando l'acqua entra in laguna il pesce si sposta dalle zone più profonde alle aree a basso fondale e, quando a marea uscente l'acqua si abbassa, segue il verso opposto. Seguendo la corrente il pesce fiancheggia gli sbarramenti in rete fino ad incontrare delle camere di cattura: i "bertovelli". Tali dispositivi, chiamati dalle diverse marinerie con i più disparati nomi (cogò, cogolli, nasse, reoni, ecc.), sono costituiti da una rete a forma tubolare con al parte terminale chiusa. All'interno della parte cilindrica tenuta tesa dai tubi in plastica vi sono delle strutture in rete (trappole) a forma di imbuto che impediscono al pesce di tornare indietro ("enche").

I regolamenti provinciali consentono di posizionare le reti senza limitazioni temporali e ovunque ad esclusione dei canali per la navigazione. Anche se in alcune zone le reti restano posizionate per mesi, i periodi più propizi per questo tipo di pesca sono quelli tra marzo e aprile (quaresima) e tra ottobre e novembre (fraima).

Con il passare degli anni il comparto dei serraggianti ha mostrato una graduale contrazione nel numero degli addetti e nell'ultimo ventennio ha dovuto coesistere con lo sviluppo della pesca delle vongole della specie *Tapes philippinarum*, introdotta in via sperimentale in laguna di Venezia nel 1983, e della pesca in mare aperto. Tale diminuzione ha subito un'inversione nel momento in cui la pesca del *Tapes philippinarum* e la pesca in mare non hanno più reso economicamente come negli anni passati.

Le zone più produttive, come emerge dai rilievi effettuati a partire dal 1999 dal Magistrato alle Acque nell'ambito dello Studio C.4.3, Studio C.4.3/III, B.12.3/III, B.12.3/IV e B.12.3/V (MAGISTRATO ALLE ACQUE-AGRITECO, 2011a), risultano essere:

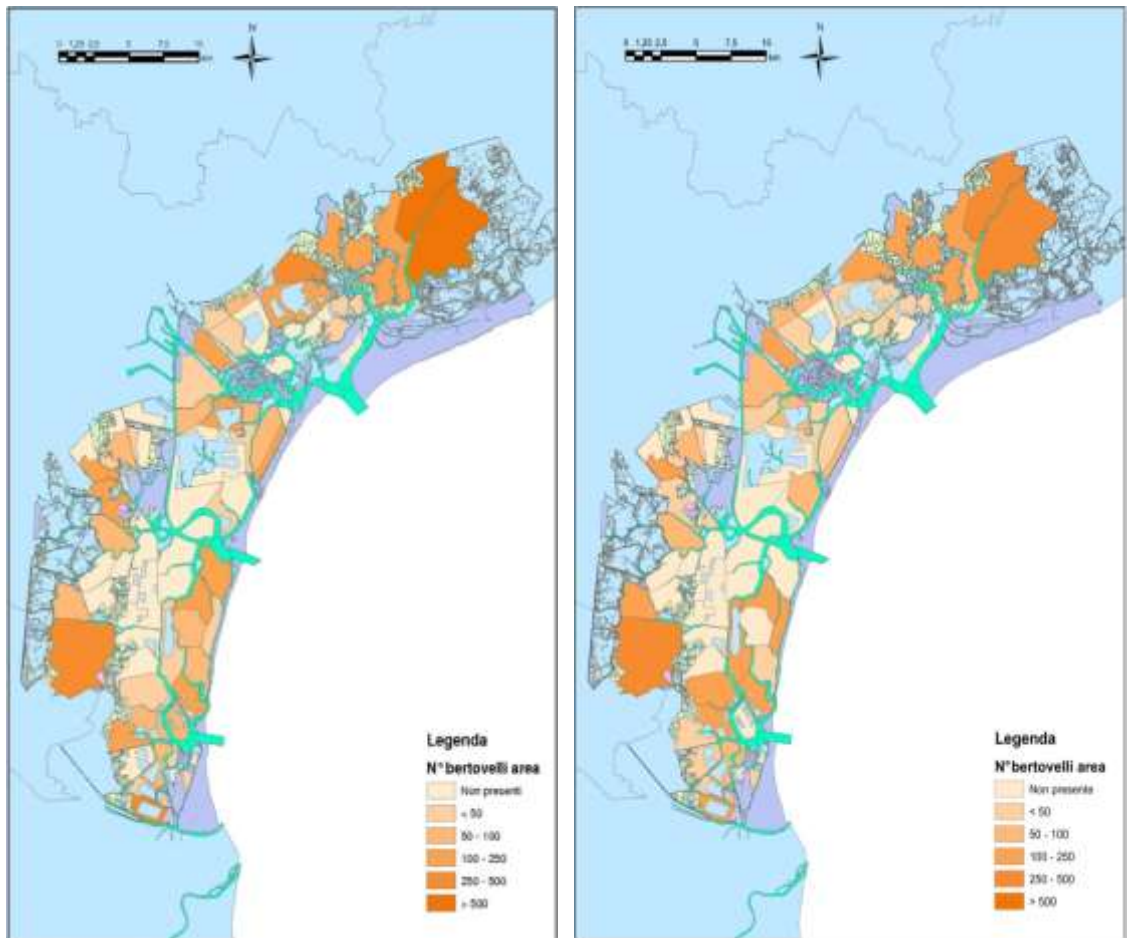
- in laguna Nord le zone di Cà Zane, Palude della Rosa e Palude Maggiore;
- in laguna centrale le zone retrostanti le casse di colmata e quelle antistanti il Lido di Venezia;
- in laguna Sud Valle Millecampi, Palude Fondello e Valle della Dolce.

Per quanto riguarda le reti fisse, recenti monitoraggi (MAGISTRATO ALLE ACQUE-AGRITECO, 1999, 2003, 2007, 2008 e 2011) hanno permesso di valutare il Numero di Unità di Sforzo operanti in laguna di Venezia, consentendo di evidenziare le dinamiche stagionali e di identificare le aree maggiormente vocate a tale tipo di pesca che consente la cattura di numerose specie come latterini, gò, cefali, granchi, gamberi, schille, seppie, passere e anche anguille.











L'elaborazione di tali dati indica che la pesca professionale con reti fisse è praticata con diversa intensità su quasi tutti i bassi fondali lagunari, caratterizzandosi per una marcata stagionalità con mesi di massimo sforzo (marzo-aprile e ottobre con oltre 5.000 bertovelli) e periodi di minor attività (gennaio e agosto con 1500-1600 bertovelli in sforzo).

Le specie conferite sono: latterini, seppie, schille, gamberi, moeche, mazenette, anguille, cefali, passere e gò.

Nel bacino centrale della laguna di Venezia (area compresa tra la città di Venezia e la bocca di porto di Malamocco) è posizionato mediamente il 17% degli attrezzi fissi.



**Figura 2-23 Distribuzione dei bertovelli in laguna di Venezia nel mese di aprile (sx) e novembre 2010 (dx) (da: MAGISTRATO ALLE ACQUE-AGRITECO, 2011a).**

<b>Andamento produzione lagunare nel periodo 2001-2010</b>		
<b>Specie di riferimento</b>	<b>Coop. S. Marco Burano</b>	<b>Coopesca Chioggia</b>
latterini 	↑	↑
go' 	↓	↓
passere 	↓↓	↓↓
cefali 	↓	↓↓↓
anguille 	↔	↔
mazenette 	↑	↓
moleche 	↑	↑
gamberi 	↑	↔
schille 	↓	↔
seppie 	↔	↔

**Figura 2-24 Schema dell'andamento produttivo delle dieci specie guida in laguna di Venezia (blu: aumento, giallo: stabile, rosso: diminuzione) (da: MAGISTRATO ALLE ACQUE-AGRITECO, 2011a).**

### Venericoltura

A seguito dell'immissione, acclimazione e successiva massiccia proliferazione della vongola verace filippina (*Tapes philippinarum*) nelle lagune nord adriatiche (inizio anni '80), è nata una nuova attività produttiva legata allo sfruttamento dei banchi naturali di questi molluschi bivalvi. Il fenomeno, in laguna di Venezia, è stato di entità tale da produrre in breve tempo, profondi mutamenti nella composizione ed abitudini delle marinerie e nella tipologia degli attrezzi e delle metodologie di pesca impiegate, che sono in costante evoluzione al fine di garantire al pescatore la resa migliore con sistemi sempre più meccanizzati. Inoltre, l'economia generata dall'elevata produzione di vongole filippine ha prodotto guadagni tali da modificare comportamenti e strutture sociali di alcune comunità locali (UNIMAR, 1999).

L'attività di pesca di molluschi bivalvi con mezzi meccanici ed il fenomeno dell'abusivismo ad essa correlato hanno avuto origine negli anni '90 in seguito alla notevole diffusione della vongola filippina (*Tapes philippinarum*), maggiormente resistente alle variazioni di temperatura e

salinità e maggiormente adattabile ai diversi substrati, rispetto alla autoctona *Tapes decussatus*.

Lo sfruttamento su scala lagunare della risorsa, abbondante e reperibile a costi contenuti, si è diffuso con l'utilizzo di mezzi meccanici che consentono uno sforzo di pesca maggiore.

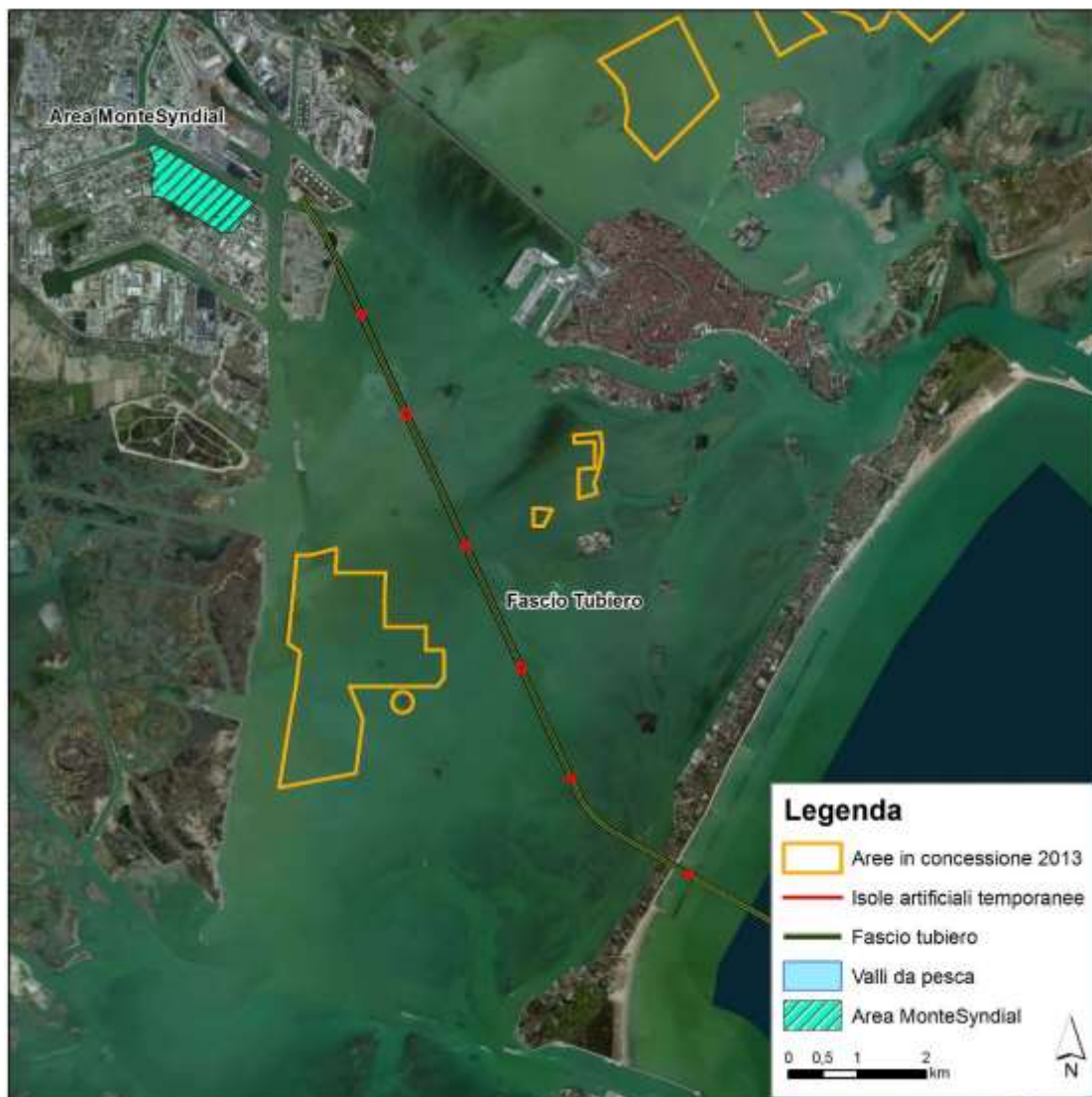
Al fine di razionalizzare il prelievo della risorsa e di rendere l'attività compatibile a livello ambientale, la Provincia di Venezia, su richiesta della Prefettura di Venezia, ha predisposto un Piano Pesca (Piano per la gestione delle risorse alieutiche delle lagune della provincia di Venezia, 2000, aggiornato nel 2009), che prevede il graduale passaggio dallo sfruttamento della risorsa, secondo un regime di libero accesso, all'allevamento in aree in concessione, basato su cicli triennali di semina, ingrasso e pesca gestita.

In attuazione del piano pesca un'apposita commissione (costituita nel 2000 da Magistrato alle Acque, Provincia di Venezia, Regione Veneto, Comune di Venezia, Comune di Chioggia, Comune di Cavallino - Treporti) ha individuato le aree da destinare in concessione per la venericoltura.

Tali aree vengono sottoposte nel tempo a modifiche (spostamento, riduzione, revoca) al fine di soddisfare al contempo le esigenze di produttività e il contenimento degli effetti sulla morfologia lagunare.

Le aree per la venericoltura vengono date in concessione dal Magistrato alle Acque al GRAL (Gestione Risorse Alieutiche Lagunari). In Figura 2-25 sono riportate le aree in concessione relative al 3° Atto aggiuntivo del 24/02/2010 prot. n. 11466/2006 conc. 6824 aggiornate in base alla rinuncia effettuata dal GRAL di alcune aree nel 2012 e nel 2013.

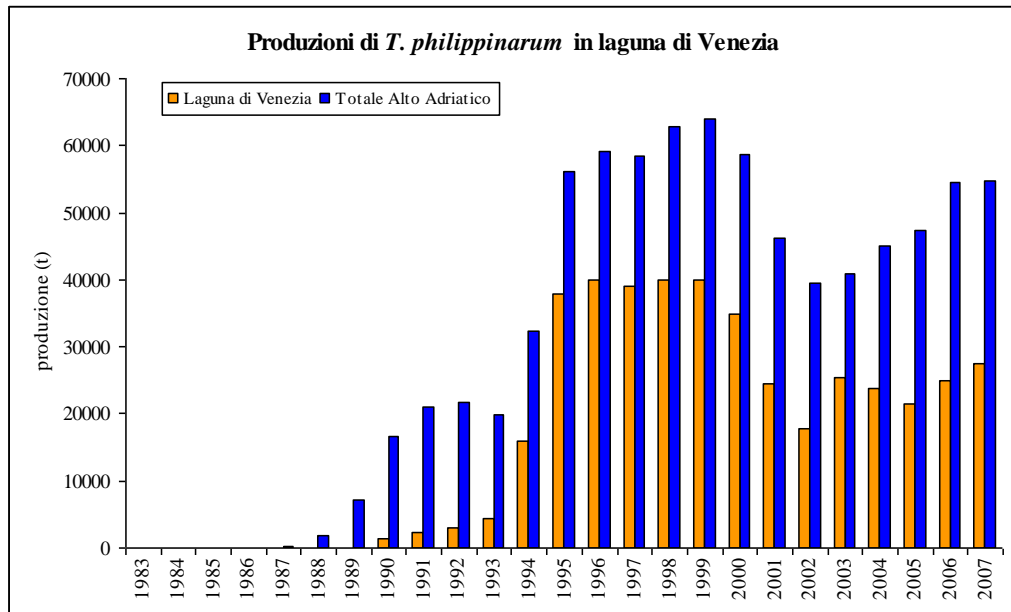




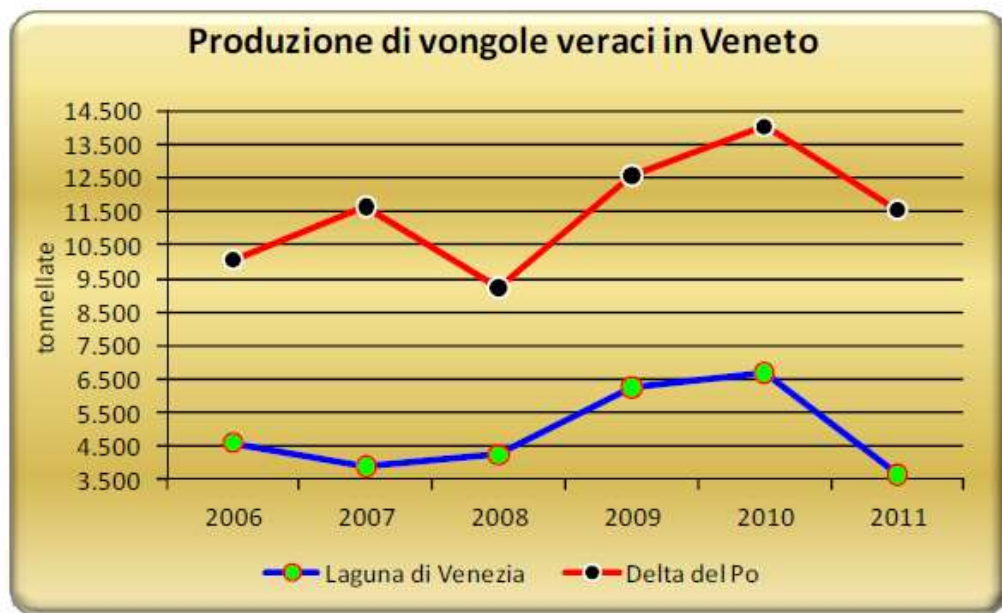
**Figura 2-25 Aree in concessione per le attività di venericoltura (aggiornamento 2013).**

Le pratiche di venericoltura si basano su cicli di semina dei giovanili, ingrasso e successiva raccolta del prodotto una volta raggiunta la taglia commerciale.

Per quanto riguarda la produzione della laguna di Venezia, dopo aver raggiunto dei picchi stimati in circa 40'000 t/anno nel corso della seconda metà degli anni '90, nei primi anni 2000 si è registrata una flessione, legata anche ad uno sfruttamento eccessivo della risorsa; la laguna di Venezia rimane comunque l'area più produttiva a livello nazionale e la più importante area nursery europea per il reclutamento naturale del seme. La produzione di *Tapes philippinarum* italiana proviene prevalentemente dalla lagune e dalle sacche alto adriatiche che forniscono la quasi totalità del prodotto.



**Figura 2.26: Produzione di *T. philippinarum* in laguna di Venezia ed in Alto Adriatico (MAG-ACQUE, 2008).**



**Figura 2.27 Produzione di *T. philippinarum* in laguna di Venezia e nel Delta del Po dal 2006 al 2011 (Osservatorio Socio Economico della Pesca e dell'Acquacoltura, 2011)**

A fronte del quadro complessivo delle attività di pesca e venericoltura svolte in laguna, aggiornato a seguito degli incontri tecnici di approfondimento con le Associazioni di categoria di pesca, si riporta l'analisi delle interferenze sia della fase di cantiere che della fase di esercizio dell'opera.

In fase di costruzione sono identificate le seguenti interferenze:

- Temporanea sottrazione di aree dedicate alla pesca in laguna a seguito della realizzazione delle isole provvisorie per la posa del fascio tubiero in laguna che viene effettuata mediante teleguidata;
- effetti derivanti dalla risospensione dei sedimenti determinata dalle opere di scavo connesse con la costruzione delle isole temporanee in laguna.

Per quanto concerne la fase di esercizio non sono identificate interferenze. Le isole artificiali saranno infatti smantellate a completamento della posa delle tubazioni, analogamente non saranno più mantenuti i canali di servizio realizzati per raggiungere tali isole. Come noto, inoltre, le tubazioni saranno totalmente interrate, a profondità tali da non interferire con le attività di pesca e venericoltura.

Per il sistema delle valli da pesca, vista la lontananza dai siti di intervento e il confinamento delle stesse mediante arginatura, non sono individuate interferenze né con la fase di cantiere né con la fase di esercizio

La risospensione dei sedimenti e il relativo incremento locale della torbidità potranno essere indotti dalle opere di scavo in fase di cantiere.

Si tratta di opere di limitata estensione e durata, i cui effetti potranno interessare areali ristretti e prossimi agli scavi, come di seguito illustrato sulla base dei dati disponibili in letteratura.

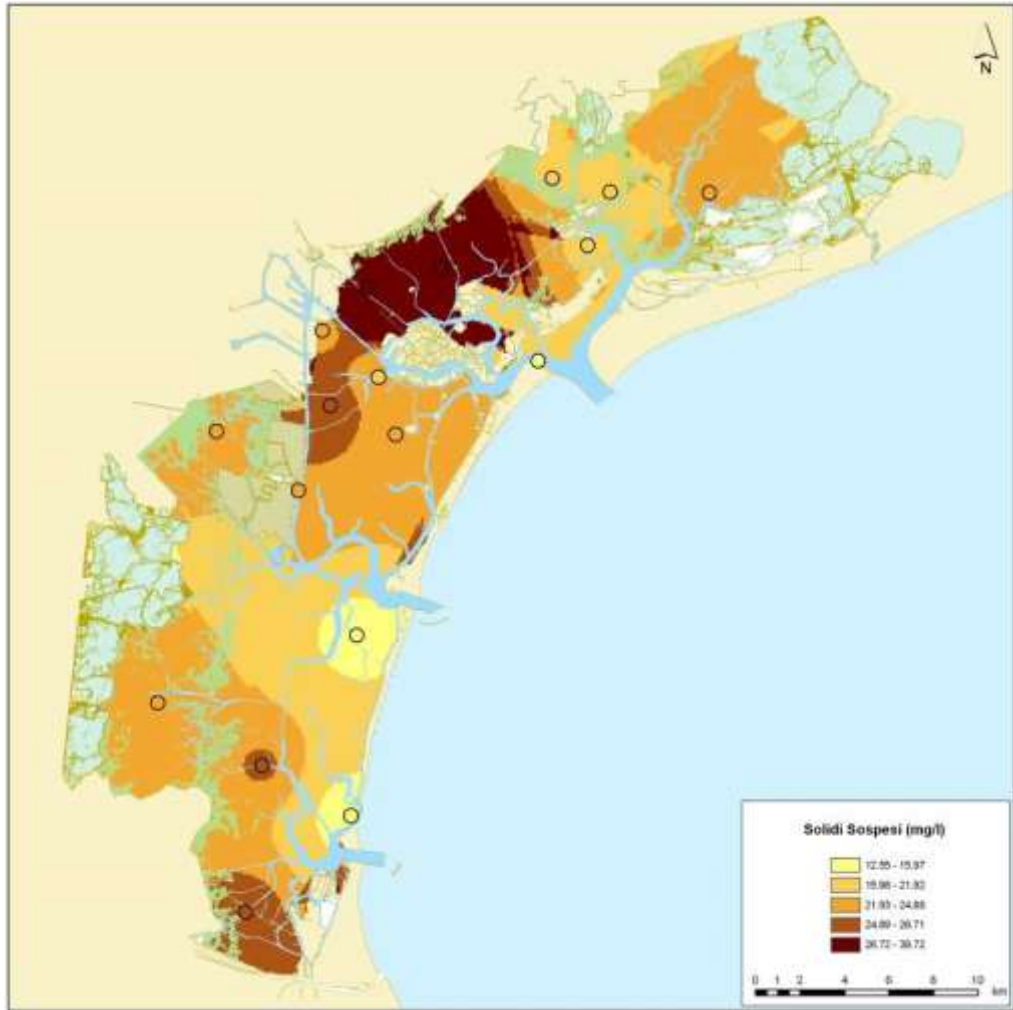
In particolare nell'ambito del progetto "OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1" del Magistrato alle Acque, sono stati condotti monitoraggi in aree di bassofondale prospicienti l'area industriale di Porto Marghera finalizzati a valutare gli effetti di interventi sperimentali di dragaggio di sedimenti (MAG.ACQUE – Thetis, 2012). Le attività hanno previsto l'esecuzione di una campagna *ante operam* e di 4 campagne in fase di esecuzione dei lavori di asporto dei sedimenti, nel corso delle quali, in funzione della progressione dei lavori, sono stati determinati la concentrazione dei solidi sospesi e la torbidità mediante sonda CTD. Il monitoraggio è stato disegnato collocando i siti di campionamento ad una distanza di circa 50 m e 200 m dai vertici delle aree oggetto degli interventi (Figura 2-28). Inoltre al fine di paragonare le misure effettuate con una situazione indisturbata dai lavori è stato scelto un punto di controllo (stazione 18 nella mappa di Figura 2-28) posizionato su un bassofondo ubicato in prossimità all'area di cantiere, ma dalla stessa comunque non influenzato.



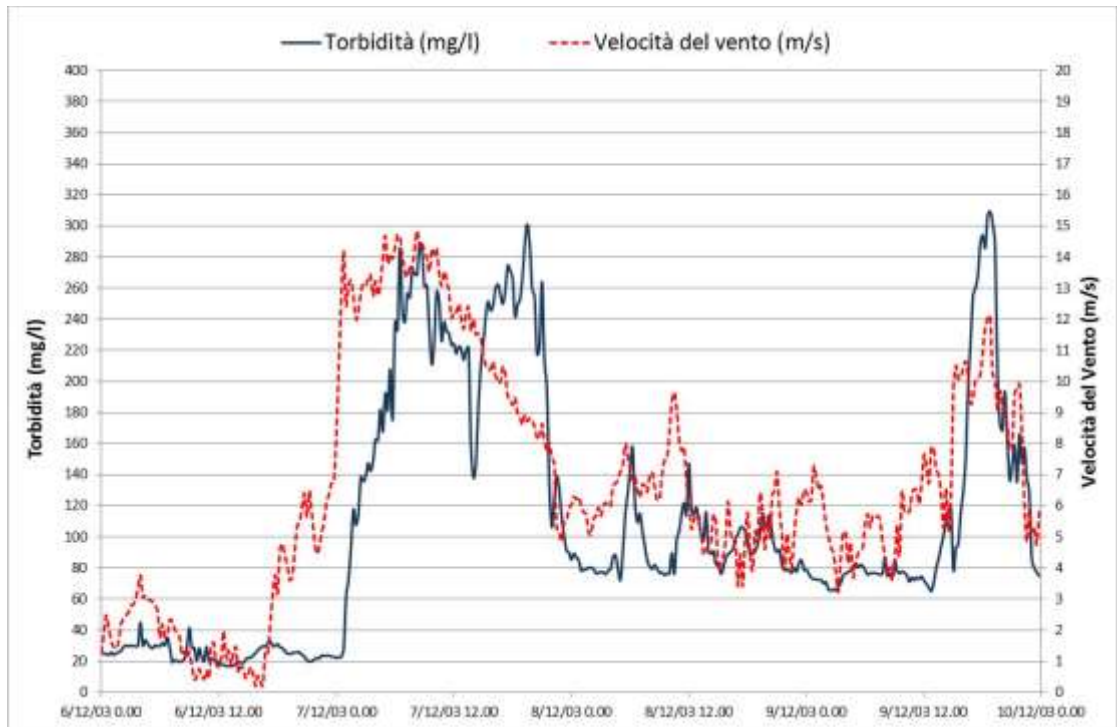
**Figura 2-28 MAPVE 2: localizzazione dei siti di monitoraggio delle acque (MAG.ACQUE – Thetis, 2012).**

I risultati dei monitoraggi effettuati non hanno evidenziato effetti significativi derivanti dalle attività di dragaggio, grazie anche alle precauzioni utilizzate, quali l'uso di panne di contenimento. Infatti sono stati riscontrati valori simili di concentrazioni di solidi sospesi e di torbidità durante intervento (solidi sospesi variabili tra 2.26 e 28.9 mg/l), *ante operam* (solidi sospesi variabili tra 6.7 e 51.08 mg/l) e in corrispondenza della stazione di bianco (solidi sospesi variabili tra 7.0 e 21.6 mg/l).

I valori registrati, anche durante l'intervento, sono confrontabili con l'intervallo di variazione naturale in condizioni non perturbate della concentrazione dei solidi sospesi in ambienti di basso-fondo lagunare, che è possibile stimare in 15 - 25 mg/l (MAG.ACQUE – Thetis, 2004; MAG.ACQUE – Thetis, 2006; cfr. **Figura 2-29**). In condizioni di forte perturbazione da vento (in particolare venti di bora) i valori di solidi sospesi e della torbidità tendono ad aumentare in modo significativo (MAG.ACQUE, 2010), con picchi variabili (in funzione dell'evento e delle condizioni locali) tra 100 e 300 mg/l (**Figura 2-30**).



**Figura 2-29** Distribuzione della concentrazione dei solidi sospesi (dati MELa1 e MELa3 - quinquennio 2001-2005 (fonte: MAG.ACQUE – Thetis, 2006).



**Figura 2-30 Andamento della torbidità in un'area di bassofondo in laguna centrale in concomitanza di un evento significativo di bora (fonte: MAG.ACQUE – Thetis, 2004).**

In relazione a quanto sopra, a fronte degli interventi di dragaggio, in via preliminare sono quindi attese variazioni limitate e circoscritte delle concentrazioni dei solidi sospesi in acqua.

D'altro canto le vongole veraci sopportano piuttosto bene le variazioni dei parametri chimici e fisici delle acque, quali la temperatura, la salinità, la percentuale di ossigeno disciolto, la torbidità, ecc., che sono tipiche degli ambienti lagunari<sup>3</sup>. Pur essendo molto resistente, *Tapes philippinarum* può risentire di alcune condizioni ambientali avverse; le più rilevanti sono episodi di prolungata anossia ed eccessivo riscaldamento delle acque (Ponti e Fava, 2011). L'incremento delle concentrazioni dei solidi sospesi in colonna d'acqua sembra quindi rappresentare un fattore di disturbo di secondo ordine. Le potenziali interferenze di tale fattore sono in particolare relative alle modalità di alimentazione di *Tapes philippinarum*; al riguardo va comunque segnalato come tali organismi, similmente ad altri molluschi bivalvi, siano dotati di sistemi di filtrazione ed ingestione specializzati che prevedono l'espulsione di particelle di diametro maggiore (Angioni *et al.*, 2010). Relativamente alla produzione di *Tapes philippinarum* è inoltre opportuno evidenziare nuovamente che nessuna delle isole temporanee è ubicata in aree attualmente destinate alla venericoltura; le attività di dragaggio non interessano infatti direttamente aree produttive che sono poste ad una distanza minima dalle aree di cantiere superiore ad 1 km. A fronte delle considerazioni sopra descritte, le interferenze della risospensione dei sedimenti e della variazione della torbidità sulle attività di venericoltura sono considerati trascurabili.

3

[http://www.pescapolesine.it/sito/pagine/dynamic\\_art.php?table\\_name=pesca\\_carta\\_ittica\\_vongola&id=2](http://www.pescapolesine.it/sito/pagine/dynamic_art.php?table_name=pesca_carta_ittica_vongola&id=2) (ultimo accesso 03.05.2013).

Anche le interferenze possibili con le attività di pesca tradizionale mediante postazioni fisse appaiono circoscritte alle aree immediatamente prossime ai cantieri e sono sostanzialmente riconducibili all'eventuale disturbo degli organismi oggetto di prelievo. Al riguardo va anche evidenziato come le aree lagunari interessate siano quelle caratterizzate dal minor sforzo di pesca relativamente ad altre aree del bacino lagunare, quali in particolare le aree nord e sud della laguna. Per la propria natura questo tipo di pesca ha inoltre caratteristiche temporanee e di mobilità; le attrezzature possono infatti essere spostate evitando quindi le interferenze con le attività di cantiere. Anche per la pesca tradizionale sono attesi per il tema in questione interferenze.

## **2.6 Valorizzazione del paesaggio e delle funzioni ecosistemiche**

### Principali documenti di riferimento:

- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2014. Studio C.2.10/IV - Aggiornamento del Piano Morfologico in base alle richieste dell'Ufficio di Piano. Aggiornamento del piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE– DSA UNIVE, 2010. Studio B.12.3/V - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. - Individuazione di indicatori di funzionalità ambientale attraverso rilievi della fauna neotonica. III Rapporto intermedio. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – SELC, 2010. Studio B.12.3/V - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. – Rilievo dell'avifauna. Rapporto finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2011. Studio C1.10 "Valutazione dello stato degli habitat ricostruiti nell'ambito degli interventi di recupero morfologico". Rapporto valutazione finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis - SELC, 2015. OP 506/2. Monitoraggio degli interventi di ripristino morfologico ed ambientale dell'area del canale Bastia. "Monitoraggio delle strutture morfologiche a velma e della soffolta monitoraggio dello sviluppo delle comunità fitozoobentoniche incrostanti nella struttura soffolta. Rapporto intermedio 2° anno".*

I territori acquei ed emersi della laguna disegnano un ambito paesaggistico ad alto valore storico-culturale e naturalistico-ambientale. Il paesaggio lagunare in senso stretto è caratterizzato da tre elementi principali: gli specchi d'acqua, corrispondenti alle piane subtidali (palughi) e alla rete di canali che vi si associa, le velme affioranti durante le basse maree, e le barene. Le piane sub-tidali hanno profondità variabile tra -2.5 m e -0.60 m s.m.m., e possono essere colonizzate da praterie di fanerogame o macroalghe o essere non vegetate. La condizione di equilibrio stabile di tali unità morfologiche è caratterizzata da profondità tali che l'azione erosi-

va dovuta alle onde prodotte dal vento e dalle correnti di marea sia bilanciata dal tasso di deposizione (MAV-CORILA, 2014). A causa della ridotta disponibilità di sedimento, e quindi dei ridotti tassi di deposizione che caratterizzano la laguna attuale, le quote di equilibrio dei bassifondi si sono sempre più approfondite nel corso del '900, soprattutto nella porzione centro-meridionale della laguna.

Le barene sono strutture vegetate inter-tidali con quote indicativamente comprese tra 0.1 m s.m.m. e 0.6 m s.m.m. La quota media di equilibrio, tipicamente attorno a 0.3 m s.m.m., può essere mantenuta anche con tassi di innalzamento del medio mare piuttosto elevati, grazie alla presenza di vegetazione alofila, che favorisce la deposizione e la cattura del sedimento in sospensione e contribuisce alla produzione di sedimento organico (D'Alpaos *et al.*, 2007; Marani *et al.*, 2007). Le barene costituiscono ambienti unici dal punto di vista biologico e siti preferenziali per la riproduzione ed il rifugio di molte specie di avifauna, nonché per la sosta di specie migratorie. Come tali sono oggetto di attenzione dalle norme di protezione ambientale, anche in considerazione degli impatti globali prodotti da possibili cambiamenti dell'ambiente lagunare (MAV-CORILA, 2014). La loro sopravvivenza, oltre che dall'equilibrio tra deposizione ed innalzamento del medio mare, è condizionata in modo decisivo dalle azioni di erosione laterale, dovute alle onde da vento e da natanti.

Le velme sono zone adiacenti ai bassi fondali ed alle barene, caratterizzate da quote intertidali comprese tra -0.6 m s.m.m. e 0 m s.m.m.. Tali zone possono essere colonizzate da fanerogame e da organismi microfitobentonici che ne promuovono la biostabilizzazione rispetto alle forti pressioni erosive cui sono sottoposte per effetto delle onde prodotte dal vento e dai natanti.

Il sistema lagunare veneziano è attualmente caratterizzato da una diffusa prevalenza dei fenomeni erosivi che tende a provocare, specialmente nelle zone centrali (bacino di Malamocco) e meridionali (bacino di Chioggia), la progressiva trasformazione dell'ambiente lagunare in ambiente marinizzato. Si osserva, infatti, un generalizzato abbassamento dei bassifondi, determinato da subsidenza ed eustatismo e da fenomeni erosivi causati dall'azione delle onde e favoriti dalla presenza dei canali di navigazione. In particolare, i sedimenti fini risospesi dal moto ondoso nei bassifondi e nelle velme vengono trasportati dalle correnti di marea verso la rete dei canali lagunari. Parte di questi sedimenti contribuisce al progressivo interrimento di molti dei canali lagunari, parte è convogliata in mare attraverso le bocche, non facendo più ritorno per effetto del comportamento idrodinamico asimmetrico che caratterizza le bocche stesse. Tale degrado morfologico si è tradotto in un degrado ecologico ed estetico del paesaggio lagunare.

Fino all'inizio del XX secolo il paesaggio e l'ecosistema lagunari erano caratterizzati da una superficie di barene pari a 170 Km<sup>2</sup> (Carta idrografica della Laguna di Venezia a cura dell'Ufficio del Genio Civile di Venezia, 1901). La successiva costruzione dei moli foranei e lo scavo del canale Vittorio Emanuele III per il collegamento tra la stazione Marittima e la Zona Industriale di Porto Marghera hanno avviato il fenomeno di perdita di sedimenti dalle piane intertidali, velme e barene, tanto che già nel 1931 (Rilievo Ufficio Idrografico del 1931) le superfici barenali ammontavano a soli 60 km<sup>2</sup> circa. Nel 1971 (Rilievo Ufficio Idrografico, 1971), a seguito dello scavo del Canale Malamocco – Marghera, si documenta l'ulteriore perdita di barene, che ormai occupano una superficie di soli 46 km<sup>2</sup>.

La graduale scomparsa delle barene nel bacino centromeridionale della laguna ha determinato un progressivo aumento delle lunghezze libere su cui agisce il vento (fetch), favorendo l'aumento dell'energia delle onde e dello sforzo al fondo da esse prodotto (Defina *et al.*, 2007), innescando un deleterio meccanismo di feedback positivo nell'entità del fenomeno erosivo. Nelle aree lagunari poste a sud di Venezia, la bora, l'ampio fetch, l'intenso traffico commerciale e turistico generano un moto ondoso che la morfologia lagunare, in avanzato stato di disfa-



cimento, limita ormai solo minimamente. La dinamica di smantellamento dell'apparato e della superficie barenicola nel bacino lagunare centro-meridionale ha portato ad una profonda perdita degli elementi peculiari del paesaggio, che risulta diversamente compromesso sia rispetto alla struttura che alla funzionalità (MAV-CORILA, 2014).

Oltre al degrado paesaggistico dell'area, il fenomeno della perdita delle superfici barenali ha comportato profonde trasformazioni a livello di ecosistema lagunare, con forte riduzione e frammentazione degli habitat emersi tipici delle aree intertidali lagunari. In particolare, la perdita del 70% delle superfici barenali occorso durante il XX secolo ha causato una proporzionale perdita di superficie di tutti gli habitat emersi di interesse comunitario (All. I della Dir. 43/92/CE) caratterizzanti la laguna di Venezia, con una crescente minaccia per la loro conservazione. Alla perdita di superficie di habitat si associa la drastica riduzione delle aree occupate dalla specie floristica di interesse prioritario (All. II della Dir. 43/92/CE) *Salicornia veneta*\*

In tale quadro dinamico di forte minaccia degli habitat lagunari barenicoli si colloca il programma di interventi morfologici volti a ripristinare almeno parte delle superfici a velma e barena perse dal 1931 ad oggi. La creazione di barene e velme, appare prioritaria per la conservazione degli habitat alofili barenali e delle specie di avifauna e ittiofauna che vi si associano, e per la conservazione complessiva della biodiversità dell'ecosistema lagunare. La vegetazione emersa delle barene e gli habitat nei quali essa si esprime, hanno inoltre un importante ruolo nel contrasto all'erosione lagunare, soprattutto grazie all'intercettazione del sedimento, al consolidamento dei substrati e alla produzione di biomassa. L'azione più efficace viene dalle comunità alofile e subalofile strutturate e dense, condizioni in genere raggiunte nelle associazioni dominate da specie perenni. Inoltre, gli interventi morfologici atti a determinare la riduzione dei fetch hanno inoltre dimostrato la loro valenza nel determinare effetti positivi anche sulla qualità dell'habitat 1150\*, aumentandone l'idoneità alla colonizzazione da parte delle fanerogame marine grazie all'attenuazione dei fenomeni di erosione e risospensione.

Nel corso degli ultimi 20 anni sono stati realizzati dal Magistrato alle Acque di Venezia numerosi interventi finalizzati al recupero morfologico, ambientale e funzionale della laguna di Venezia con la costruzione di velme e barene artificiali. Gli interventi di ripristino morfologico realizzati sono indirizzati alla costituzione di un assetto morfologico in grado di attenuare gli attuali fattori di degrado (fetch e moto ondoso), di promuovere lo sviluppo di nuovi habitat e habitat di specie di interesse comunitario e di innescare fenomeni di complessazione della catena trofica e quindi, in sintesi, di portare ad un aumento della biodiversità (MAV-Thetis, 2011).

Gli interventi attuati hanno consentito di realizzare velme e barene per una superficie complessiva di 15 km<sup>2</sup> (pari a oltre 30% delle superficie delle barene naturali oggi presenti in laguna).

Le barene e le velme artificiali presentano un elevato valore ambientale, sia da un punto di vista idro-morfologico, per la loro capacità di conservarsi resistendo all'erosione e di intercettando le correnti e il moto ondoso, sia da un punto di vista naturalistico, per la presenza e l'abbondanza di specie animali e vegetali tipiche degli ambienti intertidali.

La presenza di velme e barene infatti riduce la formazione e la propagazione del moto ondoso da vento attraverso i fondali, conserva i flussi lungo i canali oltre a costituire una componente insostituibile del paesaggio lagunare per la capacità di auto conservarsi attraverso processi di biostabilizzazione e accrescimento del suolo rispetto al livello medio del mare; sono inoltre habitat di pregio in quanto ospitano biotopi e specie di rilevante interesse naturalistico: l'avifauna degli ambienti di estuario, l'entomofauna e le specie di vegetazione alofila.

Le indagini avifaunistiche svolte in un periodo di quasi quindici anni hanno evidenziato come molte delle strutture artificiali a barena ospitano numerose specie nidificanti, incluse quelle di notevole valore conservazionistico (quali ad es. Fraticello *Charadrius alexandrinus*, Fraticello

*Sterna albifrons*, Beccaccia di mare *Haematopus ostralegus*, Volpoca *Tadorna tadorna*, Pettegola *Tringa totanus*) perché presenti con popolazioni ristrette a livello nazionale, inserite negli allegati della Direttiva Comunitaria “Uccelli” o nella Lista Rossa Italiana con lo status di specie “minacciata” o “vulnerabile”.

Le barene artificiali, infatti, costituiscono nuovi areali idonei alla sosta, all'alimentazione e alla nidificazione di diverse specie di uccelli acquatici: questa funzione si manifesta per la presenza di vasti bassi fondali nelle immediate vicinanze delle barene artificiali e per la presenza di aree nude, soprattutto negli stadi iniziali e negli stadi successivi per la presenza formazione della rete a marea.

Nelle barene artificiali è stata rilevata la nidificazione di tredici specie di uccelli acquatici<sup>4</sup>, di cui cinque di importanza comunitaria (indicate con il simbolo \*): Volpoca, Germano reale, Mestolone, Pavoncella, Beccaccia di mare, Cavaliere d'Italia\*, Avocetta\*, Corriere piccolo, Fraticello\*, Pettegola, Gabbiano reale, Sterna comune\*, Fraticello\*.

### 2.6.1 Servizi ecosistemici

La valutazione dei servizi ecosistemici resi dalle aree in cui insistono le barene e le velme artificiali evidenzia come queste forniscano la quasi totalità dei servizi presenti nell'intera laguna di Venezia (Tabella 2-4 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**): servizi legati alla maggior differenziazione e disponibilità di habitat, biodiversità, capacità di resilienza con la capacità di regolazione degli effetti dei cambiamenti climatici (sequestro di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera con mitigazione dell'acidificazione delle acque dei mari, mitigazione dell'innalzamento relativo del livello del mare attraverso l'accrescimento naturale catturando il sedimento), capacità di aumentare la produzione primaria lagunare, capacità di controllo dell'inquinamento sequestrando i composti nelle aree in accrescimento (biostabilizzazione) e di contrasto ai fenomeni erosivi (MAV-Thetis, 2011).

**Tabella 2-4 Lista dei servizi ecosistemici resi dalle barene e dalle velme delle strutture morfologiche ricostruite (da MAV-Thetis, 2011).**

Servizi ecosistemici	
<b>Servizi di produzione</b>	Produzione di cibo
<b>Servizi di regolazione</b>	Azioni sul clima
	Regolazione idraulica
	Azioni su biodiversità ed habitat
	Contrasto all'inquinamento
	Contrasto all'erosione
<b>Servizi culturali</b>	Valore paesaggistico ed estetico
	Valore educativo
	Servizi per l'utilizzo ricreativo

<sup>4</sup> Il numero di coppie nidificanti nelle barene artificiali della laguna di Venezia di alcune specie supera l'1% di quelle stimate per tutta l'Italia.

	Conservazione delle tradizioni
<b>Servizi di supporto</b>	Variabilità morfologica
	Idrodinamica
	Produzione primaria

I servizi elencati sono svolti in vario modo dalle diverse tipologie di strutture morfologiche lagunari. Per quel che riguarda le barene e le velme, entrambe contribuiscono significativamente alla fornitura di molti dei servizi elencati tra cui i più importanti sono: la produzione di cibo, la regolazione idraulica, l'incremento di biodiversità di specie e habitat, il contrasto all'inquinamento e all'erosione, l'aumento della variabilità morfologica e della produzione primaria.

**Produzione di cibo:** le barene e le velme forniscono habitat per numerose specie di pesci e crostacei di interesse commerciale o di interesse locale per la preparazione di cibi tipici. Rispetto ad altri ambienti lagunari che forniscono prodotti della pesca, il contributo delle barene e delle velme è relativamente basso, soprattutto alla luce del confronto con l'elevata produttività delle valli da pesca e dei bassifondi in cui sono praticate attività di venericoltura o altre pratiche di acquacoltura. La produzione di cibo delle barene e delle velme a un considerevole grado di incertezza, dovuto alla mancanza di dati precisi e soprattutto di una serie storica in grado di differenziare la biomassa pescata in base all'origine e alla loro provenienza (barene, velme, bassi fondali, isole). Le barene sono inoltre utilizzate per la caccia a molte specie di anatre (*Anas platyrhynchos*, *A. crecca*, *T. tadorna*, *F. atra*), ma la produzione di cibo derivante dalla caccia in queste strutture è molto scarsa se comparata con quella delle valli da pesca. In ogni caso, i dati raccolti in questo studio (biomassa della fauna ittica e dell'avifauna) hanno evidenziato come la produzione di cibo nelle strutture artificiali sia del tutto simile a quella che caratterizza le analoghe strutture naturali. Ovviamente queste strutture possono raggiungere produzioni comparabili a quelle delle aree naturali solamente una volta raggiunto un significativo livello di maturità, sia come copertura della vegetazione sia come diversificazione di habitat e microhabitat. Queste caratteristiche aumentano, infatti, l'attrazione delle specie ittiche e ornitiche per questi ambienti. Per quel che riguarda queste strutture artificiali, un buon indicatore circa la produzione di cibo consiste nel monitorare la presenza e l'abbondanza delle specie *target*, mentre attuare un monitoraggio dell'attività di caccia e pesca sembra molto più complesso e difficile, a maggior ragione se si considera che molti prodotti della pesca artigianale e della caccia sono consumati localmente e non raggiungono i mercati. Tra la produzione di biomassa ittica delle barene e delle velme non deve essere tralasciata la produzione di avannotti da utilizzare per la produzione di tipo intensivo ed estensivo negli allevamenti ittici e nelle valli da pesca.

**Regolazione del clima:** nelle barene della laguna di Venezia hanno luogo processi in grado di influire sensibilmente sui fenomeni di cambiamento climatico. L'accrescimento delle barene, dovuto alla sedimentazione e all'accumulo del materiale proveniente dalle aree lagunari, è in grado di contrastare l'abbassamento dei suoli dovuto alla subsidenza e all'innalzamento del livello del mare dovuto all'eustatismo. Queste aree contribuiscono inoltre al sequestro dell'anidride carbonica atmosferica (Chmura *et al.* 2003) e le barene costiere sono particolarmente importanti da questo punto di vista perché in questi habitat manca completamente la produzione di metano (Bartlett and Harriss 1993, Bridgham *et al.* 2006).

Queste aree e più in generale tutte le aree umide ricostruite, hanno un elevato potenziale di assorbimento del carbonio e di accumulo del sedimento e della materia organica; tali fattori rappresentano importanti azioni mitigative e di contrasto ai cambiamenti climatici che interesseranno le aree estuarine costiere. L'accumulo di CO<sub>2</sub> da parte delle praterie sommerse contribuisce inoltre alla regolazione del *pH* dell'acqua e a contrastare il fenomeno di acidificazione dei mari. Le barene e le velme artificiali studiate in questo progetto sono in grado di fornire i processi descritti, similmente alle analoghe strutture naturali. I benefici forniti dalle barene e dalle velme nei confronti dei cambiamenti climatici che interessano la laguna di Venezia sono molto importanti, anche se vi sono alcune fonti d'incertezza sulla loro reale entità. Quest'incertezza è legata sostanzialmente alla mancanza di informazioni e di dati sulla capacità di sequestrare la CO<sub>2</sub> e sulle eventuali variazioni dovute alla stagionalità del fenomeno, alla diversa elevazione e tipologia vegetazionale degli habitat. Queste incertezze d'altronde non interessano solamente le aree barenali estuarine, ma anche quelle di ambienti di acqua dolce che sembrano essere più produttive (Więski et al., 2010); non si conoscono inoltre gli eventuali processi che possono interferire o contrastare il fenomeno. Vi è quindi la necessità di monitorare alcuni parametri che possono essere utilizzati come indicatori dei servizi ecosistemici, come il sequestro del carbonio (attraverso la cattura della materia organica), l'accrescimento in elevazione dovuto alla cattura dei sedimenti e il consumo di CO<sub>2</sub> durante la fotosintesi.

**Regolazione idraulica e idrodinamica:** le barene e le velme contribuiscono significativamente alla regolazione dell'idraulica e dell'idrodinamica della laguna. Queste strutture, insieme (e forse più) dei canali, dei bassifondi e delle isole rallentano le dinamiche delle masse d'acqua all'interno della laguna e mitigano l'azione delle onde, permettendo usi polifunzionali dell'ambiente che includono la pesca, il turismo e altre attività ricreative. L'incertezza associata a questo servizio è molto bassa.

**Biodiversità e habitat:** la laguna di Venezia fornisce servizi essenziali per la conservazione della biodiversità attraverso processi in grado di influire sulla composizione e sulla struttura dell'ecosistema. La conservazione della biodiversità locale (che comprende la diversità genetica, specifica, strutturale e delle comunità) è essenziale per il mantenimento delle catene trofiche lagunari, per i servizi forniti dall'ecosistema (i.e. la produzione di cibo) e per molte attività antropiche di primaria importanza quali la pesca e l'allevamento ittico e di bivalvi commerciali. Come evidenziato in questo studio, le barene e le velme si caratterizzano per la presenza di una grande diversità di habitat al loro interno, dove molti tipi di comunità possono quindi coesistere e crescere. Il loro contributo alla biodiversità totale e degli habitat è molto alto poiché, al variare della loro localizzazione, le barene e le velme (sia artificiali sia naturali) favoriscono l'insediamento di comunità che variano da tipicamente marine (in prossimità delle bocche di porto) a tipicamente estuarine (nelle aree più interne). L'elevata biodiversità conferisce una maggiore capacità di resilienza al sistema, favorendo la resistenza all'invasione di specie aliene come ad altre tipologie di disturbo. Le barene sono in grado di fornire inoltre riparo e cibo a molte specie rare o minacciate di elevato valore conservazionistico e agiscono come *nursery zone* per gli stadi larvali e giovanili di molte specie acquatiche. I dati che riguardano gli uccelli mostrano inoltre come le barene forniscano habitat per molte specie migratrici sia in inverno sia in estate, evidenziandone un ruolo chiave nella connettività su larga scala. L'incertezza associata a questa tipologia di servizio ecosistemico è in realtà scarsa perché molti sono i dati disponibili circa la diversità delle comunità biologiche che caratterizzano le barene e le velme e circa il numero di habitat e il loro uso all'interno di queste strutture.

**Regolazione dell'erosione:** questo processo è strettamente connesso con la regolazione idraulica e l'idrodinamica lagunare. Nella laguna di Venezia, i servizi forniti da barene e velme associati al contrasto all'erosione e alla sedimentazione sono molto importanti e maggiori rispetto a quelli forniti da altre strutture morfologiche lagunari. Le strutture a barena e velma favoriscono la cattura e l'accumulo dei sedimenti lagunari, mentre la vegetazione delle barene e delle velme favorisce la stabilizzazione dei sedimenti già presenti. Le barene e le velme artificiali possono essere realizzate per proteggere barene naturali dall'erosione o per proteggere i canali, riducendo la necessità di una loro manutenzione frequente e prevenendo il loro interramento. L'incertezza relativa associata a questo servizio è molto bassa.

**Servizi culturali:** la laguna di Venezia fornisce molti servizi di tipo culturale. L'elevato valore estetico e paesaggistico della Laguna fornisce ricchezza per le popolazioni locali e per i milioni di turisti che visitano la laguna ogni anno. Il valore estetico non deriva solamente dagli elementi naturali del paesaggio, ma anche dagli elementi storici e dalla presenza di un ricco patrimonio artistico, archeologico e culturale. La laguna è anche opportunità di sviluppo per tematiche riguardanti l'educazione ambientale, l'escursionismo e per altre attività ricreative quali la voga e la pesca.

**Controllo dell'inquinamento:** questo fattore è strettamente collegato al controllo dell'erosione e alla regolazione idraulica. Le barene e le velme, assieme alle aree di conterminazione e ai bassi fondali, possono migliorare la qualità dell'acqua favorendo sia la rimozione del sedimento sospeso nella colonna d'acqua sia dei nutrienti e degli inquinanti ad esso legati. La realizzazione di vaste aree barenali lungo le zone della conterminazione lagunare è in grado di mitigare l'impatto dei contaminanti e dei nutrienti provenienti dal bacino di drenaggio e dal run-off superficiale provocato dalle pratiche irrigue legate all'agricoltura. Come conseguenza, le barene e le velme giocano anche un ruolo fondamentale nella regolazione del ciclo dei nutrienti ed in particolare la prevenzione dei fenomeni eutrofici e d'ipossia nelle acque circostanti. La vegetazione alofila è in grado di catturare metalli dal terreno contribuendo alla detossificazione dei terreni attraverso tecniche di fitodepurazione naturali. Le barene della laguna di Venezia dimostrano inoltre di essere metabolicamente molto attive ed hanno un'elevata capacità di processare l'azoto (Eriksson et al., 2003); il tasso di denitrificazione dei terreni varia da sito a sito, ma i valori più elevati sono stati registrati nelle parti più interne e confinate della laguna (fino a 292 e 204  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), dove sono presenti le concentrazioni più elevate di nitrato (Svensson et al., 2000).

Nel contesto lagunare il ruolo delle barene e delle velme nel controllo all'inquinamento è di media importanza, i medesimi processi hanno luogo sia nei bassi fondali e sia nelle aree più vicine alla conterminazione. Come misura della capacità di contrasto all'inquinamento possono essere utilizzati i flussi di nutrienti e di contaminanti dalla colonna d'acqua ai sedimenti (i.e. trappole di sedimento) e/o la concentrazione di materiale particellato lungo transetti che attraversino il sistema di velme e barene lagunari.

**Variabilità morfologica:** la variabilità morfologica degli ecosistemi lagunari è una delle basi per la conservazione dei servizi ecosistemici legati alla produzione, alla regolazione e alla cultura in laguna di Venezia. La conservazione delle barene e delle velme è quindi essenziale per l'esistenza e l'utilizzo dei servizi stessi. La creazione di nuove strutture di questo tipo favorisce quindi l'incremento dei servizi resi da questi ecosistemi e dei benefici attesi.

**Produzione primaria:** è un processo chiave per supportare l'esistenza stessa dell'ecosistema, apportando cibo per i consumatori primari, ossigeno per la respirazione di tutti gli organismi e habitat per le comunità biologiche. La produzione primaria contribuisce alla

trasformazione dei nutrienti e costituisce la base della catena trofica dell'intera laguna e, di conseguenza della sua biodiversità. Le barene e le velme contribuiscono in modo determinante alla produzione primaria dell'intera laguna, ma la mancanza di dati comparativi tra i diversi ambienti non permette di eseguire una stima certa della consistenza effettiva di questi servizi.

**Tabella 2-5 Servizi ecosistemici degli habitat barenali e di velma.**

Servizi ecosistemici		Barene	Velme
<b>Servizi di produzione</b>	Produzione di cibo	Bassi fondali, vegetazione (protezione per l'avifauna)	Praterie di fanerogame (pesci e gamberi), bassifondali (vongole)
	Regolazione dei cambiamenti climatici	vegetazione (sequestro di CO <sub>2</sub> ), suolo nudo (futura colonizzazione)	Praterie di fanerogame (sequestro di CO <sub>2</sub> , contrasto all'acidificazione)
<b>Servizi di regolazione</b>	Regolazione idraulica e idrodinamica	Suolo vegetato, margini barenali e bassi fondali	Praterie di fanerogame
	Biodiversità ed habitat	Suolo vegetato, suolo avegetato, chiari e ghebi, margini	Praterie di fanerogame, bassi fondali nudi
	Contrasto all'inquinamento	Suolo vegetato (assorbimento radicale), bassifondi (sedimentazione)	Praterie di fanerogame (assorbimento dell'apparato radicale)
	Contrasto all'erosione	Suolo vegetato e bassi fondali	Praterie di fanerogame
<b>Servizi culturali</b>	Valore estetico, educativo e ricreativo	Tutti gli habitat della barena	Tutti gli habitat della velma
<b>Servizi di supporto</b>	Variabilità morfologica	Chiari, ghebi e bassifondali	
	Idrodinamica	Suolo vegetato e bassi fondali	Prateria di fanerogame
	Produzione primaria	Suolo vegetato, chiari e ghebi (micro- and macroalghe)	Prateria di fanerogame

### **3 Considerazioni in merito agli effetti di dragaggi in ambito lagunare sulla qualità dei corpi idrici**

#### **3.1 Qualità dei corpi idrici dell'area**

Principali documenti di riferimento:

- AA.VV. *Piano di Gestione del distretto idrografico delle Alpi orientali – Subunità idrografica della laguna di Venezia, del suo bacino scolante e delle acque marino-costiere (2010)*.
- *Magistrato alle Acque – Thetis, 2013. “Risultati dei monitoraggi condotti dal MAV nel 2011 e 2012 e aggiornamento della classificazione di stato chimico – novembre 2013”*. Documento prodotto nell'ambito dei lavori del Tavolo Tecnico “Monitoraggio dei corpi idrici della laguna di Venezia” istituito ai sensi del “Piano di Gestione del distretto idrografico delle Alpi orientali – Sub-unità idrografica della laguna di Venezia, del suo bacino scolante e delle acque marino-costiere”.
- *Regione del veneto. Deliberazione della Giunta regionale n. 140 del 20 febbraio 2014. Classificazione dei corpi idrici della Laguna di Venezia, ai sensi della Direttiva 2000/60/CE, del D. Lgs n. 152/2006 e del D.M. 260/2010, in base ai risultati delle campagne di monitoraggio ambientale avviate nel triennio 2010/2012*.

L'area di studio si colloca nella laguna centrale, interessando in particolare i corpi idrici di Marghera (PNC1) e Sacca Sessola (ENC4), così come individuati dal Piano di gestione del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, per la subunità idrografica in cui è ricompresa la laguna di Venezia.

Il corpo idrico di Marghera, polialino<sup>5</sup> non confinato<sup>6</sup>, comprende lo specchio acqueo situato tra la città di Venezia e Marghera, sul quale insistono numerosi pressioni. Riceve gli apporti dalla zona industriale di Porto Marghera, dai fiumi Marzenego e Lusore, nonché gli apporti del centro storico di Venezia e delle acque di dilavamento delle superfici urbanizzate dell'entroterra.

Il corpo idrico di Sacca Sessola, eualino<sup>7</sup> non confinato, comprende la porzione lagunare situata a sud della città di Venezia, confinando a ovest con il corpo idrico di Marghera e a est con il litorale del Lido. Riceve gli apporti prevalentemente dal centro storico di Venezia.

Il Canale Contorta S. Angelo si colloca sostanzialmente in un'area di confine tra i due corpi idrici.

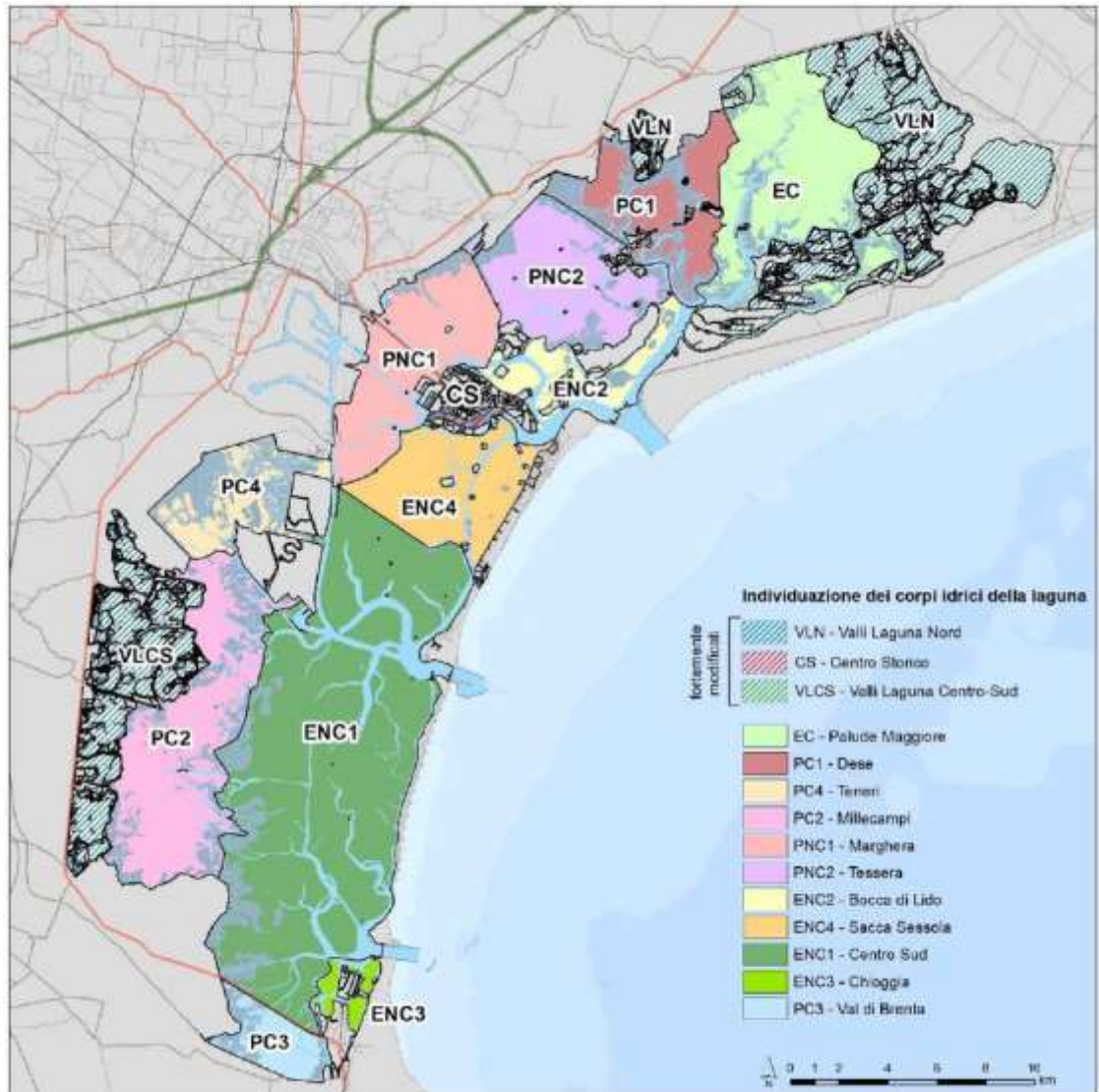
---

<sup>5</sup> Polialino: con salinità compresa tra i 20 e i 30 psu (ex allegato 1 DM 131/2008).

<sup>6</sup> Confinato/non confinato: suddivisione in base a fattori opzionali del sistema di classificazione dei corpi idrici, di cui alla Direttiva 2000/60/CE, tipici del sistema lagunare quali profondità, tempi di residenza e strutture intertidali.

<sup>7</sup> Eualino: con salinità superiore ai 30 PSU (ex allegato 1 DM 131/2008).





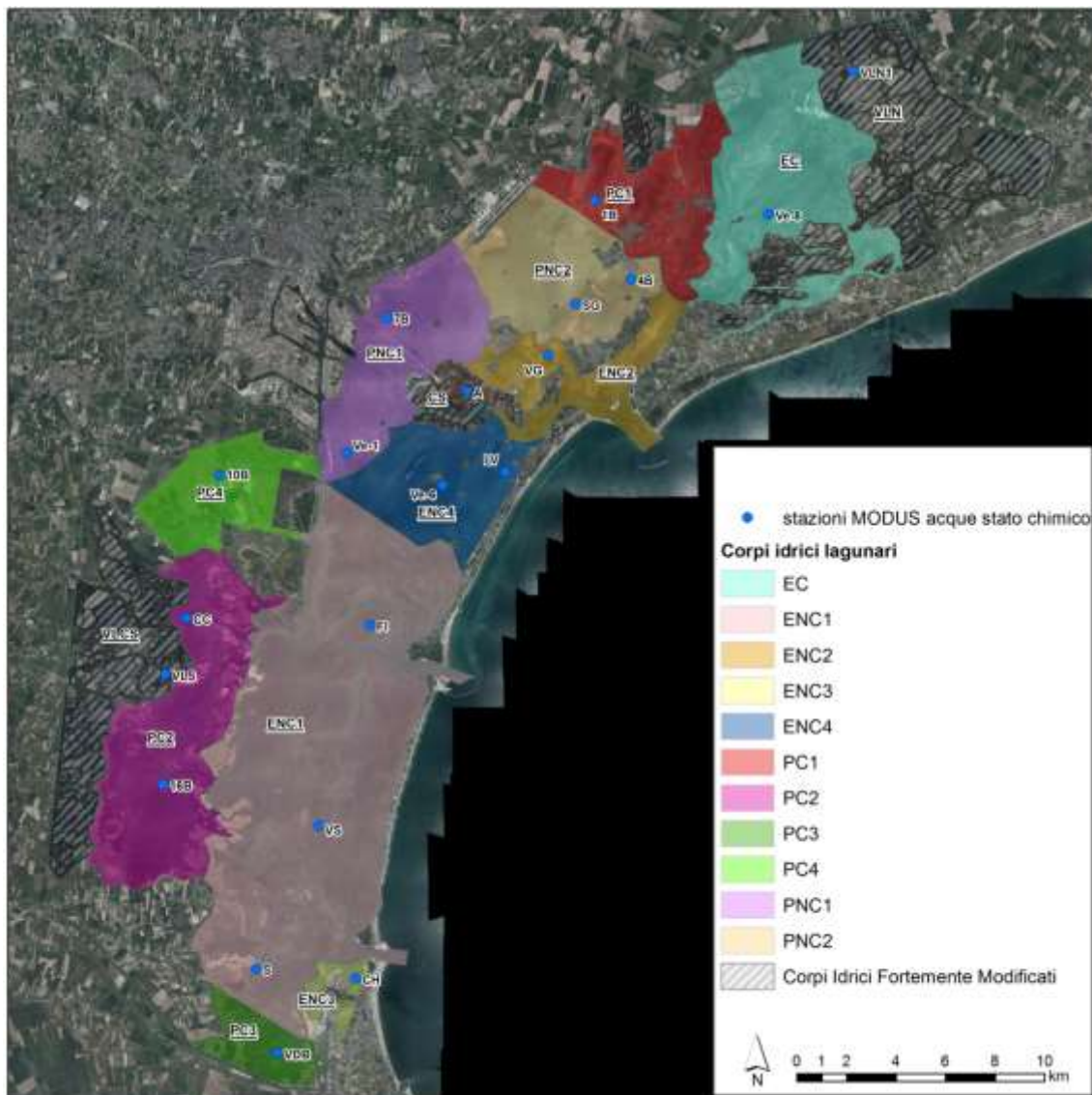
**Figura 3-1** Suddivisione della laguna di Venezia nei corpi idrici individuati nell’ambito del Piano di Gestione relativo alla sub-unità idrografica “bacino scolante, laguna di Venezia, mare antistante”, ricompreso nel Piano di Gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali.

#### Qualità chimica delle acque

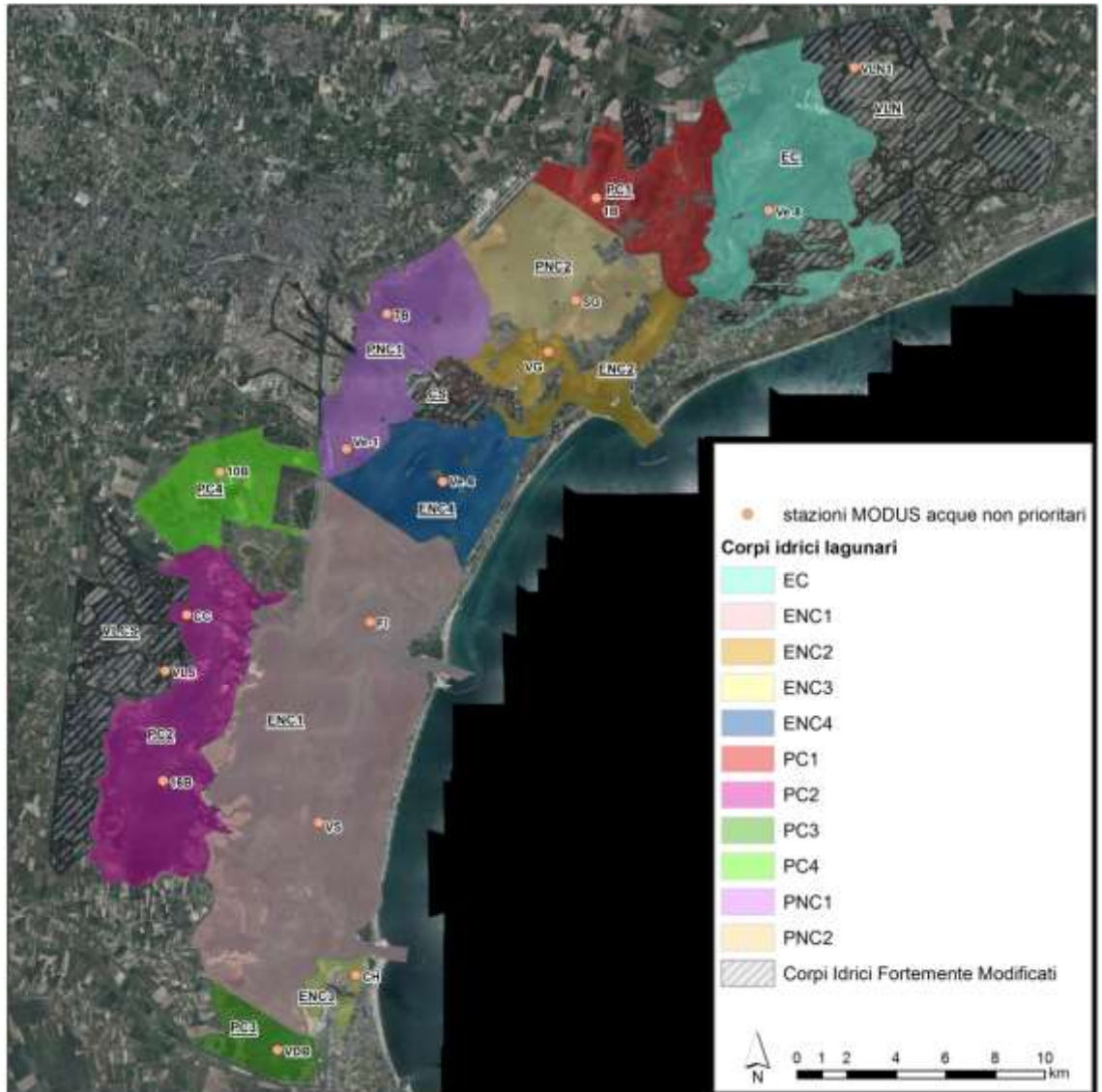
La conoscenza dello stato di qualità di acque e sedimenti dei corpi idrici lagunari è noto a seguito di numerosi studi e monitoraggi avviati con sistematicità da almeno 15 anni, promossi in particolare dal Magistrato alle Acque (ora Provveditorato alle Opere Pubbliche). A partire dal 2011 è attivo il monitoraggio operativo ai sensi della Direttiva Quadro in materia di acque (Direttiva 2000/60/CE), per la classificazione di stato chimico ed ecologico dei corpi idrici.

Il Magistrato alle Acque attraverso il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova è responsabile del monitoraggio di stato chimico (parametri chimici dell’elenco di priorità) e dei parametri chimici a supporto della classificazione di stato ecologico (parametri non appartenenti all’elenco di priorità). Le attività vengono svolte nell’ambito del progetto MODUS.

La rete di monitoraggio è composta da 20 stazioni, per il monitoraggio dei parametri dell'elenco di priorità e da 16 stazioni per i parametri non appartenenti all'elenco di priorità (Figura 3-2 e Figura 3-3).



**Figura 3-2 Ubicazione delle 20 stazioni di monitoraggio per la classificazione dello stato chimico delle acque dei corpi idrici lagunari. Progetto MODUS (Magistrato alle Acque - Consorzio Venezia Nuova).**



**Figura 3-3 Ubicazione delle 16 stazioni di monitoraggio delle sostanze non appartenenti all'elenco di priorità a supporto della classificazione di stato ecologico dei corpi idrici lagunari.**

La classificazione di stato chimico viene effettuata sulla base della matrice acqua, come indicato nel Piano di gestione per la subunità idrografica in cui è ricompresa la laguna di Venezia; sono comunque assicurati anche monitoraggi annuali sulla qualità dei sedimenti superficiali, sugli effetti ecotossicologici e sul bioaccumulo di inquinanti in alcuni organismi sentinella.

I risultati del primo ciclo di monitoraggio sono descritti nel documento “Risultati dei monitoraggi condotti dal MAV nel 2011 e 2012 e aggiornamento della classificazione di stato chimico – novembre 2013”. Sono inoltre stati ufficialmente recepiti con Dgr n. 140 del 20 febbraio 2014.

Con riferimento al primo ciclo di monitoraggio, eseguito nel triennio 2010-2012, tutti i 14 corpi idrici lagunari sono risultati in stato chimico BUONO, poiché le concentrazioni in acqua di tutti gli inquinanti dell'elenco di priorità (Tab 1/A del DM 260/2010) sono risultate inferiori agli standard di qualità ambientale (SQA-MA e SQA-CMA).

La conformità con gli standard di qualità del DM 260/2010 è stata confermata anche dai risultati del monitoraggio periodico eseguito dall'Ufficio tecnico per l'Antinquinamento del Magistrato alle Acque (UTA), limitatamente ai 15 parametri comuni al monitoraggio di stato chimico: il valore medio annuo, sia per il 2011 che per il 2012, non ha superato per alcun parametro gli standard di qualità ambientale del D.M. 260/2010 (Tab 1/A), nemmeno nelle stazioni ricadenti nei canali industriali sui quali non si estende la rete MODUS.

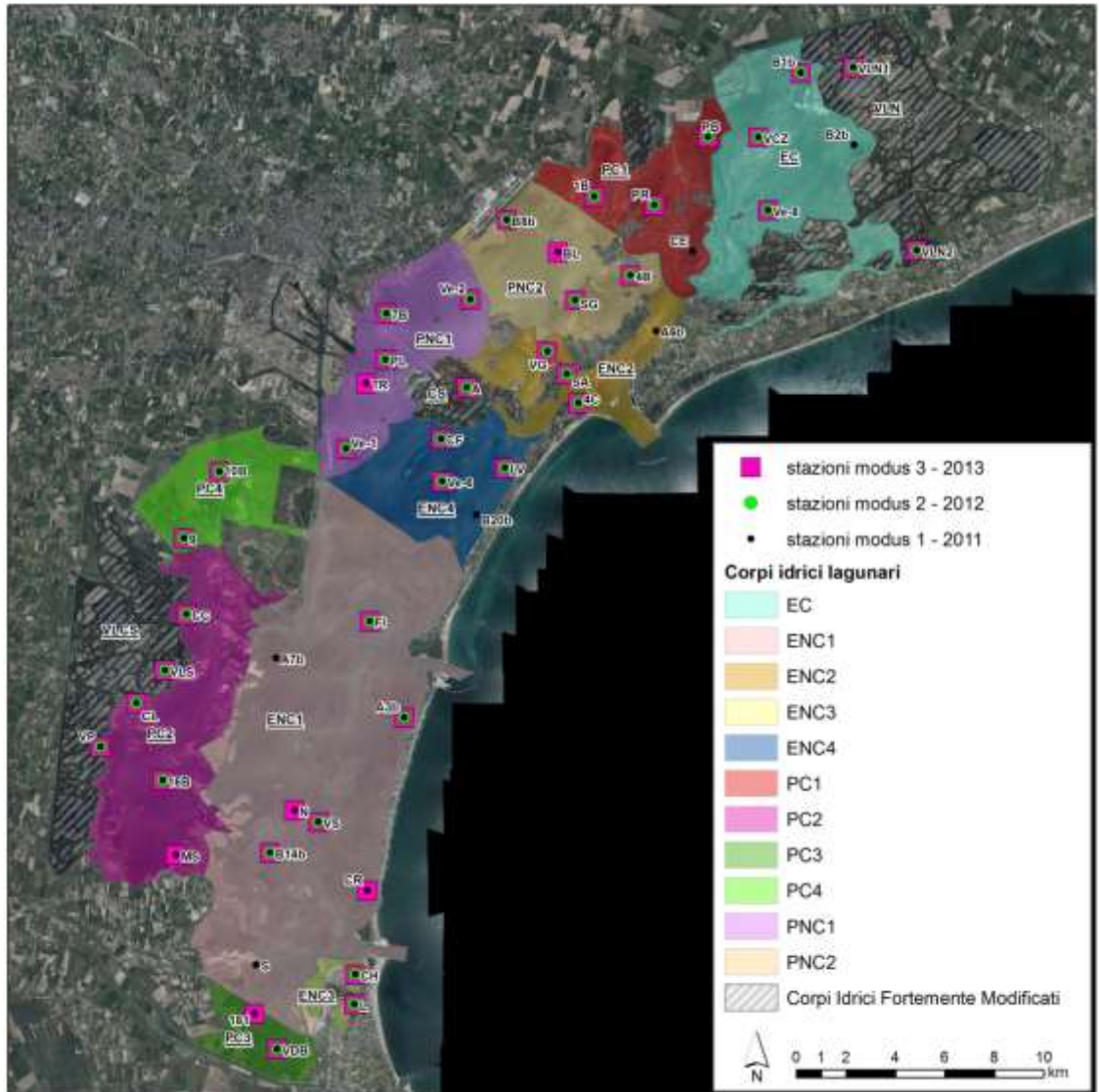
Per ciò che riguarda i parametri non appartenenti all'elenco di priorità (Tab 1/B del DM 260/2010), di supporto agli elementi di qualità biologica (EQB) per classificazione di stato ecologico, sono stati rilevati superamenti degli standard di qualità ambientale esclusivamente nel corpo idrico di Val di Brenta (PC3), localizzato all'estremo meridionale della laguna di Venezia. I parametri per i quali sono stati evidenziati superamenti sono il toluene e gli xileni, limitatamente all'anno 2011.

L'analisi dei dati relativi al monitoraggio periodico eseguito da UTA ha permesso di integrare le informazioni acquisite con il monitoraggio MODUS, relativamente ai parametri comuni ai due monitoraggi (As, Cr, Fe, Cu, Zn, Toluene, Xileni, 1,1,1 tricloroetano). Per ciò che riguarda il confronto con la normativa, il monitoraggio ha evidenziato l'assenza, in tutte le stazioni, di superamenti degli standard di qualità ambientale per la classificazione di stato ecologico.

#### Qualità chimica dei sedimenti

E' risultato diverso invece il quadro emerso dall'analisi dello stato di qualità dei sedimenti superficiali (primi 5 cm), che ha fatto emergere la presenza di diffusi superamenti degli standard di qualità in pressoché tutti i corpi idrici lagunari.

La rete di monitoraggio dei sedimenti è rappresentata in Figura 3-4.



**Figura 3-4 Ubicazione dei punti di campionamento per i sedimenti (MODUS.1, MODUS.2 e MODUS.3) destinati alle analisi chimiche ed ecotossicologiche (saggi di tossicità).**

Con riferimento ai primi anni di indagine, 2011 e 2012, le principali evidenze emerse sono le seguenti:

- alcuni metalli (in modo più evidente per cadmio e piombo) mostrano l'influenza delle sorgenti di contaminazione presenti nel Bacino Scolante (zona industriale e apporti fluviali) con concentrazioni più alte a ridosso di Porto Marghera o nelle zone del bacino centrale retrostanti le casse di colmata (gradiente ovest-est). Non sembrano esserci invece evidenti differenze tra nord e sud della laguna;
- il mercurio è il metallo con la maggiore presenza di superamenti e con la zonizzazione spaziale più netta, con le concentrazioni più elevate in tutta la laguna nord e centro-nord, oltre al valore massimo che caratterizza il centro storico di Venezia. I valori più bassi si trovano nella valli da pesca;
- nichel e cromo presentano una certa tendenza all'arricchimento nelle aree della laguna meridionale;

- l'arsenico evidenzia concentrazioni più elevate in generale nei corpi idrici polialini, comprese le aree di valle da pesca;
- la distribuzione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) indica una contaminazione complessivamente riconducibile alla presenza di centri urbani (Chioggia e Venezia) o agli apporti del bacino scolante (sbocco del Canale di Lova, foce del Silone). La stazione in centro storico di Venezia è quella in assoluto con il maggior numero di superamenti;
- pesticidi e organostannici non sono mai presenti sopra i rispettivi limiti di quantificazione;
- la tossicità equivalente (TEQ) di PCDD/Fs e PCB dioxin like è più elevata nelle zone antistanti Porto Marghera, seguita dalle valli in laguna nord e dal centro storico di Venezia.

Per ciò che riguarda più specificatamente i corpi idrici di maggiore interesse per questo documento, ovvero Marghera e Sacca Sessola, si evidenzia quanto segue:

- Per il corpo idrico ENC4 di Sacca Sessola, tra i metalli della lista di priorità si segnalano superamenti per il mercurio in tutte le tre stazioni comuni ai due anni di indagine, mentre superamenti del cadmio caratterizzano solo il 2011. Per quanto concerne i composti organici della lista di priorità, l'unica stazione che presenta superamenti è la stazione CF – Canale Fasiol. Diversi IPA in questa stazione superano il proprio SQA nel 2012: benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, fluorantene e Indeno pirene. Anche nel 2011, si rilevano superamenti di alcuni IPA nella medesima stazione (benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene, fluorantene) di entità comunque più contenuta rispetto al 2012. Tra i parametri non compresi nella lista di priorità, gli IPA totali evidenziano ancora un superamento alla stazione CF- Canale Fasiol, non evidenziato nel 2011. Gli altri parametri non appartenenti all'elenco di priorità rispettano tutti gli SQA.
- Per il corpo idrico PNC1 di Marghera, in entrambi gli anni di monitoraggio, si rilevano superamenti di cadmio, mercurio e piombo, tra le sostanze dell'elenco di priorità, e della sommatoria di PCB dioxin like e PCDD/F espressi in termini di tossicità equivalente, tra le altre sostanze. Solo nel 2011 inoltre, oltre ai superamenti di cadmio e mercurio, sono emersi superamenti degli SQA per benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene e benzo(k)fluorantene, alle stazioni 7B - San Giuliano, PL - Ponte della Libertà e Ve2 – Campalto, superamenti non confermati con i dati del 2012.

Il quadro complessivo dei superamenti è riportato in Tabella 3-1.

**Tabella 3-1 Parametri le cui concentrazioni superano gli standard indicati dalla Tab. 2/A e 3/B (DM 260/2010) nei sedimenti superficiali (primi 5 cm). In evidenza i corpi idrici maggiormente interessati dall'intervento oggetto di valutazione.**

	Monitoraggio 2011		Monitoraggio 2012	
	Tab. 2/A ex D.M. 260/2010	Tab. 3/B ex D.M. 260/2010	Tab. 2/A ex D.M. 260/2010	Tab. 3/B ex D.M. 260/2010
<b>VLN</b>	Cd, Pb, B(k)F	As, PCDD/F+PCB	Pb	PCDD/F+PCB
<b>EC</b>	Hg, B(a)P, B(b)F, B(k)F, B(g,h,i)Per, Ind.,	-	Hg	-
<b>PC1</b>	Hg, B(a)P, B(b)F, B(k)F, B(g,h,i)Per, Ind., Anthr, Flour	IPA tot	Hg B(b)F, B(k)F	-
<b>PNC2</b>	Hg, B(a)P, B(b)F, B(k)F, Flour		Hg, Pb	-
<b>ENC2</b>	Hg, B(a)P, B(k)F	-	Hg	-
<b>PNC1</b>	Cd, Hg, B(a)P, B(b)F, B(k)F	PCDD/F+PCB	Cd, Hg, Pb	PCDD/F+PCB
<b>CS</b>	Cd, Hg, Pb, B(a)P, B(b)F, B(k)F, B(g,h,i)Per, Ind., Anthr, Flour, Naph	IPA tot, PCB tot	Cd, Hg, Pb B(a)P, Anthr, Fluor, B(b)F, B(k)F, Ind, B(ghi)Per	IPA tot, PCB tot, PCDD/F+PCB
<b>ENC4</b>	Cd, Hg, B(a)P, B(b)F, B(k)F, Flour	-	Hg B(a)P, Fluor, B(b)F, B(k)F, Ind	IPA tot
<b>VLCS</b>	Cd, Pb B(b)F, B(k)F	As	Pb	As
<b>PC4</b>	Cd, B(k)F	As	Cd, Pb	-
<b>ENC1</b>	Cd, Hg, B(k)F, HCB	-	-	-
<b>PC2</b>	Cd B(a)P, B(b)F, B(k)F, Ind, Flour	IPA tot	Cd, Pb	PCDD/F+PCB
<b>ENC3</b>	Cd B(a)P, B(b)F, B(k)F, B(g,h,i)Per, Ind, Flour	Cr, IPA tot.	B(a)P, Fluor, B(b)F, B(k)F, Ind,	Cr, IPA tot., PCDD/F+PCB
<b>PC3</b>	-	-	-	-

### **3.2 Torbidità in laguna di Venezia**

Un altro aspetto della qualità delle acque è quello relativo alla torbidità delle acque e alla concentrazione dei solidi sospesi, parametri affetti da variazioni occasionali, dovuti sia alle variabili meteorologiche così come a quelle antropiche di disturbo del piano sedimentario, in primo luogo pesca e traffico nautico. Bisogna considerare poi la resistenza offerta dal sedimento alla risospensione, ovvero la sua erodibilità, funzione di una serie di parametri, quali la granulometria e la densità del sedimento, la composizione mineralogica, il contenuto di carbonio organico, la presenza di biostabilizzatori (microfitobenthos e macrofite).

#### Principali documenti di riferimento:

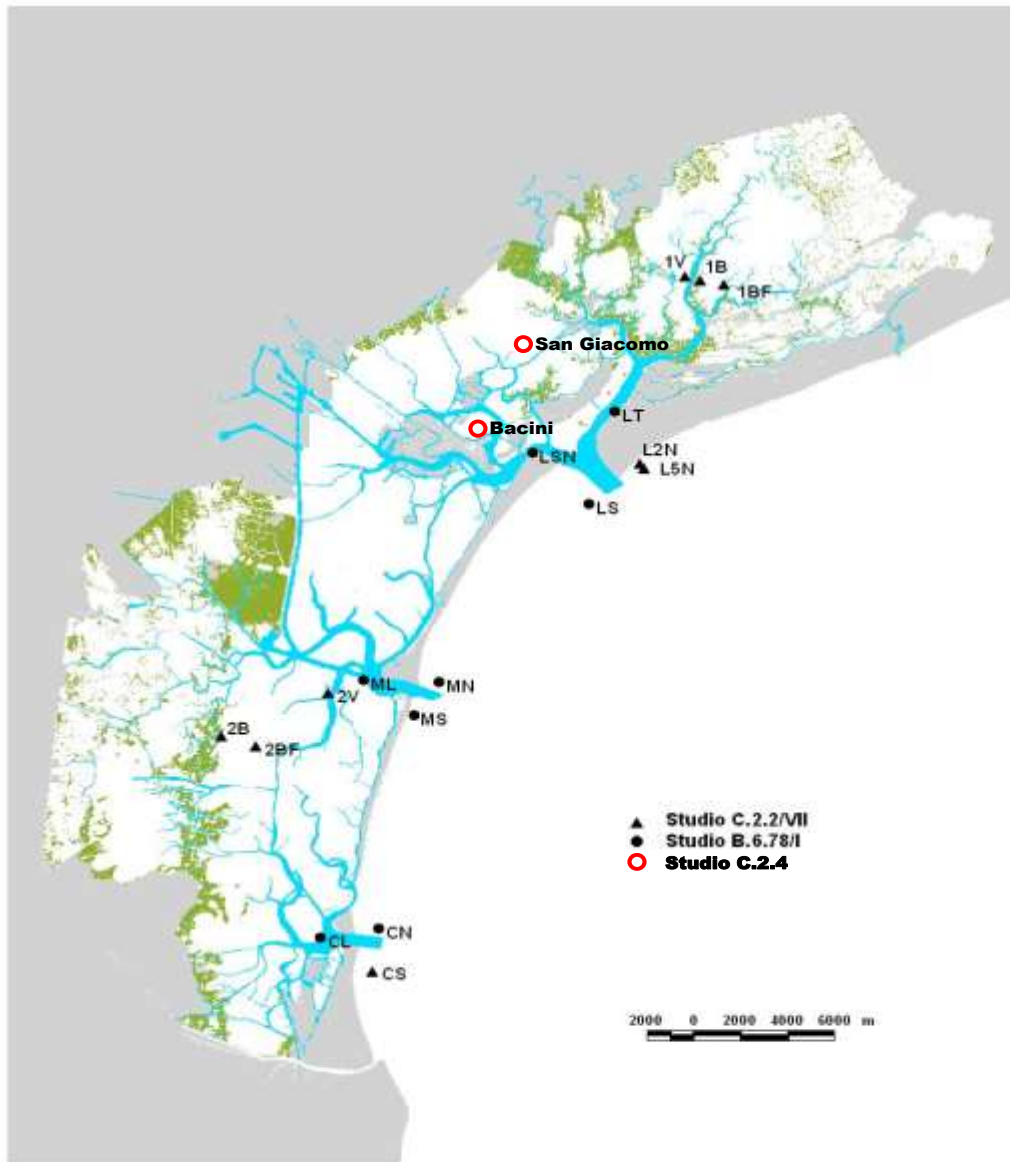
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2003. Studio C.2.4 – Studio degli effetti della navigazione sulla morfologia lagunare. Stazione fissa. Rapporto finale.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2004. Studio C.2.2/VII - Attività per la taratura e la validazione del modello idrodinamico e morfologico della Laguna di Venezia. Stazioni fisse – Rapporto tecnico finale.*
- *MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2005. Studio B.6.78/I – Attività di monitoraggio alle bocche di porto - controllo delle comunità biologiche lagunari e marine. Stazioni fisse. Rapporto finale.*

#### Variabilità temporale della torbidità

Tra il 2001 ed il 2004 l'installazione di stazioni di monitoraggio autoregistranti in siti rappresentativi della laguna, nel contesto di diversi studi promossi Magistrato alle Acque (Studio C.2.4 – “Studio degli effetti della navigazione sulla morfologia lagunare”; Studio C.2.2/VII – “Calibrazione e validazione del modello idrodinamico a maglia curvilinea per lo studio di interventi ambientali”; Studio B.6.78/I – “Attività di monitoraggio alle bocche di porto - controllo delle comunità biologiche lagunari e marine”), ha reso disponibili serie temporali di lunga durata (dell'ordine dei mesi) di misure congiunte di livello, corrente, vento, moto ondoso e torbidità.

L'esplorazione di questi database nell'ambito degli studi di appartenenza ha permesso gettar luce su alcuni aspetti rilevanti che riguardano la torbidità delle acque lagunari, quali i valori di fondo assunti dalla concentrazione di solidi sospesi in colonna d'acqua e l'effetto di fattori perturbativi locali quali la fase di marea, le onde e il vento.





**Figura 3-5 Posizione delle stazioni considerate per inquadrare sinteticamente lo stato di “torbidità” delle acque e la sua variabilità in relazione ai vari fattori perturbativi.**

#### Valori di fondo della torbidità

È stato possibile identificare dei valori limite di torbidità di fondo, non influenzati da fattori perturbativi come il vento o le onde, per le diverse fasi di marea e le diverse condizioni di fase lunare (sizigie e quadratura). I valori di fondo ricavati in laguna per il periodo autunno-invernale si attestano fra 5 e 15 mg l-1, leggermente superiori per le stazioni del sottobacino Nord rispetto a quelle del sottobacino Sud.

Per ogni stazione, i valori di torbidità misurati in assenza di vento, in condizioni di sizigie, sono risultati superiori (fra il 30 e il 50%) a quelli relativi a condizioni di quadratura. In particolare durante un periodo invernale di calma di vento persistente per 20 giorni è stato rilevato un valore limite compreso fra 3 e 8 mg l-1 a seconda della stazione lagunare considerata, rispetto ad un 2.5 mg l-1 riferibile al mare.

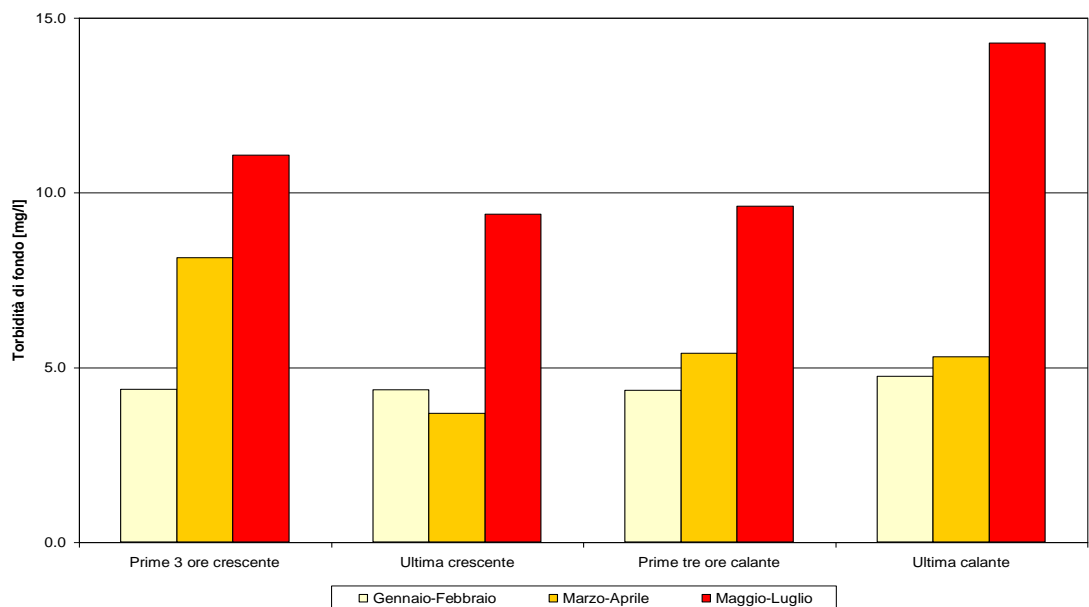
Le misure hanno consentito inoltre di descrivere l'effetto dell'idrodinamica locale e delle fasi mareali sul clima di torbidità. Possono essere identificati alcuni comportamenti generali, dai quali però ciascun sito può discostarsi in relazione alle condizioni locali e istantanee in cui di volta in volta si trova. In sintesi:

i valori rilevati in condizioni di sizigia sono risultati sempre superiori rispetto a quelli relativi alle condizioni di quadratura. La velocità maggiore della massa d'acqua durante le fasi di sizigia e la maggiore turbolenza che si crea specialmente se il battente è limitato favoriscono infatti la risospensione di maggiori quantità di sedimento nella colonna d'acqua;

l'andamento tipico nel corso di ciascuna fase mareale suggerisce la relazione marea crescente - torbidità che cala e marea calante - torbidità che aumenta. Tale "regola" è ragionevole se si pensa all'effetto di diluizione che l'ingresso di acqua marina in Laguna induce ad ogni marea crescente. In dipendenza però dai caratteri della circolazione idrodinamica locale questa "regola" può venire contraddetta, ad esempio in quelle stazioni per le quali, in marea crescente, l'acqua, prima di giungere alla stazione stessa, attraversa un basso fondale arricchendosi di solidi e materiale organico ad essi associato;

la concentrazione maggiore di solidi sospesi misurata coincide generalmente con la fase di bassa marea o di prima marea crescente, quando le condizioni idrodinamiche permettono la risospensione dal fondo del materiale più fine.

La Figura 3-6 che segue riporta ad esempio la variabilità della torbidità di fondo con la fase di marea e con la stagione così come risultante dal database delle misure raccolte dalla stazione autoregistrante dei Bacini nell'ambito dello Studio Effetti Navigazione promosso dal MAV-CVN (la stazione è stata operativa da gennaio a luglio 2002).



**Figura 3-6 Variabilità del valore medio della torbidità di fondo (nessun transito di natanti e vento < 3m/s) alla stazione dei Bacini con la stagione e la fase di marea (Studio Effetti Navigazione).**

### Effetto del vento sulla torbidità

E' stato possibile inoltre isolare l'effetto del vento (eventi di tempesta, raffiche persistenti), in grado di generare differenti fenomeni di torbido locale.

In ogni stazione, in corrispondenza di situazioni caratterizzate dalla presenza di venti intensi e di lunga durata, i valori medi di torbidità registrati sono risultati superiori a quelli riscontrati in assenza di vento, a testimonianza degli effetti di risospensione che il vento è in grado di produrre per il tramite del moto ondoso generato. La torbidità indotta cresce inoltre con l'intensità del vento, diventando importante solo al di sopra di una soglia che cresce con il battente.

Il valore di tale soglia dipende dall'esposizione del sito e dalle caratteristiche del fondale.

Venti di notevole intensità ma di breve durata non sembrano invece in grado di produrre sostanziali effetti di risospensione.

La tabella che segue riporta ad esempio la variabilità dei valori medi di torbidità con il battente e l'intensità del vento come risultante dal database delle misure raccolte dalla stazione auto-registrante dei Bacini (operativa da gennaio a luglio 2002) nell'ambito dello Studio Effetti Navigazione promosso dal MAV-CVN.

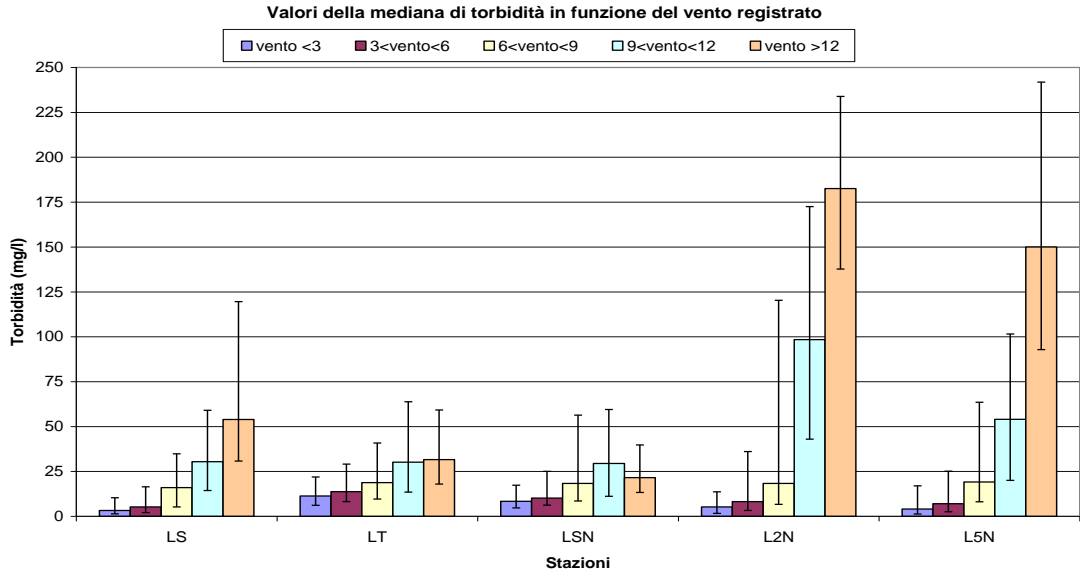
**Tabella 3-2 Variabilità della torbidità [mg/l] con il battente e l'intensità del vento alla stazione dei Bacini – marea calante (Studio Effetti Navigazione).**

		battente [cm]				media
		40-60	60-80	80-100	>100	
V vento [m/s]	3-4	11.9	11.7	11.6	12.9	12.3
	4-6	15.0	14.7	13.8	12.0	13.4
	6-8	21.2	25.2	24.0	18.2	21.4
	8-10	32.6	49.8	34.7	20.4	30.5
	>10		35.5	39.3	43.8	39.3
	media		16.1	17.7	15.1	14.1

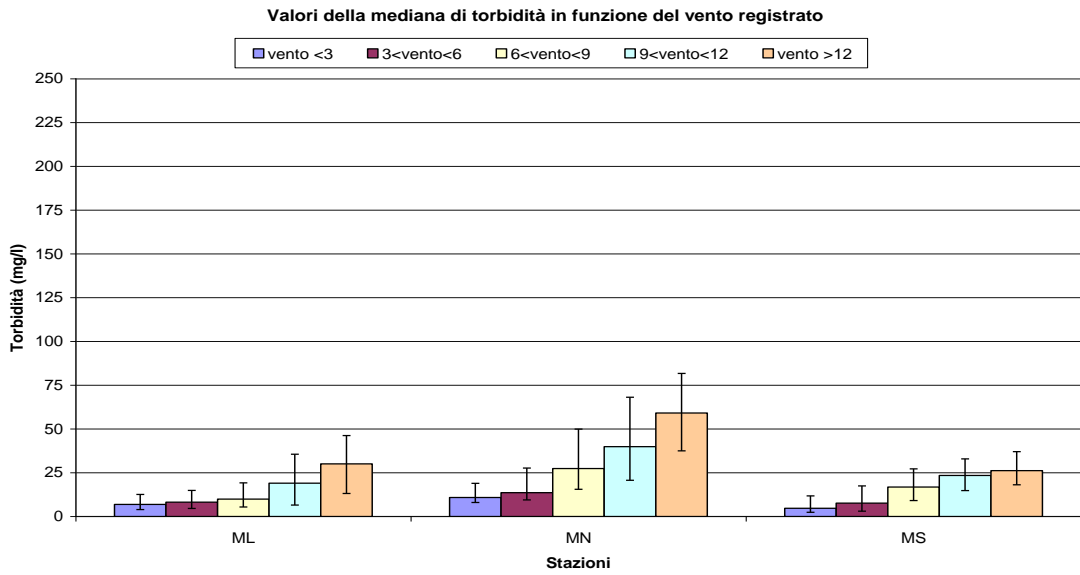
I valori delle mediane di torbidità calcolate alle diverse stazioni degli studi C.2.2/VII e B.6.78/I per il periodo di funzionamento vengono riportati nelle figure che seguono in funzione dell'intensità del vento (bora) per le diverse aree di ubicazione.

Si nota che per le massime intensità del vento (sopra i 12 m/s) la torbidità delle acque lagunari raggiunge e supera in genere i 50 mg/l, mantenendosi viceversa attorno ai 25 mg/l nei canali prossimi alle bocche di porto.

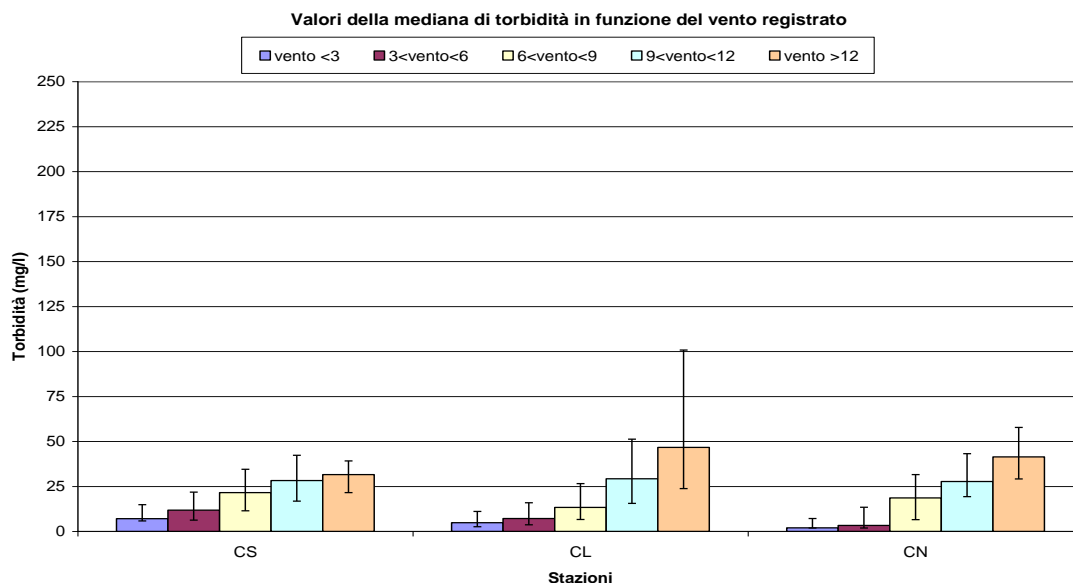
Valori superiori ai 150 mg/l sono raggiunti in mare a nord della bocca di lido per effetto della deriva litoranea associata agli eventi di bora, che trasporta verso sud i volumi di sedimenti erosi dai litorali di Jesolo e del Cavallino.



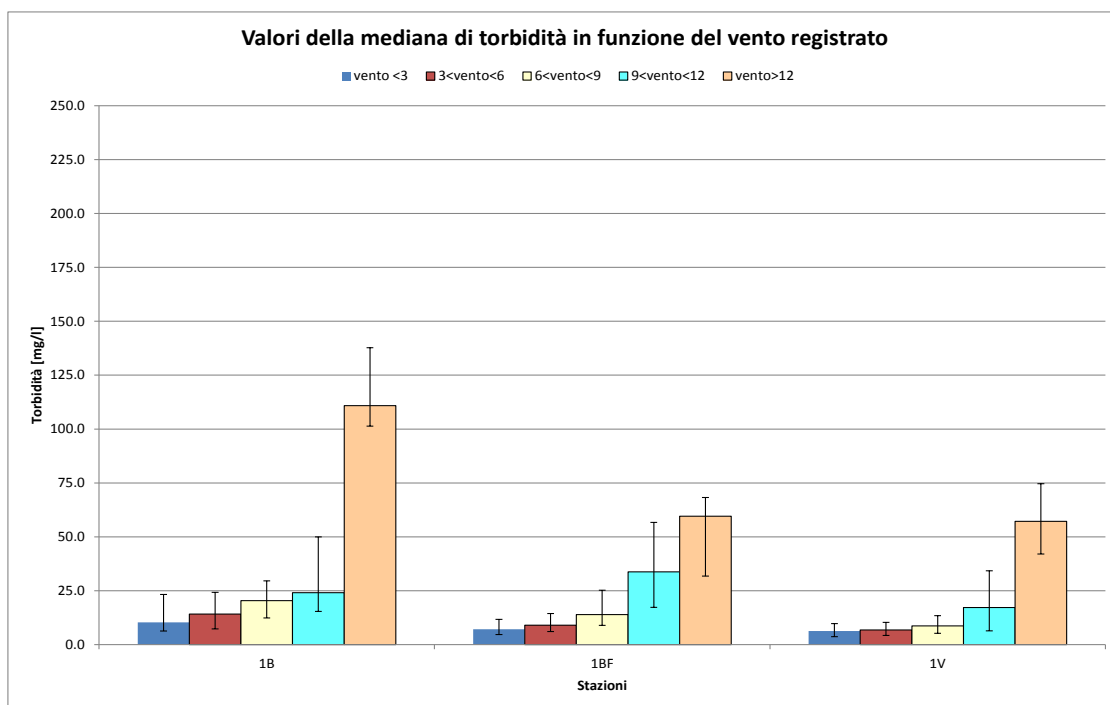
**Figura 3-7 Stazioni di bocca di Lido – Valori di mediane di torbidità ottenuti in base alla suddivisione dei dati in classi di vento. Vengono presentate anche le barre di errore con i valori del primo quartile e del terzo quartile.**



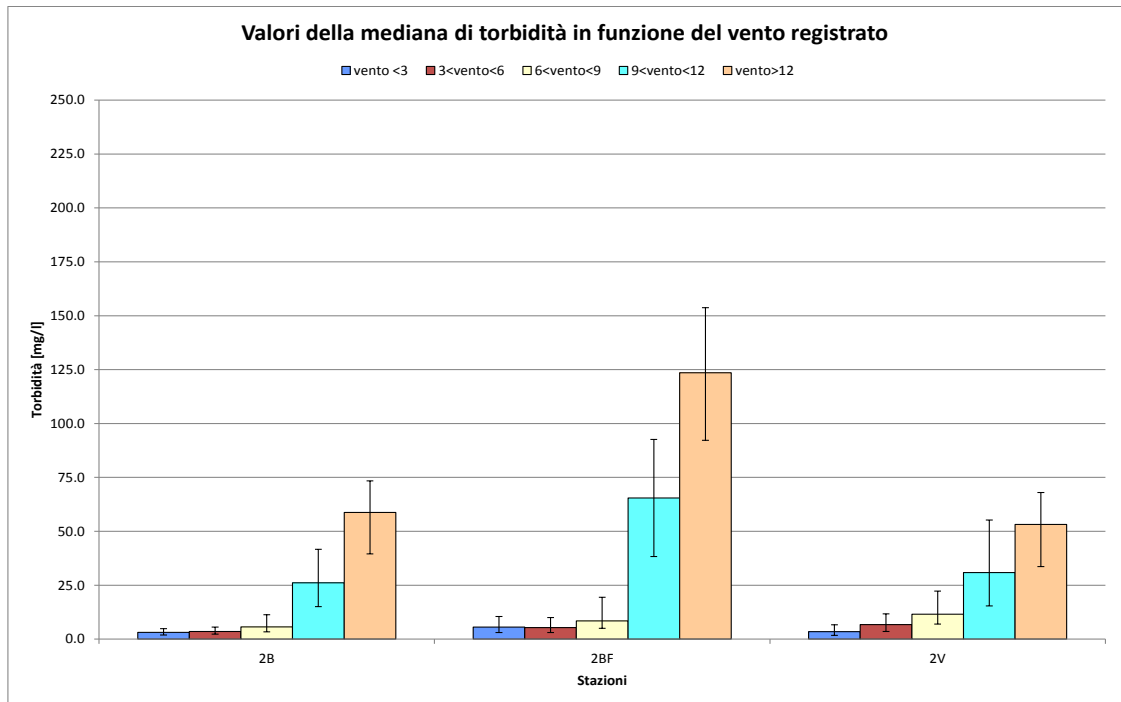
**Figura 3-8 Stazioni di bocca di Malamocco – Valori di mediane di torbidità ottenuti in base alla suddivisione dei dati in classi di vento. Vengono presentate anche le barre di errore con i valori del primo e del terzo quartile.**



**Figura 3-9 Stazioni di bocca di Chioggia – Valori di mediane di torbidità ottenuti in base alla suddivisione dei dati in classi di vento. Vengono presentate anche le barre di errore con i valori del primo quartile e del terzo quartile.**



**Figura 3-10 Stazioni di laguna Nord – Valori di mediane di torbidità ottenuti in base alla suddivisione dei dati in classi di vento. Vengono presentate anche le barre di errore con i valori del primo quartile e del terzo quartile. La stazione 1BF è posta sul basso fondale, la 1V su velma e la 1B su barena.**



**Figura 3-11 Stazioni di laguna Sud – Valori di mediane di torbidità ottenuti in base alla suddivisione dei dati in classi di vento. Vengono presentate anche le barre di errore con i valori del primo quartile e del terzo quartile. La stazione 2BF è posta sul basso fondale, la 2V su velma e la 2B su barena.**

#### Risultati dei monitoraggi istituzionali più recenti

La misura dei solidi sospesi nelle acque viene effettuata con cadenza mensile nell'ambito del monitoraggio periodico delle acque effettuato dal Magistrato alle Acque (ora Provveditorato alle Opere Pubbliche), attraverso il suo Ufficio Tecnico per l'Antinquinamento (Figura 3-12). Con riferimento ai dati del 2012, si evidenzia una maggiore concentrazione di solidi sospesi nel corpo idrico di Marghera (PNC1) (Tabella 3-3).

Tali osservazioni, effettuate con cadenza periodica, in condizioni di marea di quadratura e tendenzialmente in condizioni di quiete, possono non essere effettivamente rappresentative della condizione media della laguna in quanto gli eventi risospensivi, di carattere occasionale possono significativamente alterare il dato.

I dati di torbidità misurati in continuo in corrispondenza di alcune stazioni automatiche gestite dall'Ufficio Tecnico per l'Antinquinamento del Magistrato alle Acque (rete SAMANET, Figura 3-13 e Tabella 3-4) hanno evidenziato come il valore medio della torbidità integrato nel tempo, misurato dalle centraline automatiche, sia più alto del valore istantaneo misurato nelle campagne di monitoraggio periodico, tendenzialmente in condizioni di quiete. Si evidenzia quindi il peso cumulato degli eventi risospensivi di origine antropica o naturale quali le condizioni meteorologiche, gli apporti delle torbide dei fiumi, la risospensione del sedimento causata dal passaggio delle imbarcazioni e dalle attività di pesca (MAG.ACQUE – Thetis, 2006).

Con riferimento alla rete SAMANET e ai dati del 2011-2012, valori relativamente elevati di torbidità sono stati osservati soprattutto in corrispondenza della stazione Ve-2 (Isola di Tessera, corpo idrico PNC1), Ve-7 (Canale del Dese, corpo idrico PC1) e secondariamente Ve-5 (Tresse, sbocco del Canale Industriale Sud nel corpo idrico PNC1).

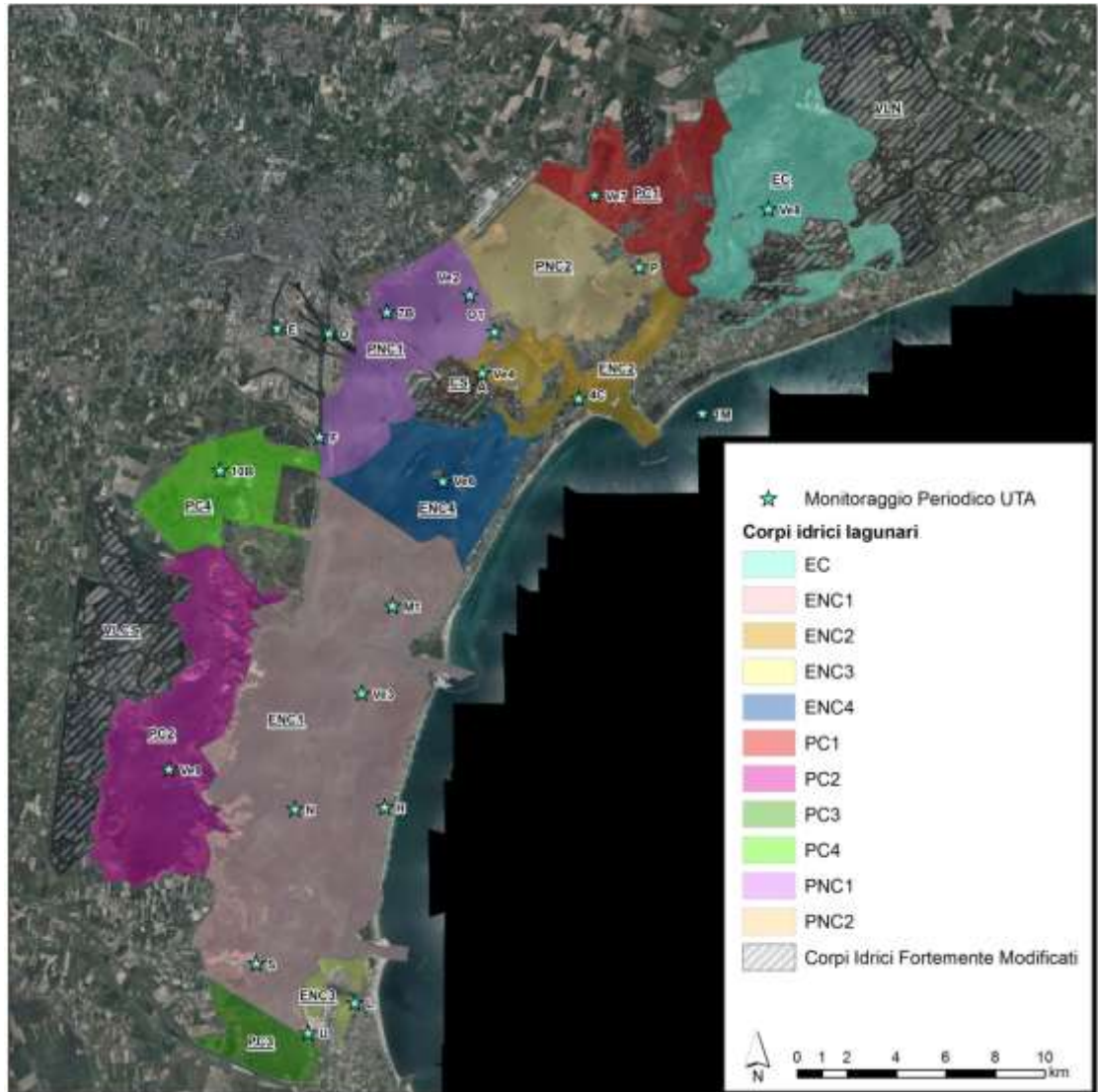


Figura 3-12 Rete di monitoraggio periodico dell'Ufficio Tecnico Antinquinamento del Provveditorato alle Opere Pubbliche.

**Tabella 3-3 Solidi sospesi misurati nelle stazioni di monitoraggio periodico del Magistrato alle Acque – UTA (anno 2012). Sono evidenziate in grigio le stazioni ricadenti nei corpi idrici maggiormente interessati dall'intervento oggetto di valutazione.**

			Media	Mediana	Min	Max	25 perc	75 perc
EC	Ve8	Palude Maggiore	16.2	14.5	4.0	30.0	13.5	20.5
	M1	Canale del Fisolo	14.0	15.5	8.0	17.0	12.1	16.0
	N	Settemorti	19.1	16.5	2.0	78.0	8.9	21.3
	S	Canale Novissimo	21.1	16.4	9.3	55.0	12.8	22.3
	H	Pellestrina	16.5	16.0	7.5	33.0	13.0	18.0
ENC1	Ve3	San Pietro	13.9	14.5	4.0	18.0	12.8	17.0
	4C	Bocca di Lido - San Nicolò	17.2	17.0	12.0	25.0	14.8	18.3
	O1	Murano	22.9	20.5	14.0	39.0	17.8	26.8
ENC2	Ve4	Fondamenta Nuove	27.4	25.5	12.0	48.0	18.3	34.8
ENC3	L	Laguna di Lusenzo	17.3	16.0	5.6	47.0	12.8	18.8
ENC4	Ve6	Sacca Sessola	16.3	17.0	8.0	21.0	15.0	18.0
PC1	Ve7	Palude di Cona	20.8	14.5	4.6	66.0	9.8	23.3
PC2	Ve9	Valle Millecampi	20.0	15.0	4.0	70.0	13.9	18.5
PC3	U	Canale Lombardo	23.4	19.5	11.2	45.0	17.0	26.3
PC4	10B	Lago dei Teneri	17.7	15.0	9.1	34.0	12.5	21.2
	7B	Isola San Giuliano	76.7	58.5	14.0	290.0	24.8	101.5
PNC1	Ve2	Campalto	45.8	36.5	9.0	163.0	19.8	53.5
PNC2	P	Burano	18.8	19.5	6.8	30.0	17.0	20.8
CS	A	Rialto	24.3	24.0	13.0	42.0	18.5	29.0
-	D	Canale Industriale Nord	14.2	14.5	7.2	20.0	11.0	16.3
-	E	Canale Industriale Ovest	20.9	18.0	7.0	56.0	13.0	27.0
-	F	Fusina	23.1	21.5	16.0	35.6	18.8	26.5

**Tabella 3-4 Torbidità misurata nelle stazioni di monitoraggio in continuo del Magistrato alle Acque – UTA (anno 2011- 2012). Sono evidenziate in grigio le stazioni ricadenti nei corpi idrici maggiormente interessati dall'intervento oggetto di valutazione.**

	Località	Fusina	Isola di Tessera	S.Pietro	Fondamenta Nuove	Trezze	Sacca Sessola	canale Dese	Palude Maggiore	Millecampi	Val di Brenta
	Sigla stazione	Ve-1	Ve-2	Ve-3	Ve-4	Ve-5	Ve-6	Ve-7	Ve-8	Ve-9	Ve-10
2012	Media	19.3	27.9	10.4	22.4	9.1	15.8	36.5	8.7	20.0	31.6
	Mediana	9.6	16.4	5.7	15.0	7.5	8.5	22.4	7.4	9.1	7.9
	min	0.1	0.0	1.1	1.0	3.1	0.0	2.7	2.6	0.4	0.0
	max	554.7	857.6	199.9	1303.4	90.3	455.3	645.6	154.8	528.1	723.8
	25 perc	6.3	9.6	3.2	9.8	5.7	5.5	13.3	5.3	4.9	4.3
	75 perc	16.3	29.6	9.0	23.3	10.3	16.8	41.1	9.6	15.8	18.8
2011	Media	17.5	37.8	11.4	18.9	22.2	15.0	25.9	12.7	21.2	18.6
	Mediana	10.8	22.7	4.0	14.1	10.7	8.8	17.4	7.7	9.8	7.0
	min	0.1	0.0	0.4	1.7	2.7	0.6	1.0	1.1	0.4	0.0
	max	436.3	665.1	246.8	1242.3	246.8	517.6	778.5	246.8	615.7	585.2
	25 perc	7.3	13.4	2.9	9.1	7.8	5.8	10.5	4.6	5.5	4.3
	75 perc	17.6	43.3	5.7	22.1	17.4	16.3	29.1	15.3	20.9	12.7



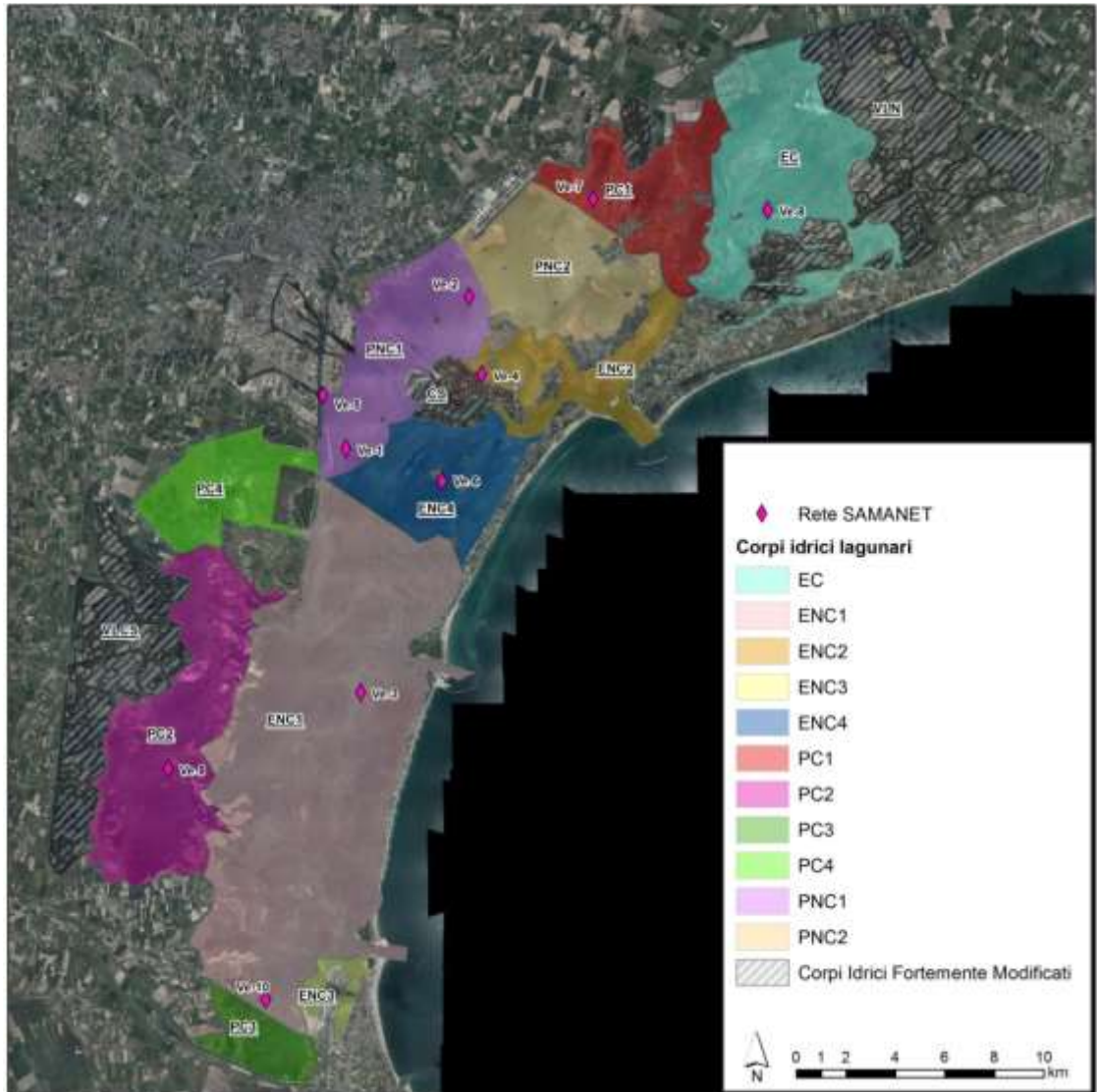


Figura 3-13 Rete di monitoraggio in continuo dell'Ufficio Tecnico Antinquinamento del Provveditorato alle Opere Pubbliche.

### **3.3 Buone pratiche nelle attività di dragaggio per il controllo della torbidità ed il rilascio dei contaminanti**

Documento di riferimento:

*Magistrato alle acque – Thetis, 2012. OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1. Attività F: Valutazione dei risultati dell'applicazione delle diverse tecnologie per la rimozione degli hot spot. Analisi di Benchmarking. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*

Nell'ambito dello progetto "OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1" del Magistrato alle Acque, è stata eseguita una rassegna bibliografica delle principali tecniche di dragaggio utilizzate a livello nazionale ed internazionale in ambiti di intervento molto particolari, simili a quello dell'area lagunare antistante Porto Marghera.

Le caratteristiche principali dell'area d'intervento di cui si è tenuto conto nella conduzione della rassegna bibliografica sono:

- presenza di contaminazione nei sedimenti oggetto di scavo;
- battenti d'acqua limitati nelle aree di scavo;
- ubicazione dell'intervento in zone portuali o lagunari a basso idrodinamismo;

I criteri sopra elencati sono stati quindi utilizzati per l'individuazione dei casi di studio considerati nell'attività di definizione delle tecniche di dragaggio maggiormente diffuse a livello nazionale ed internazionale. Per la raccolta delle informazioni necessarie alla stesura del rapporto sono state consultate le maggiori associazioni internazionali nel campo delle opere di dragaggio.

I sistemi di dragaggio esplorati si classificano essenzialmente secondo il principio di funzionamento della macchina dragante che inizialmente disgrega le particelle del sedimento, scava e trasporta il materiale in senso orizzontale o verticale lontano dalla zona di dragaggio; la draga può essere principalmente di tipo meccanico o idraulico.

Il dragaggio meccanico viene utilizzato per rimuovere materiale ghiaioso, duro o compatto. Le macchine impiegate usano sistemi di escavazione e trasporto che generalmente si possono identificare con benne o draghe a grappolo o a tazze dove il materiale che viene prelevato attraversa tutta la colonna d'acqua entrando in contatto con l'ambiente che lo circonda. Fanno eccezione particolari tipi di benne o draghe con chiusura ermetica. Il materiale dragato viene trasportato mediante pontoni e chiatte o attraverso imbarcazioni a tramoggia con apertura sul fondo, capaci di percorrere lunghe distanze.

Le tecniche di dragaggio di tipo meccanico si fondano sull'utilizzo di sistemi di scavo tradizionali quali:

- Draga a benna mordente (grab dredger);
- Draga a secchie (bucket ladder dredger);
- Draga con gru idraulica.

Il dragaggio idraulico, applicabile in presenza di materiale debolmente compattato, viene generalmente effettuato con draghe che utilizzano pompe centrifughe. Il materiale viene prelevato

to e trasportato in forma fangosa o liquida mediante tubi a suzione che funzionano in seguito alla creazione di una depressione nella zona di prelievo.

Le draghe a suzione più comuni sono:

- la draga stazionaria aspirante con disgregatore (cutter suction dredger);
- la draga aspirante semovente con pozzo di carico (trailing hopper suction dredger).

In generale con draghe idrauliche si indicano anche quelle draghe il cui funzionamento si realizza accoppiando le due tipologie (di tipo idraulico e meccanico). Sono macchine il cui sistema di escavazione è di tipo meccanico, ad esempio le trivelle provviste di lame taglienti, e il sistema di trasporto verticale del materiale è di tipo idraulico. Queste draghe nascono per soddisfare specifiche esigenze, in quanto è possibile dragare un materiale compatto limitando i problemi legati alla torbidità e alla fuoriuscita di materiale nella colonna d'acqua. La concentrazione di solido prelevata è intermedia fra quella delle tecniche di tipo meccanico e quella delle draghe idrauliche.

I sistemi di dragaggio sono in continua evoluzione e le tecnologie più evolute sono in grado di produrre draghe che non solo tengono conto delle caratteristiche geo-strutturali del sedimento da asportare ma cercano di soddisfare le prescrizioni ambientali.

Di seguito vengono riportate le principali differenze tra le due tecniche di dragaggio e i rispettivi parametri di valutazione.

**Tabella 3-5 Principali differenze tra il dragaggio meccanico e il dragaggio idraulico - Fonte: Pellegrini et al. 2002 - Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi portuali, Quaderno ICRAM n. 1 – Maggio 2002.**

Tecnica	Principali vantaggi	Principali svantaggi
Dragaggio meccanico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buona precisione nel prelievo del sedimento.</li> <li>• Il sedimento viene conservato integro con bassa percentuale d'acqua.</li> <li>• Tecnica utilizzabile anche per raggiungere profondità elevate.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasso di escavazione molto basso (da 30 a 50 m<sup>3</sup>/h).</li> <li>• Inutilizzabile per sedimenti molto idratati.</li> <li>• Percentuale elevata di messa in sospensione del materiale nella colonna d'acqua.</li> </ul>
Dragaggio idraulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasso di escavazione elevato (7.000 m<sup>3</sup>/h).</li> <li>• Bassa risospensione del materiale nella colonna d'acqua.</li> <li>• Facilità di trasporto per lunghe distanze.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presenza di trovanti e bolle di gas nei sedimenti può alterare il funzionamento delle pompe.</li> <li>• Elevato contenuto in acqua nel materiale scavato (80%-90%).</li> <li>• Utilizzo generalmente riservato per grandi quantitativi.</li> <li>• Costi elevati.</li> </ul>

**Tabella 3-6 Valutazione qualitativa tra il dragaggio idraulico e il dragaggio meccanico -  
 Fonte: Pellegrini et al. 2002 - Aspetti tecnico–scientifici per la salvaguardia ambientale  
 nelle attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi portuali, Quaderno ICRAM  
 n. 1 – Maggio 2002.**

Parametro di valutazione	Dragaggio meccanico	Dragaggio idraulico
<b>Quantitativo di sedimento da dragare:</b>		
Piccolo (<5.000 m <sup>3</sup> )	++	+
Medio (compreso tra 5.000 e 100.000 m <sup>3</sup> )	+	+
Elevato (>100.000 m <sup>3</sup> )	-	++
<b>Consistenza del sedimento:</b>		
Duro	+	-
Molle	++	+
Fluidi	-	++
<b>Capacità lavorative a quote profonde</b>	++	+
<b>Manovrabilità</b>	++	+
<b>Costi</b>	+	++
<b>Facilità di trasporto del sedimento</b>	+	++
<b>Precisione nel dragaggio</b>	+	+
<b>Risospensione nell'area di dragaggio</b>	-	+
<b>Risospensione nell'area di scarico</b>	+	-
<b>Capacità di controllo della risospensione</b>	-	+

Legenda: (attinenza al parametro: - bassa, + media, ++ alta)

Nel caso di sedimenti contaminati, durante il dragaggio vengono attivati fenomeni di risospensione e rilascio degli inquinanti. Le tecniche di scavo generalmente utilizzate nel caso di un dragaggio di tipo ambientale (per la rimozione di sedimenti contaminati) sono:

- draga con benna mordente (chiusura meccanica o idraulica);
- draga con gru idraulica;
- draga aspirante con disgregatore;
- draga aspirante semplice;
- draga con assistenza subacquea;
- draghe di piccole dimensioni.

La scelta della tecnica di scavo in un dragaggio ambientale deve inoltre tenere conto dell'efficienza di scavo, della produzione oraria, dei fenomeni di risospensione e di rilascio dei contaminanti indotti.

Nelle successive tabelle, estratte dal manuale "Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments" redatto dal US Army Corps of Engineers nel settembre del 2008, vengono riportate le caratteristiche relative alla principali tecniche di scavo applicabili in campo ambientale.

**Tabella 3-7 Caratteristiche operative delle varie tecniche di dragaggio – US ACE 2008.**

Operational Characteristics <sup>(23)</sup>	Equipment Type <sup>(2)</sup>										
	Mechanical Dredges (2 to 8 m <sup>3</sup> buckets)			Hydraulic/Pneumatic Dredges (15 to 30 cm pump sizes)							Dry Excavation
	Conventional Clamshell (Wire) <sup>(6)</sup>	Enclosed Bucket (Wire) <sup>(6)</sup>	Articulated Bucket (Fixed-arm) <sup>(6)</sup>	Conventional Cutterhead <sup>(6)</sup>	Swinging Ladder Cutterhead	Horizontal Auger <sup>(7)</sup>	Plain Suction <sup>(8)</sup>	Pneumatic <sup>(9)</sup>	Specialty <sup>(10)</sup>	Diver <sup>(11)</sup>	Mechanical Excavators <sup>(12)</sup>
Operating Production Rate (m <sup>3</sup> /hr) <sup>(14)</sup>	50 (2 m <sup>3</sup> bucket) 95 (4 m <sup>3</sup> bucket) 145 (6 m <sup>3</sup> bucket) 190 (8 m <sup>3</sup> bucket)			70 (15 cm pump) 145 (20 cm pump) 200 (25 cm pump) 285 (30 cm pump)					Site-specific Equipment Specific	15	Site-specific
Percent Solids (by weight) <sup>(15)</sup>	90% in situ	80% in situ	80% in situ	10	10	10	10	15	Equipment Specific	<5	In situ
Vertical Operating Accuracy (cm) <sup>(16)</sup>	± 15	± 15	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 15	± 10	-	± 5
Horizontal Operating Accuracy (cm) <sup>(17)</sup>	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	-	± 5
Maximum Dredging Depth (m) <sup>(18)</sup>	NA	NA	15	15	15	5	15	45	15	30	Stability Limited
Minimum Dredging Depth (m) <sup>(19)</sup>	-	-	-	1	1	0.5	1	5	1	0.5	-
This table summarizes OPERATIONAL CHARACTERISTICS shown as quantitative entries, reflecting capabilities and limitations of equipment types for environmental dredging, and are solely a function of the equipment itself. The information in this table should be applied only after consideration of the details on the definitions of the various dredge types, operational characteristics, and the technical basis for the entries in this table as described in: Palermo, M. R., P. R. Schroeder, T. J. Estes, and N. R. Francingues. 2008. "Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments," Technical Report ERDC/EL TR-08-29, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. This information is intended to help project managers initially assess dredge capabilities, and screen and select equipment types for evaluation at the feasibility study stage or for pilot field testing. This table is NOT intended as a guide for final equipment selection for remedy implementation. There are many site-specific, sediment-specific, and project-specific circumstances that will dictate which equipment is most appropriate for any given situation, and each equipment type can be applied in different ways to adapt to site and sediment conditions. In addition, because new equipment is being continuously developed, project managers will need to consult with experts who are familiar with the latest technologies.											

**Tabella 3-8 Impatti ambientali indotti dalle varie tecniche di dragaggio – US ACE 2008.**

Equipment Selection Factors <sup>(24)</sup>	Equipment Type <sup>(2)</sup>										
	Mechanical Dredges (2 to 8 m <sup>3</sup> buckets)			Hydraulic / Pneumatic Dredges (15 to 30 cm pump sizes)							Dry Excavation
	Conventional Clamshell (Wire) <sup>(3)</sup>	Enclosed Bucket (Wire) <sup>(6)</sup>	Articulated Bucket (Fixed-arm) <sup>(6)</sup>	Conventional Cutterhead <sup>(6)</sup>	Swinging Ladder Cutterhead	Horizontal Auger <sup>(7)</sup>	Plain Suction <sup>(8)</sup>	Pneumatic <sup>(9)</sup>	Specialty <sup>(10)</sup>	Diver <sup>(11)</sup>	Mechanical Excavators <sup>(12)</sup>
Sediment Resuspension Control <sup>(14)</sup>	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Low to Medium	High	High	High	High	High
Contaminant Release Control <sup>(15)</sup>	Low	Low to Medium	Medium	Low to Medium	Low to Medium	Low	Medium to High	Medium to High	Medium to High	High	High
Residual Sediment/ Cleanup Levels <sup>(16)</sup>	Low	Low to Medium	Medium	Low	Low	Low	Medium to High	Medium to High	High	High	High
Transport by Pipeline <sup>(17)</sup>	Medium	Medium	Medium	High	High	High	High	High	High	High	Medium
Transport by Barge <sup>(18)</sup>	High	High	High	Low to Medium	Low to Medium	Low to Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	High

**Tabella 3-9 Applicabilità delle tecniche di dragaggi a vari contesti di intervento – US ACE 2008.**

Equipment Selection Factors <sup>(1)</sup>	Equipment Type <sup>(2)</sup>										
	Mechanical Dredges (2 to 5 m <sup>3</sup> buckets)			Hydraulic / Pneumatic Dredges (15 to 30 cm pump sizes)							Dry Excavation
	Conventional Clamshell (Wire) <sup>(3)</sup>	Enclosed Bucket (Wire) <sup>(4)</sup>	Articulated Bucket (Fixed-arm) <sup>(5)</sup>	Conventional Cutterhead <sup>(6)</sup>	Swinging Ladder Cutterhead	Horizontal Auger <sup>(7)</sup>	Plain Suction <sup>(8)</sup>	Pneumatic <sup>(9)</sup>	Specialty <sup>(10)</sup>	Diver <sup>(11)</sup>	Mechanical Excavators <sup>(12)</sup>
Positioning Control in Currents/Wind/Tides <sup>(13)</sup>	Medium	Medium	High	High	High	Medium	High	High	High	Medium	High
Maneuverability <sup>(14)</sup>	High	High	High	Low	High	Low	Low	High	Low	High	High
Portability/ Access <sup>(15)</sup>	High	High	High	High	High	High	High	High	Medium to High	High	High
Availability <sup>(16)</sup>	High	High	High	High	High	High	High	Medium	Medium	High	High
Debris/Loose Rock/Vegetation <sup>(17)</sup>	High	High	High	Low to Medium	Low to Medium	Low to Medium	Low to Medium	Low to Medium	Low	Low	High
Hardpan/ Rock Bottom <sup>(18)</sup>	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium to High	High	High
Sloping Bottom	Low	Low	Medium	Low	Medium to High	Low	Low to Medium	Low to Medium	Medium to High	High	High
Flexibility for Varying Conditions <sup>(19)</sup>	High	High	Medium	High	High	Low	Low	Low	Low	Low	High
Thin Lift / Residuals Removal <sup>(20)</sup>	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	High	High	High	High	High

This table summarizes SELECTION FACTORS shown as qualitative entries, reflecting the potential performance of a given dredge type, and are a function of both the capability of the equipment type and the site and/or sediment conditions. The information in this table should be applied only after consideration of the details on the definitions of the various dredge types, selection factors, and the technical basis for the entries in this table as described in: Palermo, M. R., P. R. Schroeder, T. J. Estes, and N. R. Franciques. 2008. "Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments," Technical Report ERDC/EL TR-08-29, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. This general information is intended to help project managers initially assess dredge capabilities, and screen and select equipment types for evaluation at the feasibility study stage or for pilot field testing. This table is NOT intended as a guide for final equipment selection for remedy implementation. There are many site-specific, sediment-specific, and project-specific circumstances that will dictate which equipment is most appropriate for any given situation, and each equipment type can be applied in different ways to adapt to site and sediment conditions. In addition, because new equipment is being continuously developed, project managers will need to consult with experts who are familiar with the latest technologies.

The qualitative entries of High, Medium or Low, are defined as follows:  
**High** - indicating the given dredge type is generally suitable or favorable for a given issue or concern,  
**Medium** - indicating the given dredge type addresses the issue or concern, but it may not be preferred, and  
**Low** - indicating the given dredge type may not be a suitable selection for addressing the issue or concern.

Le tecniche di scavo di tipo meccanico sono caratterizzate da un'accuratezza di 10÷15 cm e permettono di raggiungere elevate profondità di scavo. I fenomeni di risospensione dei sedimenti e rilascio dei contaminanti è medio-basso, così come la percentuale di contaminazione residua presente al termine dello scavo. Il trasporto dei sedimenti asportati avviene principalmente tramite bettolina. La manovrabilità dei mezzi e la loro idoneità a lavorare in diverse condizioni risulta medio alta. Lo scavo meccanico può essere inoltre condotto praticamente per qualsiasi tipologia di sedimento: sabbioso, argilloso, o in presenza di materiali litoidi. Quanto sopra esposto fa sì che la diffusione di tale tecnica di scavo sia ampiamente utilizzata in interventi di tipo ambientale.

Le tecniche di scavo di tipo idraulico sono da un'accuratezza di 10÷15 cm e permettono di raggiungere elevate profondità di scavo. La profondità massima di scavo raggiungibile è di 30÷40 m mentre per l'operatività risulta necessario almeno un battente d'acqua di 0,5÷1,0 m. Il fenomeno di risospensione dei sedimenti e rilascio dei contaminanti è di entità medio-basso, così come la percentuale di contaminazione residua presente al termine dello scavo. Il trasporto dei sedimenti asportati avviene principalmente tramite condotta idraulica. La manovrabilità dei mezzi e la loro idoneità a lavorare in diverse condizioni risulta medio alta. Lo scavo meccanico può essere inoltre condotto praticamente per qualsiasi tipologia di sedimento: sabbioso, argilloso, o in presenza di materiali litoidi. Quanto sopra esposto fa sì che la diffusione di tale tecnica di scavo sia ampiamente utilizzata in interventi di tipo ambientale.

La rassegna dei casi studio ha evidenziato che nella maggior parte degli interventi di grosse dimensioni vengono utilizzate diverse tecniche di scavo. Per i bassi fondali viene generalmente privilegiato l'utilizzo di mezzi meccanici, a volte anche di pontoni su cui è montato un escavatore meccanico. Nella rassegna sono stati considerati interventi di diverse dimensioni in modo da poter valutare tutte le tipologie di scavo. Le indicazioni emerse dall'analisi dei casi studio vengono di seguito riepilogate:

- per interventi di dragaggio di grosse dimensioni vengono generalmente utilizzati mezzi di scavo che garantiscono produzioni orarie elevate;
- per gli interventi marginali o su bassi fondali vengono utilizzati metodi di scavo di tipo meccanico;
- per alcuni casi specifici sono utilizzati mezzi di piccole dimensioni dotati di grande versatilità;
- per tutti i casi studio durante le attività di dragaggio sono stati condotti dei monitoraggi specifici per la verifica degli impatti ambientali e sono state adottate delle misure per il contenimento dei sedimenti in sospensione.

Lo studio condotto ha evidenziato che le tecniche di dragaggio utilizzate nell'ambito della Laguna di Venezia sono pressoché identiche a quelle utilizzate in altri ambiti internazionale. Si sottolinea comunque la prevalenza di utilizzo nell'ambito locale di mezzi di scavo di tipo meccanico.

Per il contenimento dei fenomeni di risospensione dei sedimenti durante il dragaggio vengono generalmente adottati sistemi di confinamento mobili, detti panne, che possono essere montati su pali oppure su galleggianti. Il confinamento avviene mediante l'utilizzo di teli in PVC o in tessuto gommato uniti tra loro e posizionati lungo il perimetro dell'area di intervento.

L'ancoraggio al fondo viene realizzato mediante appositi zavorramenti. Nella successiva figura si riporta lo schema tipico di un sistema di confinamento.



**Figura 3-14 Confinamento area di scavo con panne mobili.**



### **3.4 Campagne di monitoraggio degli effetti dei dragaggi eseguiti in area MAPVE**

Documento di riferimento:

*Magistrato alle acque – Thetis, 2012. OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1. Attività E: Monitoraggio ambientale degli effetti degli interventi di prima fase nell'area MAPVE-1. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.*

La rassegna bibliografica relativa alle diverse pratiche di dragaggio diffuse a livello nazionale e internazionale effettuata nell'ambito del progetto MAPVE, ha evidenziato che in tutti i casi di studio analizzati, durante le attività di dragaggio, vengono condotti dei monitoraggi specifici per la verifica degli impatti ambientali e vengono adottate delle misure per il contenimento dei sedimenti in sospensione.

Nell'ambito dello progetto "OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1" del Magistrato alle Acque, sono state eseguite specifiche campagne di monitoraggio, al fine di evidenziare la presenza di eventuali effetti sulla qualità delle acque lagunari a seguito degli interventi di dragaggio eseguiti nella cosiddetta area MAPVE1, compresa tra il canale Contorta S. Angelo e il Canale Vittorio Emanuele III, per l'asporto di hot spot di contaminazione.

Le attività hanno previsto l'esecuzione di una campagna *ante operam* e di 4 campagne in fase di esecuzione dei lavori di asporto dei sedimenti, nel corso delle quali, in funzione della progressione dei lavori, sono stati determinati la concentrazione dei solidi sospesi e la torbidità mediante sonda CTD e i parametri di qualità delle acque (contaminanti organici ed inorganici). Il monitoraggio è stato disegnato collocando i siti di campionamento ad una distanza di circa 50 m e 200 m dai vertici delle aree oggetto degli interventi (Figura 3-15). Inoltre al fine di paragonare le misure effettuate con una situazione indisturbata dai lavori è stato scelto un punto di controllo (stazione 18 nella mappa di Figura 3-15) posizionato su un bassofondo ubicato in prossimità all'area di cantiere, ma dalla stessa comunque non influenzato.

Per ciò che riguarda la torbidità, i risultati dei monitoraggi effettuati non hanno evidenziato effetti significativi derivanti dalle attività di dragaggio, grazie anche alle precauzioni utilizzate, quali l'uso di panne di contenimento. Infatti sono stati riscontrati valori simili di concentrazioni di solidi sospesi e di torbidità durante intervento (solidi sospesi variabili tra 2.26 e 28.9 mg/l), *ante operam* (solidi sospesi variabili tra 6.7 e 51.08 mg/l) e in corrispondenza della stazione di bianco (solidi sospesi variabili tra 7.0 e 21.6 mg/l).

I valori registrati, anche durante l'intervento, sono confrontabili con l'intervallo di variazione naturale in condizioni non perturbate della concentrazione dei solidi sospesi in ambienti di bassofondo lagunare, che è possibile stimare in 15 - 25 mg/l (MAG.ACQUE – Thetis, 2004; MAG.ACQUE – Thetis, 2006). In condizioni di forte perturbazione da vento (in particolare venti di bora) i valori di solidi sospesi e della torbidità tendono ad aumentare in modo significativo (MAG.ACQUE, 2010), con picchi variabili (in funzione dell'evento e delle condizioni locali) tra 100 e 300 mg/l.

Come nel caso dei solidi sospesi e della torbidità, anche i monitoraggi dei parametri di qualità delle acque sono stati condotti in condizioni *ante operam* e in corso d'opera, nonché in un punto di controllo distante dalle aree di intervento.

Per tutti i parametri indagati (tra i quali nutrienti, PCB, IPA, esaclorobenzene e principali metalli pesanti As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Cu, Zn), i monitoraggi non hanno evidenziato alcun effetto dovuto alle attività di asporto dei sedimenti. Solo saltuariamente qualche parametro ha mostrato un debole segnale apparentemente associabile alla presenza del cantiere, ma di entità assolutamente trascurabile.

Sulla base dei risultati dei monitoraggi, è stato quindi possibile concludere che le attività di dragaggio sedimenti effettuate, grazie anche alle precauzioni utilizzate per minimizzare gli impatti ambientali (uso di panne), hanno avuto un impatto nullo sulla qualità delle acque della zona di laguna circostante le aree interessate dai lavori.



Figura 3-15 Localizzazione dei punti di monitoraggio per la valutazione degli effetti dei dragaggi in area MAPVE.

## **4 Valutazioni preliminari di natura idraulica in merito allo scavo del Canale Contorta S. Angelo**

Tra settembre ed ottobre 2013, dietro specifica richiesta della Presidenza del Magistrato alle Acque, il Servizio Informativo ha provveduto ad eseguire una serie di analisi modellistiche a quantificazione degli effetti indotti dallo scavo del canale Contorta S. Angelo.

Come da progetto, la modellazione ha considerato per il nuovo canale una sezione trapezia con profondità massima alla quota -10.5 m e scarpa laterale 1/4.

Lo scenario proposto dall'Autorità Portuale prevede una cunetta di 120 m e la presenza di elementi morfologici (barene) laterali con funzioni di confinamento degli effetti erosivi.

L'analisi effettuata ha considerato inoltre 2 ipotesi aggiuntive, relative ad un canale non confinato con cunetta di 60 o di 120 m.

L'analisi degli impatti idraulici e morfologici attesi dall'apertura del canale è stata eseguita utilizzando il modello idrodinamico bidimensionale ai volumi finiti apprestato presso il Servizio Informativo del Magistrato alle Acque - Centro Previsioni e Modelli, attualmente operativo per la propagazione in laguna delle previsioni dei livelli di marea alle bocche di porto.

In particolare le aree delle bocche di porto vi sono state inserite tenendo conto dei più recenti rilievi bati-metrici (2010-2011) e della configurazione definitiva delle opere fisse realizzate nell'ambito del progetto MOSE, mentre la rimanente batimetria lagunare fa riferimento all'ultimo rilievo completo eseguito dal Magistrato alle Acque (2000).

La calibrazione ha potuto avvalersi inoltre di lunghe serie temporali di misure sinottiche delle portate transitanti alle bocche di porto e dei livelli di marea misurati in numerose stazioni distribuite su tutta la superficie della laguna nelle condizioni meteomarine le più diverse, garantendo così un elevato livello di affidabilità.

L'originale mesh di calcolo, costituita di elementi triangolari di dimensione variabile, più piccoli e fitti nei canali e più grandi sui bassi fondali, ciò che consente una dettagliata rappresentazione della morfologia lagunare e dei processi idrodinamici, è stata opportunamente infittita nell'area di bassi fondali dove è prevista l'apertura del nuovo canale, al fine di permetterne una più esatta rappresentazione modellistica ai fini di evidenziare le differenze con la situazione preesistente (Figura 4-1).

Per ognuno dei quattro scenari considerati (stato di fatto + 3 ipotesi progettuali) si è provveduto ad una simulazione dell'andamento di livelli e correnti della durata di 15 giorni, rappresentativa di un intero semiciclo di marea, dalla quadratura alla sizigie alla nuova quadratura, utilizzando come forzante la marea astronomica alla piattaforma CNR (Figura 4-2).

I risultati dell'analisi effettuata sono riassunti nel seguito.

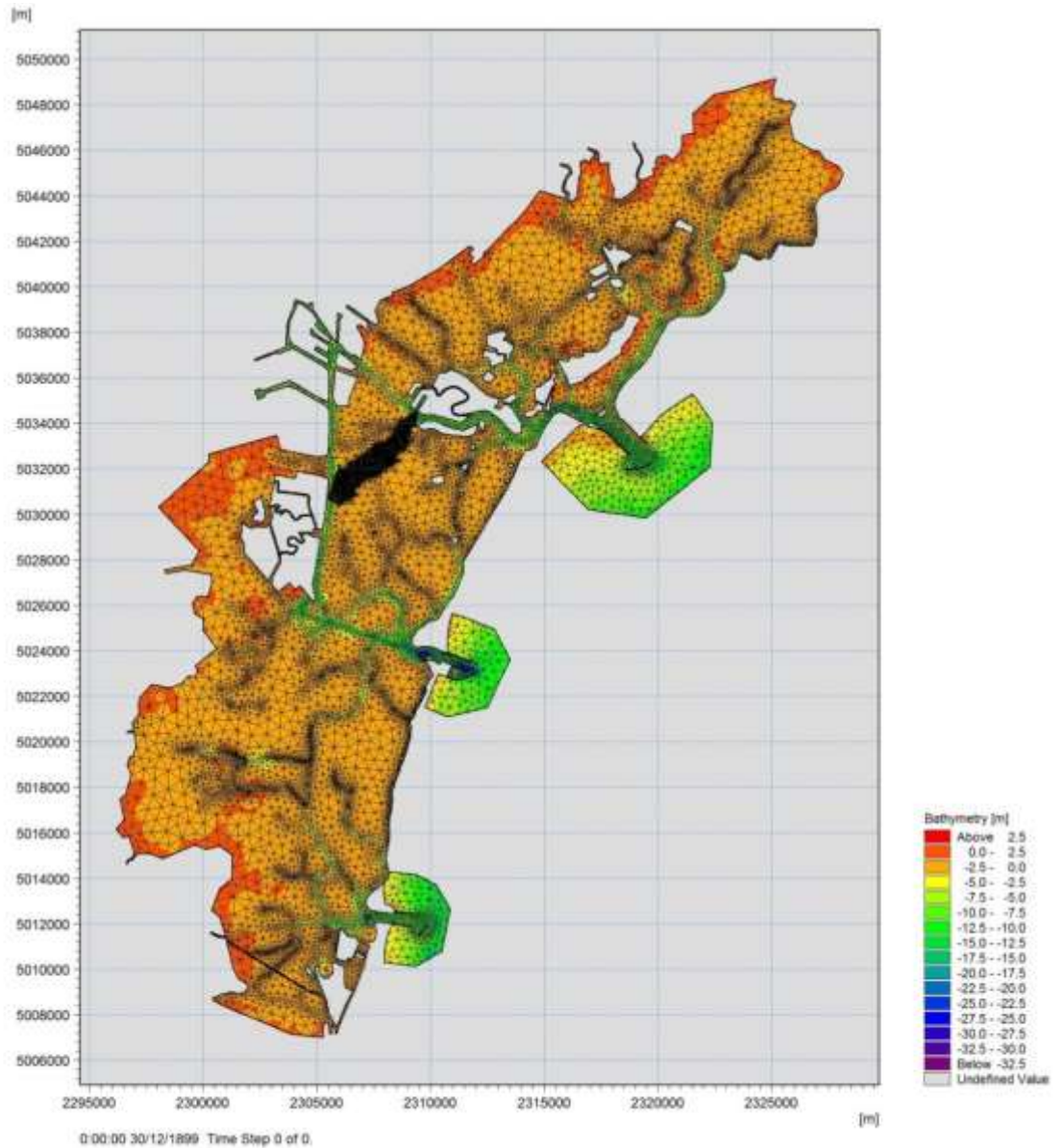
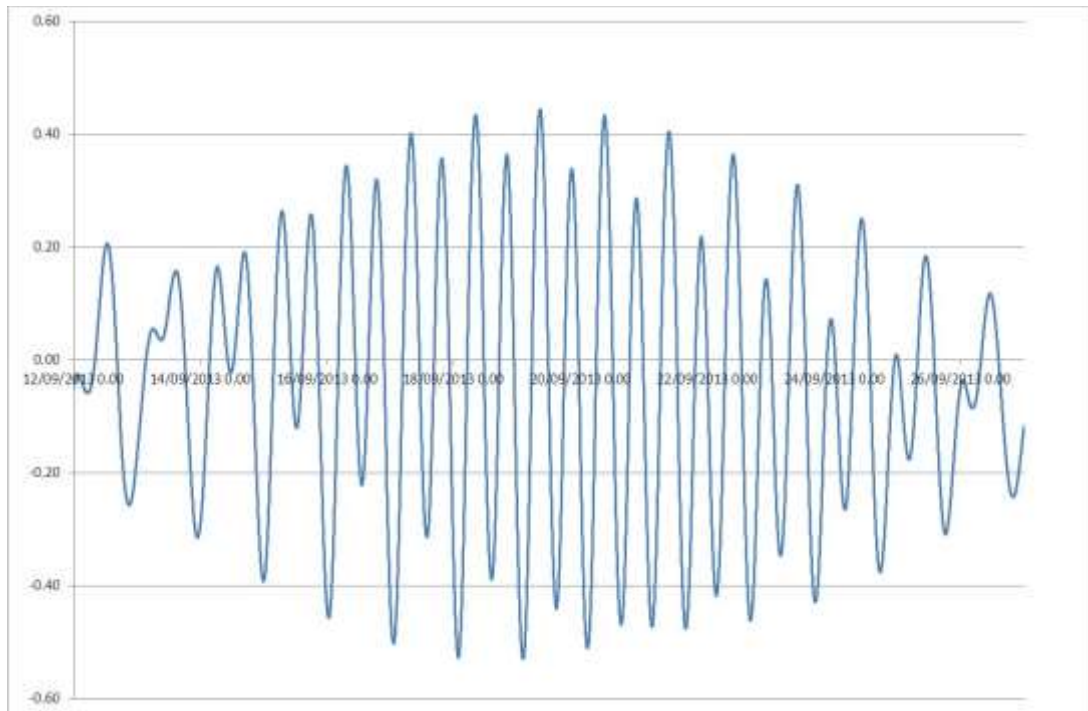


Figura 4-1 Mesh di calcolo utilizzata nelle simulazioni.



**Figura 4-2 Marea astronomica utilizzata nelle simulazioni.**

#### **4.1 Portate e volumi scambiati alle bocche di porto**

Utilizzando il modello idrodinamico è stato possibile confrontare tra loro le portate transitanti attraverso le bocche di porto lagunari ed i volumi scambiati tra mare e laguna nello stato di fatto e nelle tre diverse ipotesi progettuali.

Come evidenziato nelle tabelle riassuntive sotto riportate, lo scavo del canale Contorta S. Angelo non è in grado di provocare variazioni sensibili (>1%) dei flussi di marea scambiati alle bocche di porto rispetto allo stato di fatto, in nessuna delle tre configurazioni proposte.

<b>Volume medio scambiato durante una fase di marea uscente [m<sup>3</sup>]</b>				
	SDF	Cunetta 60	Cunetta 120	120 + barene
Bocca di Lido	5.9E+07	0.03%	0.05%	-0.10%
Bocca di Malamocco	6.6E+07	-0.02%	-0.03%	-0.49%
Bocca di Chioggia	3.9E+07	0.00%	0.01%	-0.12%
Tutte e 3 le bocche	1.6E+08	0.00%	0.00%	-0.27%

<b>Volume medio scambiato durante una fase di marea entrante [m<sup>3</sup>]</b>				
	SDF	Cunetta 60	Cunetta 120	120 + barene
Bocca di Lido	5.8E+07	0.01%	0.02%	-0.18%
Bocca di Malamocco	6.6E+07	0.00%	0.00%	-0.41%
Bocca di Chioggia	3.9E+07	0.00%	0.01%	-0.14%
Tutte e 3 le bocche	1.6E+08	0.00%	0.00%	-0.27%

Anche le portate massime transitanti alle bocche di porto subiscono variazioni massime dell'ordine dell'1-2 per mille.

Conseguentemente nessuna delle configurazioni in esame comporta variazioni di rilievo delle velocità massime di corrente in corrispondenza delle bocche di porto

## **4.2 Livelli di marea a Punta Salute**

Utilizzando il modello idrodinamico è stato possibile confrontare tra loro i massimi livelli di marea raggiunti a Punta della Salute durante i 15 giorni della simulazione, per lo stato di fatto e le diverse configurazioni di progetto.

I risultati modellistici evidenziano che lo scavo del canale Contorta S. Angelo non è in grado di provocare variazioni sensibili dei livelli massimi di marea nel centro storico: per i massimi gradienti di marea l'incremento massimo dei livelli di alta marea a Punta della Salute non supera 1 mm nella configurazione del canale più penalizzante (cunetta di 120 m e presenza di barene ai lati).

ora max	Gradiente [cm/h]	max [cm su l.m.m.]	dh 60 [cm]	dh 120 [cm]	dh barene [cm]
12/9/13 13.34	3.6	22	0.0	0.0	0.0
13/9/13 6.40	3.4	7	0.0	0.0	0.0
13/9/13 15.28	2.2	18	0.0	0.0	0.0
14/9/13 7.11	6.4	18	0.0	0.0	0.0
14/9/13 17.48	4.1	21	0.0	0.0	0.0
15/9/13 7.57	9.4	26	0.0	0.0	0.0
15/9/13 18.47	7.0	27	0.0	0.0	0.0
16/9/13 8.22	11.9	33	0.0	0.0	0.0
16/9/13 19.37	9.8	31	0.0	0.0	0.0
17/9/13 9.08	13.7	37	0.0	0.0	0.0
17/9/13 20.35	11.9	33	0.0	0.0	0.0
18/9/13 9.29	14.6	39	0.0	0.0	0.1
18/9/13 21.27	13.3	33	0.0	0.0	0.0
19/9/13 9.50	15.0	40	0.0	0.0	0.0
19/9/13 21.54	13.5	31	0.0	0.0	0.0
20/9/13 10.19	14.7	39	0.0	0.0	0.1
20/9/13 22.27	12.9	26	0.0	0.0	0.0
21/9/13 10.54	13.7	37	0.0	0.0	0.0
21/9/13 22.58	11.9	20	0.0	0.0	0.0
22/9/13 11.06	12.2	34	0.0	0.0	0.0
22/9/13 23.31	10.4	14	0.0	0.0	0.0
23/9/13 11.21	10.2	30	0.0	0.0	0.0
23/9/13 23.59	8.4	8	0.0	0.0	0.0
24/9/13 11.32	8.1	26	0.0	0.0	0.0
25/9/13 0.44	6.3	3	0.0	0.0	0.0
25/9/13 11.44	5.6	20	0.0	0.0	0.0
26/9/13 1.39	4.1	-2	0.0	0.0	0.0
26/9/13 5.05	3.0	-9	0.0	0.0	0.0

Anche le velocità massime della corrente all'ingresso del Canal Grande e all'imboccatura (lato bacino S. Marco) del Canale della Giudecca rimangono sostanzialmente immutate.

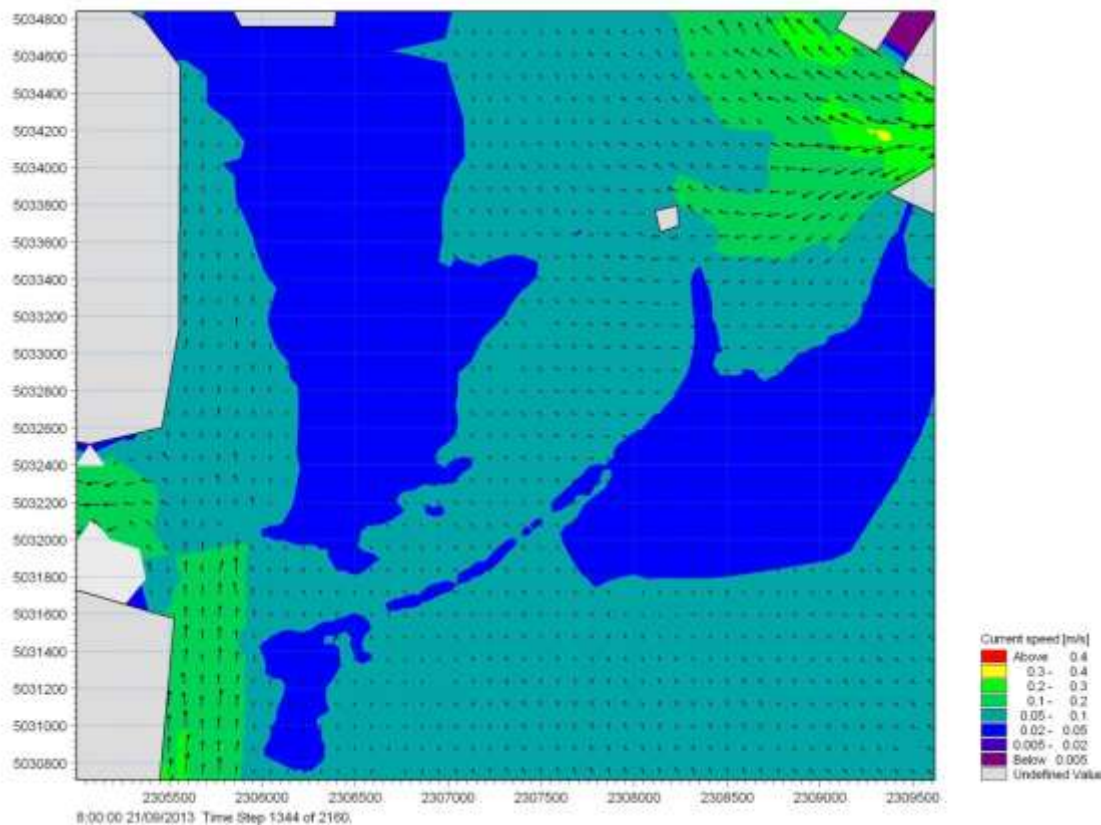
### 4.3 Campi di moto nelle aree lagunari prossime al canale

L'area di bassi fondali dov'è prevista l'apertura del nuovo canale è caratterizzata da una profondità dell'ordine di 150 cm e dalla prossimità al partiacque tra i bacini di Lido e di Malamocco.

La marea si propaga conseguentemente attraverso i bassi fondali con velocità massime assai contenute, inferiori ai 10 cm/s, e direzione grossomodo perpendicolare all'asse del nuovo canale (e di quello esistente).

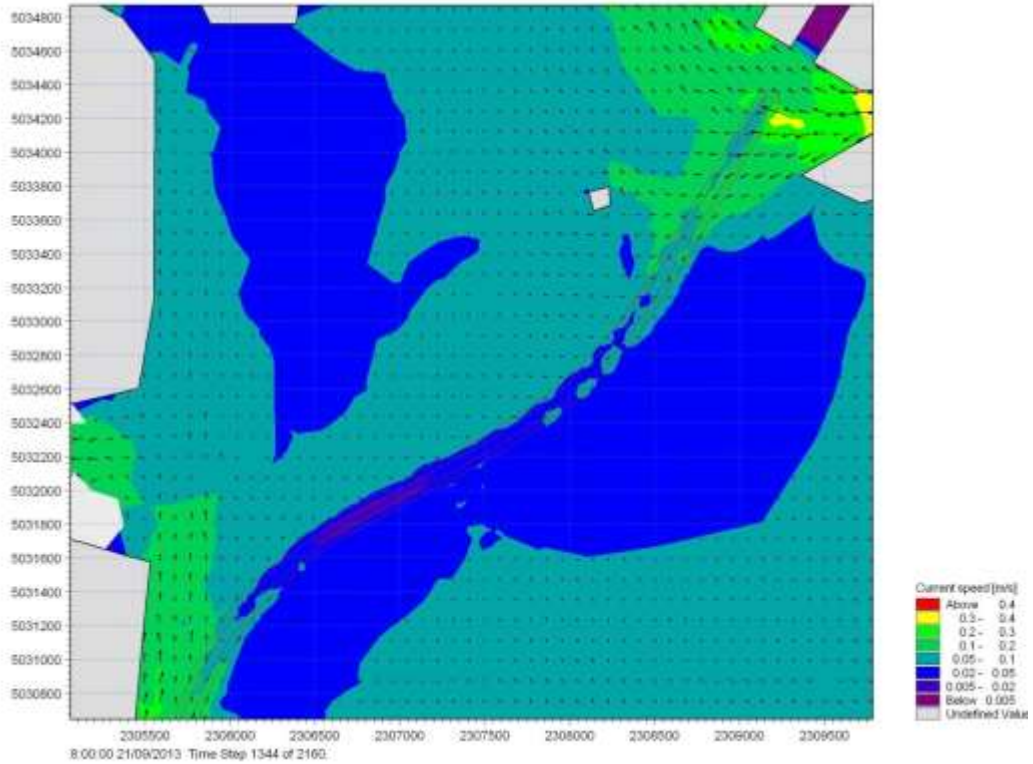
La realizzazione del nuovo canale non modifica in maniera significativa questo stato di cose, anche perché i livelli alle sue due estremità oscillano quasi in fase tra loro e pertanto le portate nel tratto centrale vi risultano assai ridotte.

Solo la configurazione di progetto con barene laterali è in grado di modificare leggermente i campi di moto, nel senso di un lieve decremento delle velocità di corrente sui bassi fondali prospicienti il tratto centrale del canale, a causa dell'ostacolo costituito dalle nuove strutture morfologiche, cui corrisponde per compensazione un altrettanto moderato incremento della corrente in prossimità degli estremi del nuovo canale (da Figura 4-3 a Figura 4-10).

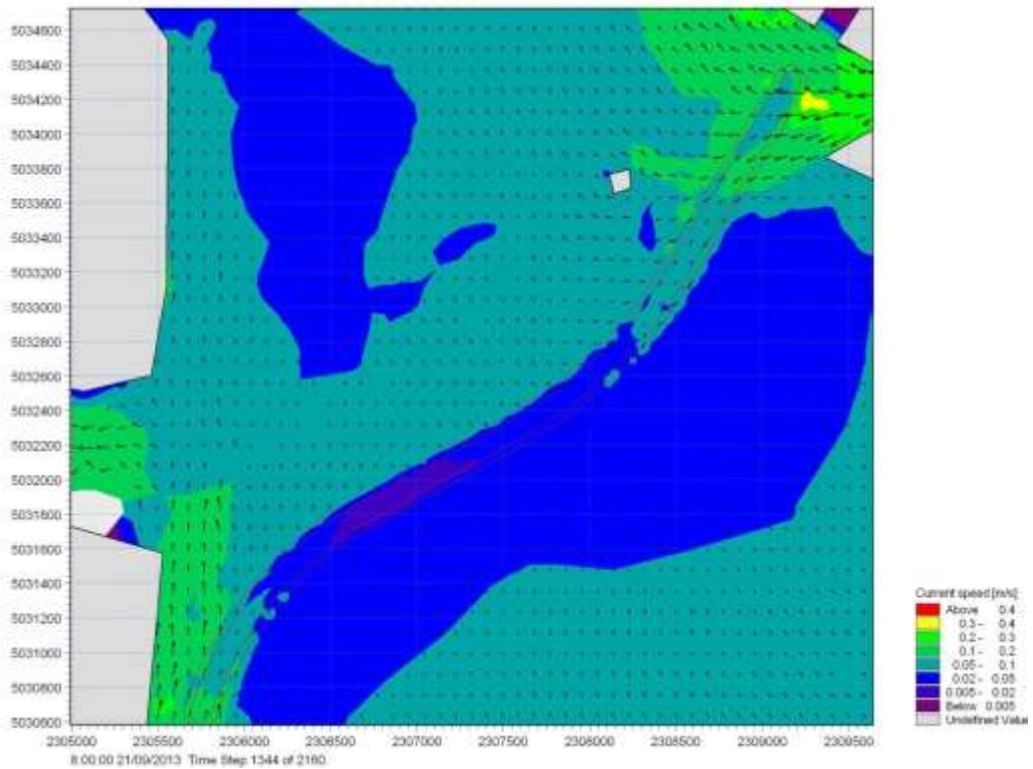


**Figura 4-3 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell'area di bassi fondali prossima al canale – Marea crescente. Stato di fatto.**

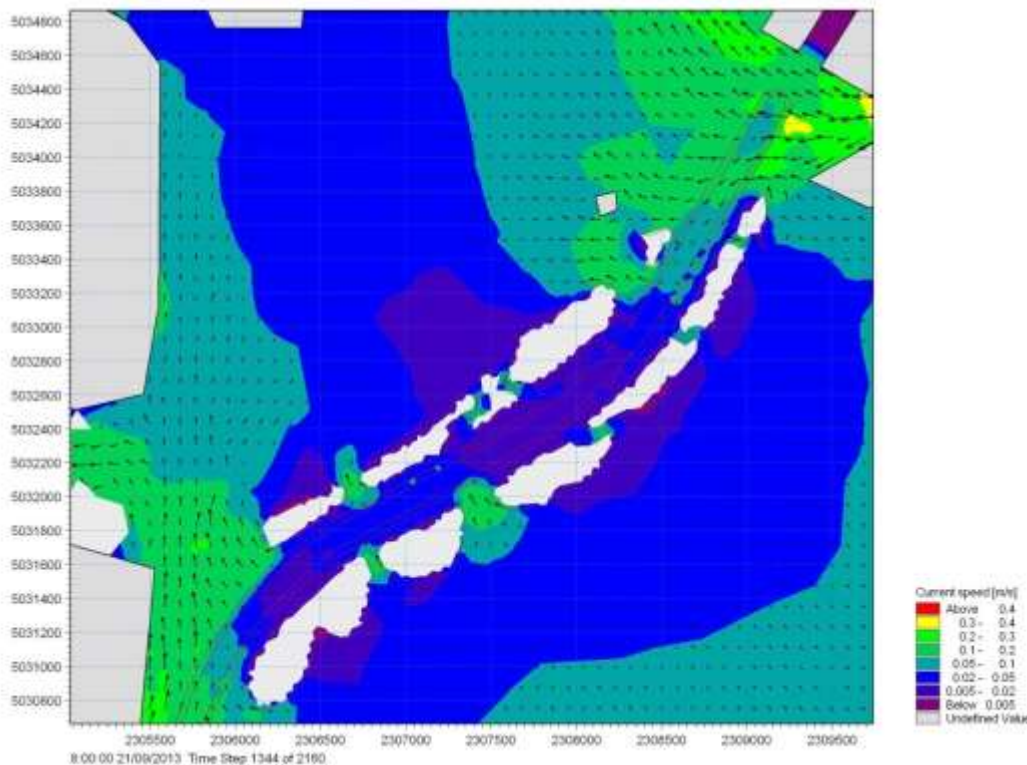




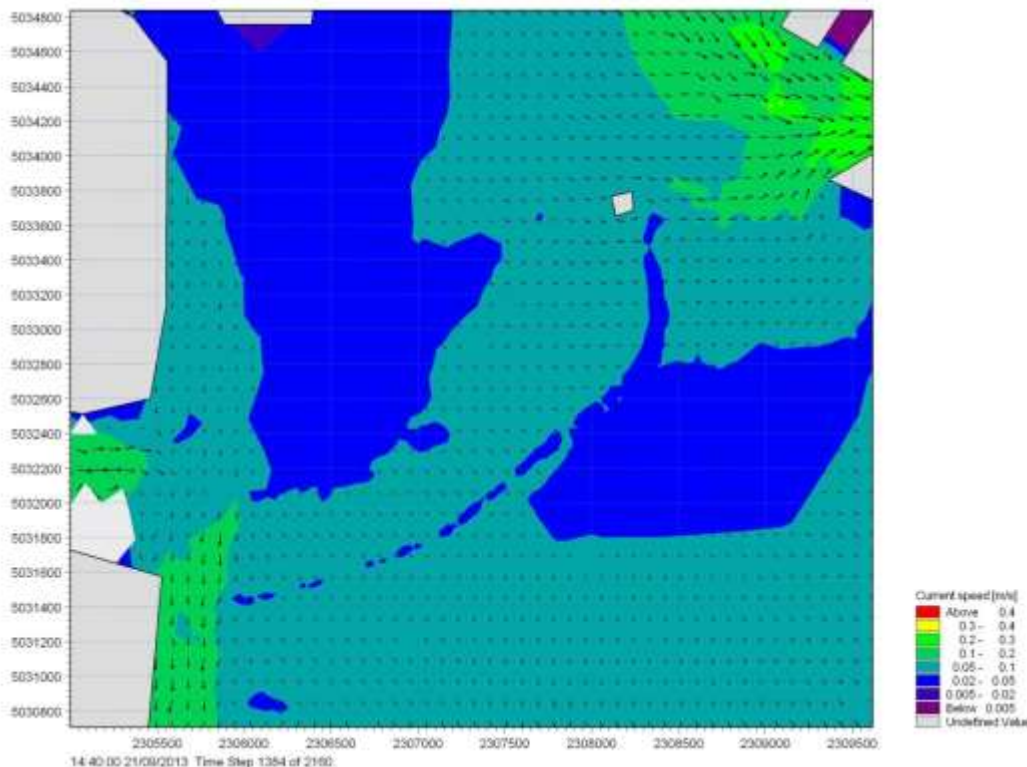
**Figura 4-4 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea crescente. Cunetta di 60 m.**



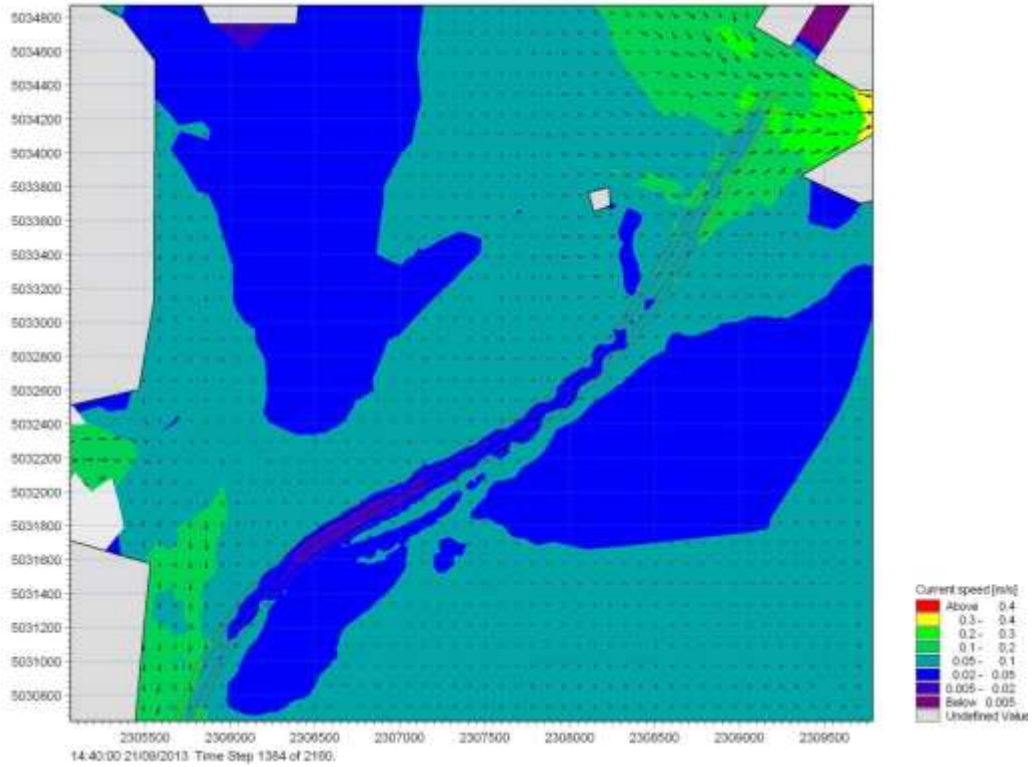
**Figura 4-5 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea crescente. Cunetta di 120 m.**



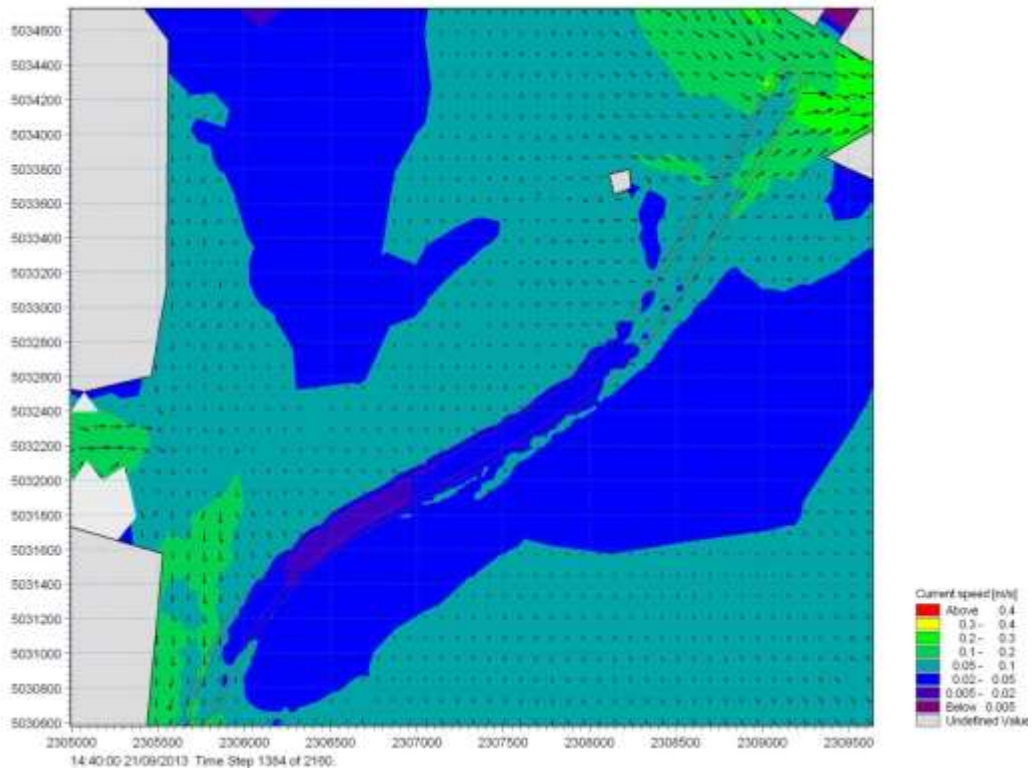
**Figura 4-6 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea crescente. Cunetta di 120 m e strutture morfologiche.**



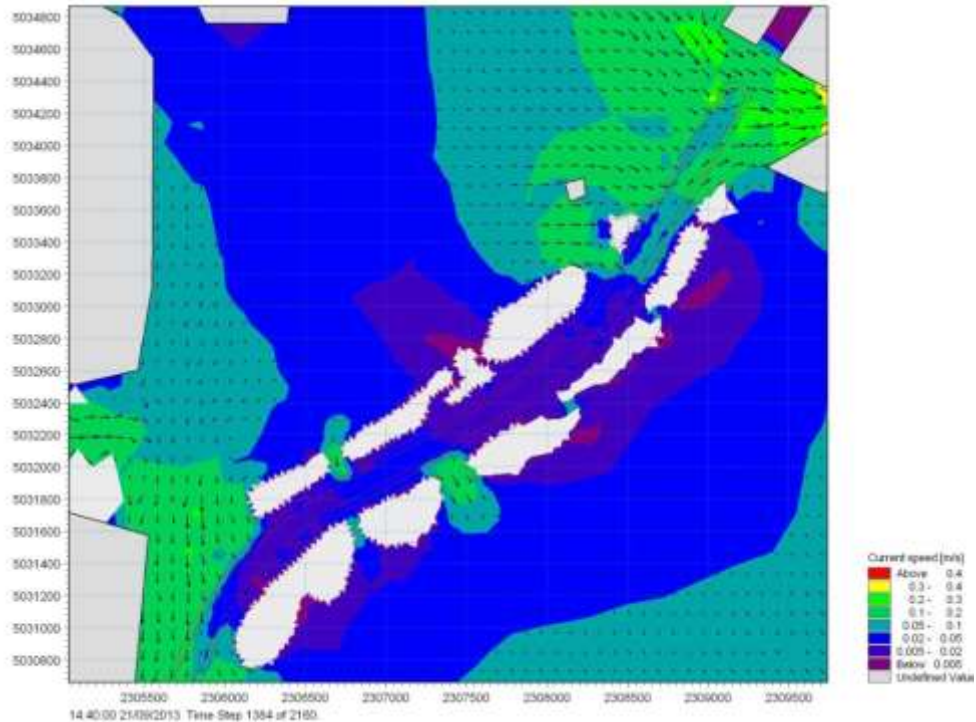
**Figura 4-7 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea calante. Stato di fatto.**



**Figura 4-8 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea calante. Cunetta di 60 m.**



**Figura 4-9 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea calante. Cunetta di 120 m.**



**Figura 4-10 Effetti locali – variazione dei campi di moto nell’area di bassi fondali prossima al canale – Marea calante. Cunetta di 120 m e strutture morfologiche.**

#### **4.4 Ricambio idrico nell’area tra Canale Contorta e Ponte della Libertà**

Nella configurazione di progetto (cunetta di 120 m e strutture morfologiche laterali) la riduzione dei volumi d’acqua complessivamente transitanti sui bassi fondali in direzione perpendicolare al nuovo canale, di per se stessa assai consistente (-41%), risulta nella sua quasi totalità compensata da un incremento dei volumi scambiati attraverso il canale dei Petroli (+20÷30%) e, in misura assai minore, attraverso il Canale della Giudecca (+4%).

Come risultato di ciò i volumi d’acqua che fluiscono verso e da l’area lagunare compresa tra il nuovo canale ed il Ponte della Libertà, di cui è nota la criticità in relazione al verificarsi di crisi anossiche durante i mesi estivi, risultano ridotti del 3÷4% (Tabella 4-1), effetto mitigabile dragando i varchi del ponte translagunare ora completamente ostruiti.

#### **4.5 Flussi tra Porto Marghera e aree di basso fondale prospicienti Venezia**

Nella configurazione di progetto (cunetta di 120 m e strutture morfologiche laterali) si assiste ad un incremento (+6%), delle portate e dei volumi scambiati tra l’area industriale di Porto Marghera ed i bassi fondali prospicienti l’isola del Tronchetto attraverso il canale Vittorio Emanuele III (+5%) ed il Canale delle Tresse (+10%), mentre nessuna variazione si riscontra per

quelli scambiati attraverso il Ponte della Libertà, comunque ostacolati dalla presenza del ponte e del basso fondale (Tabella 4-1).

**Tabella 4-1 Portate e volumi scambiati attraverso i principali canali ed aree di bassi fondali afferenti all'area confinata compresa tra il canale Contorta S. Angelo ed il Ponte della Libertà. Confronto tra stato di fatto e stato di progetto (cunetta 120 e strutture morfologiche laterali).**

	STATO DI FATTO							
	Q Petroli [mc/s] (confluenza Contorta)	Q Trasversale Contorta [mc/s]	Q Giudecca [mc/s]	Q Canal Grande [mc/s]	Q in/out area MAPVE (somma precedenti)	Q Ponte Libertà [mc/s]	Q VE III [mc/s] (strettoia isola serbatoi)	Q Tresse [mc/s]
Qmax flusso [mc/s]	329	329	1069	27	1683	404	69	7
90° perc. Q flusso [mc/s]	268	264	893	22	1429	329	54	5
90° perc. Q riflusso [mc/s]	207	373	824	19	1310	233	43	10
Q max riflusso [mc/s]	234	488	926	21	1444	258	50	14
V ciclo marea entrante [migliaia di mc]	98	120	341	9	559	129	20	1
V ciclo marea uscente [migliaia di mc]	86	146	304	8	536	104	16	4
	STATO DI PROGETTO: CUNETTA DI 120 m E STRUTTURE MORFOLOGICHE LATERALI							
	Q Petroli [mc/s] (confluenza Contorta)	Q Trasversale Contorta [mc/s]	Q Giudecca [mc/s]	Q Canal Grande [mc/s]	Q in/out area MAPVE (somma precedenti)	Q Ponte Libertà [mc/s]	Q VE III [mc/s] (strettoia isola serbatoi)	Q Tresse [mc/s]
Qmax flusso [mc/s]	375	213	1093	27	1623	403	78	8
90° perc. Q flusso [mc/s]	318	160	912	22	1380	329	57	5
90° perc. Q riflusso [mc/s]	265	236	849	19	1266	232	45	12
Q max riflusso [mc/s]	287	321	954	22	1397	257	55	16
V ciclo marea entrante [migliaia di mc]	120	70	350	9	541	129	21	1
V ciclo marea uscente [migliaia di mc]	115	86	316	8	517	103	17	4
	DIFFERENZA PERCENTUALE STATO DI PROGETTO - STATO DI FATTO							
	Canale Petroli (confluenza Contorta)	Flusso trasversale canale Contorta	Canale della Giudecca	Canal Grande	Verso/da area MAPVE (attraverso precedenti)	Attraverso il ponte della Libertà	Canale Vittorio Emanuele III (strettoia isola serbatoi)	Canale delle Tresse
Qmax flusso	14%	-35%	2%	1%	-4%	0%	13%	10%
90° perc. Q flusso	19%	-40%	2%	1%	-3%	0%	7%	12%
90° perc. Q riflusso	28%	-37%	3%	2%	-3%	0%	6%	15%
Q max riflusso	23%	-34%	3%	2%	-3%	-1%	8%	9%
V medioflusso	23%	-41%	3%	1%	-3%	0%	4%	8%
V medio riflusso	33%	-41%	4%	2%	-4%	-1%	6%	12%

#### **4.6 Diffusione di inquinanti dall'area industriale verso i bassi fondali antistanti ed il centro storico**

Al fine di meglio identificare gli areali interessati dalla dispersione di eventuali inquinanti presenti nelle acque dei canali industriali si è provveduto ad eseguire una serie di simulazioni ad hoc accoppiando al già menzionato modello idrodinamico un modulo lagrangiano di trasporto (particle tracking).

L'inquinante è stato schematizzato con una serie di particelle conservative emesse da sorgenti date in istanti noti, di cui si è tracciata la traiettoria seguita sotto l'influsso delle correnti di marea.

In particolare si sono considerate tre sorgenti distinte, collocate rispettivamente nel tratto terminale del canale Vittorio Emanuele III, nel canale delle Tresse e dietro l'isola omonima (Figura 4-11).

Da ciascuna di queste sorgenti è stata emessa una particella ogni 30 secondi per tutta la durata (6 ore) della fase di riflusso della marea di sizigia del 19 luglio 2013, seguendone quindi le traiettorie per le 176 ore seguenti, sino al termine del periodo di simulazione.

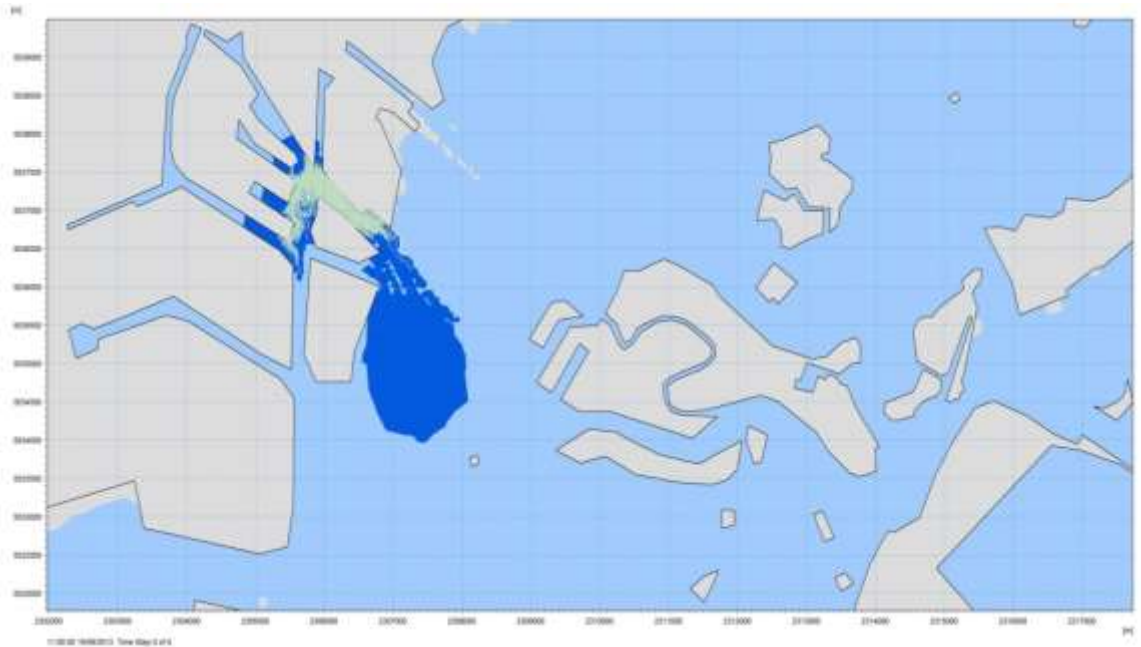


**Figura 4-11 Ubicazione delle sorgenti utilizzate per la modellazione.**

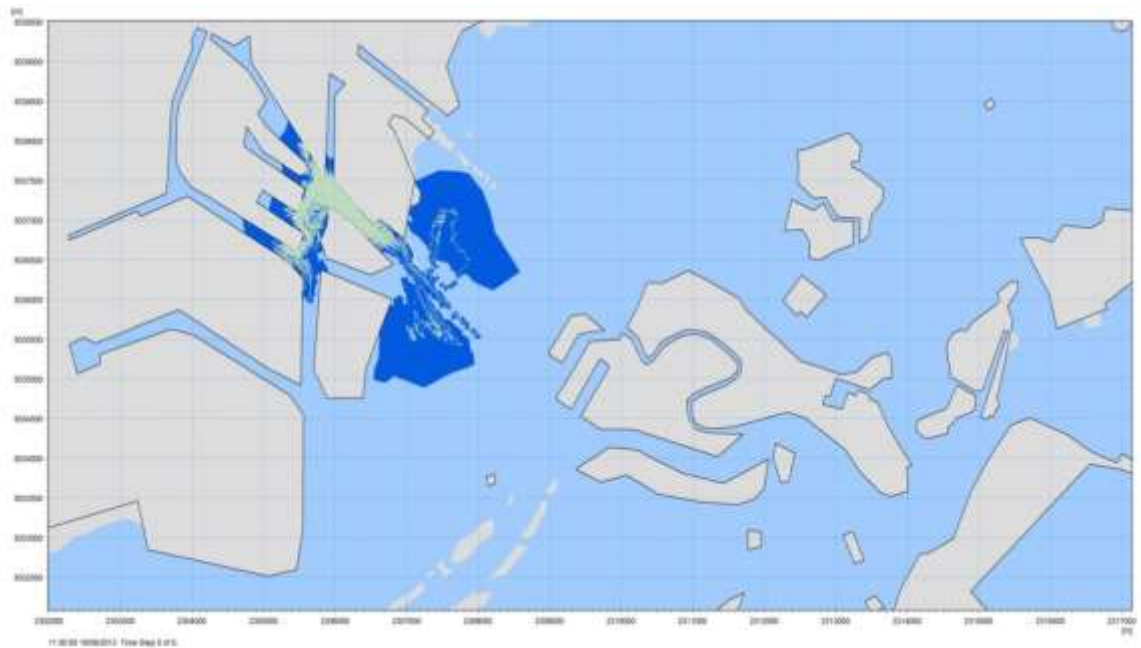
I risultati delle simulazioni eseguite, di valore prettamente indicativo, sono rappresentati nelle figure che seguono, che mostrano in blu scuro l'involuppo delle aree interessate dal transito di una o più particelle durante la simulazione.

Si riportano inoltre in verde le traiettorie di parte delle particelle (una particella ogni 10), utili a comprendere le modalità e le vie di propagazione seguite dal tracciante.

Il confronto tra lo stato di fatto e lo stato di progetto evidenzia l'effetto degli elementi morfologici realizzati a bordo canale, che riducono il riflusso della marea sui bassi fondali in direzione perpendicolare all'asse del medesimo.

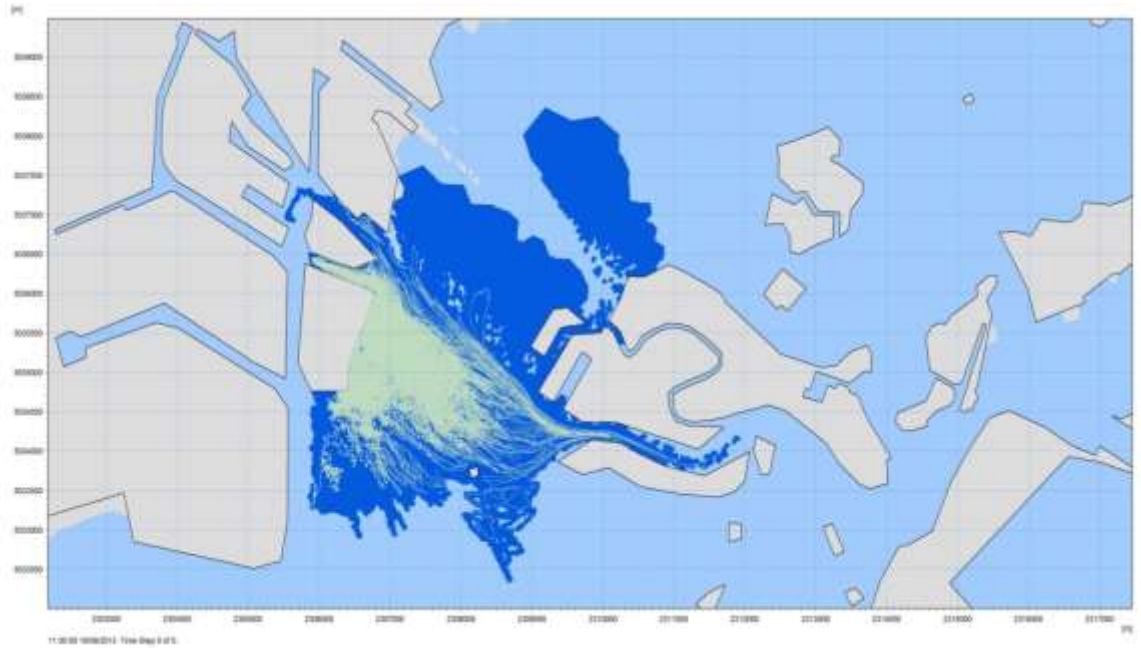


**Figura 4-12 Effetti locali – diffusione di inquinanti provenienti dal canale Vittorio Emanuele III. Stato di fatto.**

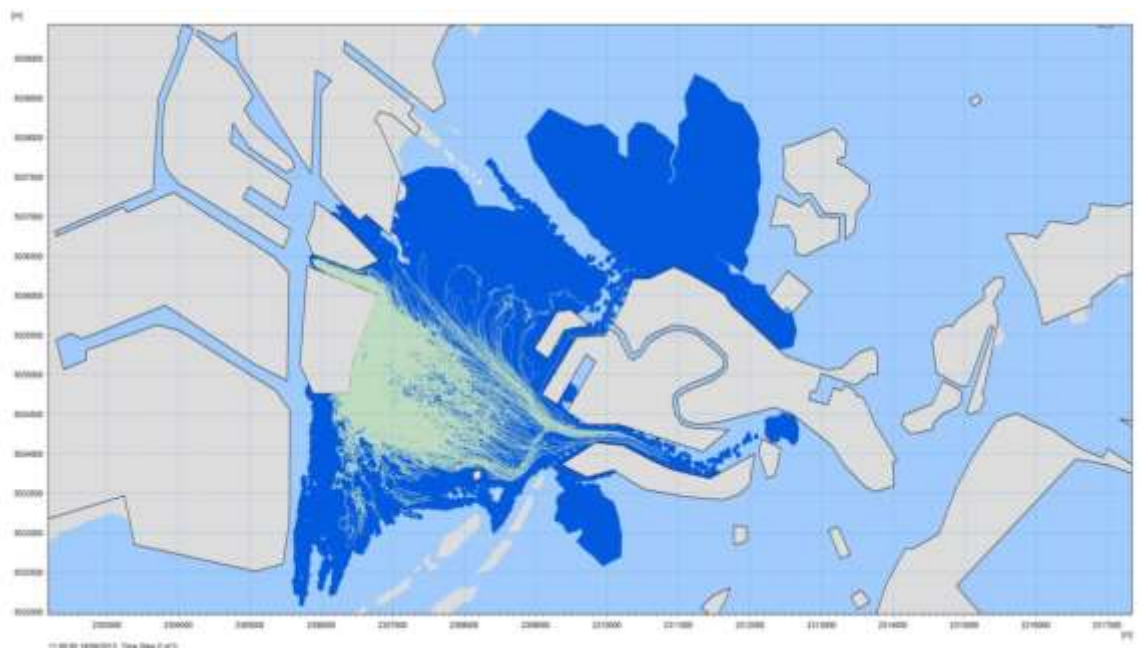


**Figura 4-13 Effetti locali – diffusione di inquinanti provenienti dal canale Vittorio Emanuele III. Stato di progetto.**

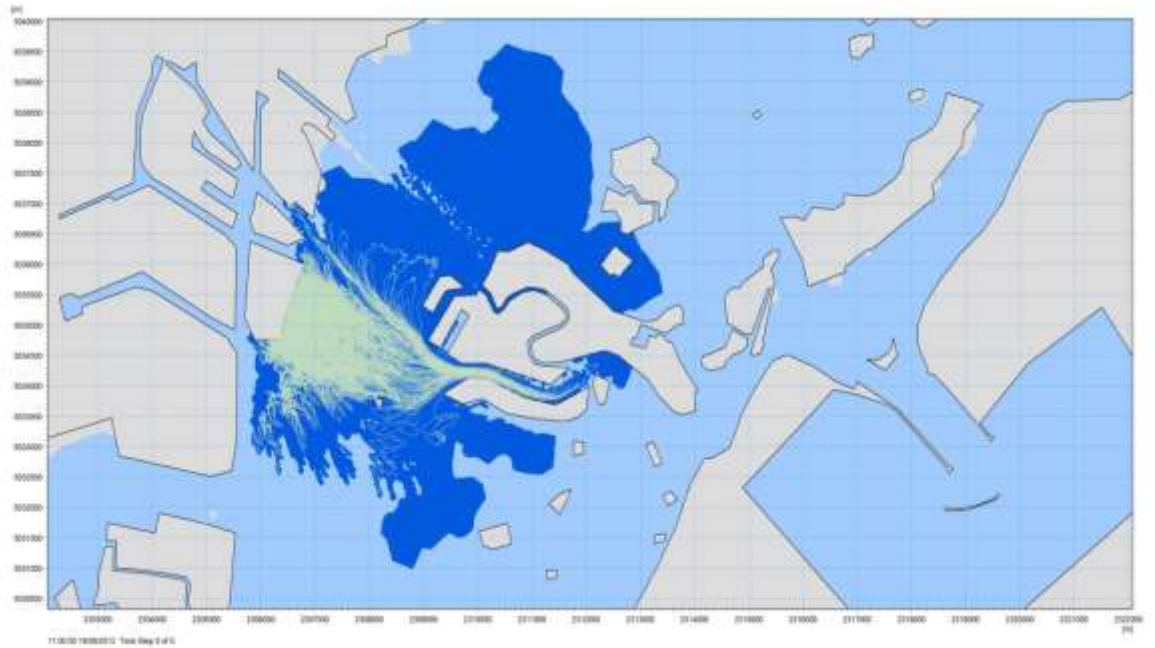




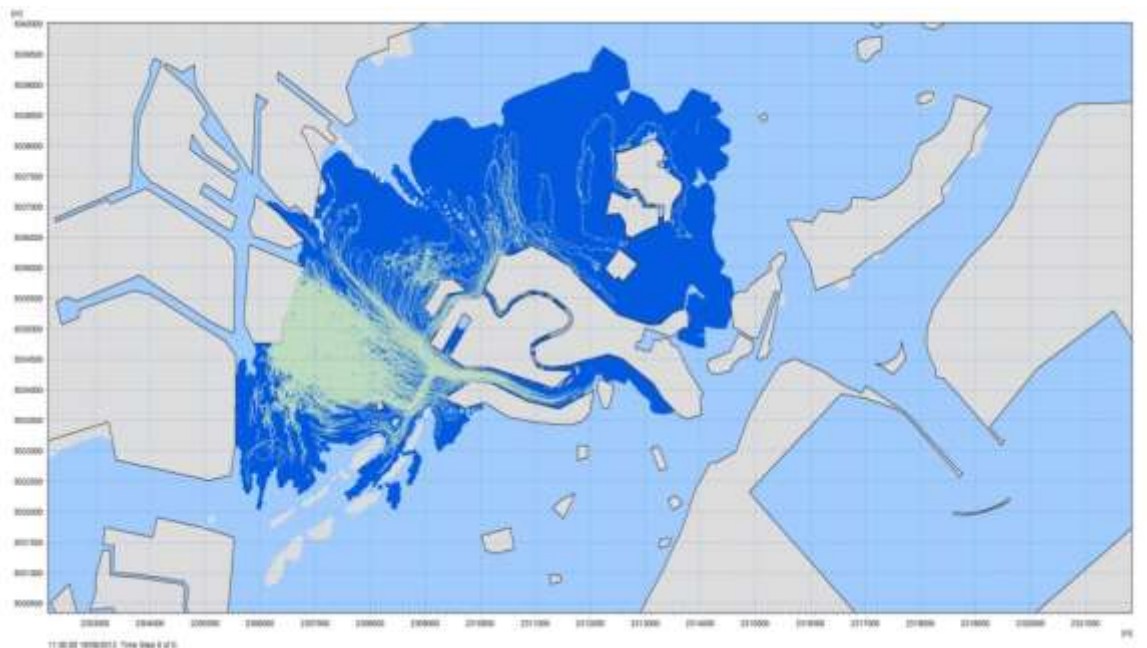
**Figura 4-14 Effetti locali – diffusione di inquinanti provenienti dal canale delle Tresse. Stato di fatto.**



**Figura 4-15 Effetti locali – diffusione di inquinanti provenienti dal canale delle Tresse. Stato di progetto.**



**Figura 4-16 Effetti locali – diffusione di inquinanti provenienti dai bassi fondali prospicienti l'isola delle Tresse. Stato di fatto.**



**Figura 4-17 Effetti locali – diffusione di inquinanti provenienti dai bassi fondali prospicienti l'isola delle Tresse. Stato di progetto.**

## 4.7 Velocità e fenomeni sedimentativi nel nuovo canale

Utilizzando il modello si sono calcolate le portate – e di qui le velocità medie della corrente lungo l’asse – in tre sezioni del nuovo canale: ad est, presso il raccordo con il Canale della Giudecca; al centro; ad ovest, in prossimità dello sbocco in canale dei Petroli.

Il 95° percentile della velocità media, cioè la velocità media che viene superata solo il 5% del tempo, non supera i 10 cm/s per nessuna configurazione di progetto su tutto il tratto occidentale e centrale del canale, mentre risulta compreso tra i 10 e i 20 cm/s nel tratto orientale del canale, che si collega al canale della Giudecca, caratterizzato da una velocità lievemente superiore (vedi tabella).

	95° perc. V [cm/s]		
	Ovest	Centro	Est
Cunetta 60 m	7.9	3.6	18.8
Cunetta 120 m	6.3	3.6	13.4
Cunetta 120 m e barene	3.4	3.5	12.0

Il canale si comporta da sistema sedimentatore, essendovi costantemente la velocità della corrente ampiamente inferiore al valore soglia al di sotto del quale si ha sedimentazione del materiale in sospensione in colonna d’acqua.

A tal proposito vale la pena di sottolineare come in presenza di forte vento di bora le correnti di marea calante e quelle generate dal vento convoglieranno nel nuovo canale i sedimenti risospesi dai bassi fondali costituendo un volume di sedimento costantemente da dragare.

## 4.8 Fenomeni erosivi sulle aree di basso fondale

Stante la profondità media di circa 150 cm dei bassi fondali situati a fianco del nuovo canale, il valore di soglia dello sforzo tangenziale critico al di sopra del quale ha inizio l’erosione (circa 0.5 Pa) viene raggiunto per velocità di corrente dell’ordine di 50 cm/s, che le simulazioni effettuate per la configurazione di progetto con cunetta di 120 m e strutture morfologiche laterali non evidenziano nemmeno negli istanti di massimo flusso/riflusso di sizigie.

Dunque non sono attesi fenomeni erosivi a bordo canale ad opera delle correnti di marea.

Le simulazioni effettuate dall’Autorità Portuale nell’ambito della redazione del Progetto Preliminare delle correnti indotte dal transito di una nave da crociera (larghezza 45 m, pescaggio 9 m, velocità 6 nodi), relative alla configurazione del canale con cunetta di 120 m e barene ai lati, evidenziano tuttavia la formazione di correnti superiori al valore soglia di 50 cm/s lungo i bordi del canale e tra le strutture morfologiche per effetto del transito della nave, specie per bassi livelli di marea. Il fenomeno risulta limitato all’area confinata tra le strutture morfologiche.

Per tali motivi sono da attendersi fenomeni erosivi anche sensibili limitatamente all’area confinata tra le strutture morfologiche, con sedimentazione del materiale nel nuovo canale; pertanto si raccomanda di sagomare le sponde non rivestite a quota inferiore ai - 3 m.

Le strutture morfologiche di confinamento dovranno essere inoltre progettate in maniera da resistere alle sollecitazioni ondose prodotte dal transito delle grandi navi (per esempio burghie in pietrame contenuto entro geogriglie da mantenere nel tempo).

In assenza di strutture morfologiche di contenimento sono invece da attendersi significativi fenomeni erosivi a carico dei bassi fondali che si estendono ai fianchi del nuovo canale, per effetto delle correnti e delle onde di superficie innescate dal transito delle navi, che le misurazioni effettuate dal CNR a fianco del Canale Malamocco-Marghera hanno evidenziato propagarsi sino a grande distanza, oltre i 500 m.

A tal proposito l'analisi dell'assetto batimetrico attuale dei bassi fondali che fiancheggiano il tratto meridionale del Canale Malamocco-Marghera, privo di strutture di confinamento del moto ondoso, rivela che dal 1969 ad oggi l'influenza erosiva di quel canale si è fatta sentire sino ad una distanza media di circa 280 m dall'asse canale.

## **5 Bibliografia**

### **5.1 Bibliografia del capitolo 2**

#### **5.1.1 Principali fonti derivanti da attività del Provveditorato**

MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2009. Studio C.2.10/IV - Aggiornamento del Piano Morfologico in base alle richieste dell'Ufficio di Piano. Attività D – Il sistema lagunare di riferimento. Rapporto finale D2 – Stato delle componenti naturali e biologiche. A cura di: Unità Operativa AMB. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – CORILA, 2014. Studio C.2.10/IV - Aggiornamento del Piano Morfologico in base alle richieste dell'Ufficio di Piano. Aggiornamento del piano per il recupero morfologico e ambientale della laguna di Venezia. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – CVN Servizio Ingegneria, 2005. Studio B.12.3/III - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. Erodibilità del fondale e fattori di disturbo . Rilievi dell'erodibilità. Rapporto finale.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – CVN - SI 2008. Studio C.2.10/IV Aggiornamento del piano morfologico in base alle richieste dell'ufficio di piano. Linea G. La valutazione tecnico-economica delle possibili opere di recupero ambientale. Sotto-attività G2 – Le modalità di intervento per mitigare le attuali cause del degrado; Sotto-attività G3 – Le modalità di intervento in grado di riattivare i dinamismi naturali e che aiutino a creare velme e barene. Rapporto finale. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – DSA UNIVE, 2007. Studio B.12.3/III - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. - Individuazione di indicatori di funzionalità ambientale. Rapporto Finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – DSA UNIVE, 2010. Studio B.12.3/V - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. - Individuazione di indicatori di funzionalità ambientale attraverso rilievi della fauna neotonica. III Rapporto intermedio. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – SELC, 2010. Studio B.12.3/V - La funzionalità dell'ambiente lagunare attraverso rilievi delle risorse alieutiche, dell'avifauna e dell'ittiofauna. – Rilievo dell'avifauna. Rapporto finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2003. Studio B.12.3/II. Valutazione degli effetti della pesca sulla morfologia lagunare. Monitoraggio degli effetti della pesca nelle aree in concessione - Rapporto finale.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2004. Studio C.2.5. Dati meteomarini per la gestione della Laguna di Venezia. Analisi delle interazioni tra condizioni climatiche e processi ambientali tipici della laguna di Venezia.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2006. Attività di monitoraggio ambientale della laguna di Venezia. Stato dell'ecosistema lagunare veneziano aggiornato al 2005, con proiezioni al 2025. DPSIR – 2005. Attività A. Evoluzione morfologica.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2011. Studio C1.10 “Valutazione dello stato degli habitat ricostruiti nell'ambito degli interventi di recupero morfologico”. Rapporto valutazione finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis e Studio Rinaldo, 2013. Strutture morfologiche per la protezione di basso fondali adiacenti il canale “S. Leonardo – Marghera”. Progetto esecutivo 1° stralcio 2^ fase Lotto attività di monitoraggio. Modello idrodinamico tridimensionale. Prodotto dal Concessionario Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis - SELC, 2015. OP 506/2. Monitoraggio degli interventi di ripristino morfologico ed ambientale dell'area del canale Bastia. “Monitoraggio delle strutture morfologiche a velma e della soffolta monitoraggio dello sviluppo delle comunità fitozoobentoniche incrostanti nella struttura soffolta. Rapporto intermedio 2° anno”.

### **5.1.2 Altre fonti**

Amos C.L. 2004. The stability of tidal flats in Venice Lagoon – the results of in situ measurements using two benthic, annular flumes. *Journal of Marine Systems*, 51 (2004), 211-241.)

Breiman L., 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32.

D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M., Bonometto A., Cecconi G., Rinaldo A., 2007b. Spontaneous tidal network formation within a constructed salt marsh: observations and morphodynamic modelling, *Geomorphology*, 91: 186-197.

Defina, A., L. Carniello, S. Fagherazzi, L. D'Alpaos, 2007. Self-organization of shallow basins in tidal flats and salt marshes, *J. Geophys. Res.*, 112, F03001, doi: 10.1029/2006JF000550.

Gelinas, M.; Bokuniewicz, H.; Rapaglia, J., and Lwiza, K.M.M., 2013. Sediment resuspension by ship wakes in the Venice Lagoon. *Journal of Coastal Research: Volume 29, Issue 1: 8-17.*

Marani, M. A. D'Alpaos, S. Lanzoni, L. Carniello and Andrea Rinaldo, 2007. Biologically-controlled multiple equilibria of tidal landforms and the fate of the Venice lagoon. *Geophys. Res. Lett.*, 34.

Rapaglia, J.; Zaggia, L.; Ricklefs, K.; Gelinas, M., and Bokuniewicz, H., 2011. Characteristics of ships' depression waves and associated sediment resuspension in Venice Lagoon, Italy. *Journal of Marine Systems*, 85, 45–56.

## **5.2 Bibliografia del capitolo 3**

### **5.2.1 Principali fonti derivanti da attività del Provveditorato**

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2003. Studio C.2.4 – Studio degli effetti della navigazione sulla morfologia lagunare. Stazione fissa. Rapporto finale.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2004. Studio C.2.2/VII - Attività per la taratura e la validazione del modello idrodinamico e morfologico della Laguna di Venezia. Stazioni fisse – Rapporto tecnico finale. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2005. Studio B.6.78/I – Attività di monitoraggio alle bocche di porto - controllo delle comunità biologiche lagunari e marine. Stazioni fisse. Rapporto finale.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2006. Stato dell'ecosistema lagunare veneziano. DPSIR 2005. Dinamica dei sedimenti e rischio per la salute umana e per l'ecosistema lagunare. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2012. OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1. Attività F: Valutazione dei risultati dell'applicazione delle diverse tecnologie per la rimozione degli hot spot. Analisi di Benchmarking. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2012. OP/464 – Determinazione delle caratteristiche delle matrici lagunari nelle aree MAPVE 2 ed ulteriori approfondimenti nell'area MAPVE 1. Attività E: Monitoraggio ambientale degli effetti degli interventi di prima fase nell'area MAPVE-1. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

MAGISTRATO ALLE ACQUE – Thetis, 2013. Risultati dei monitoraggi condotti dal MAV nel 2011 e 2012 e aggiornamento della classificazione di stato chimico – novembre 2013. Documento prodotto nell'ambito dei lavori del Tavolo Tecnico “Monitoraggio dei corpi idrici della laguna di Venezia” istituito ai sensi del “Piano di Gestione del distretto idrografico delle Alpi orientali – Sub-unità idrografica della laguna di Venezia, del suo bacino scolante e delle acque marino-costiere”.

MAGISTRATO ALLE ACQUE, 2010. La rete di monitoraggio SAMANET della qualità delle acque della Laguna di Venezia. Anno 2010. Ufficio Tecnico Antinquinamento.

### **5.2.2 Altre fonti**

AA.VV., 2010. Piano di Gestione del distretto idrografico delle Alpi orientali – Sub-unità idrografica della laguna di Venezia, del suo bacino scolante e delle acque marino-costiere (2010).

Pellegrini et al. 2002 - Aspetti tecnico–scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi portuali, Quaderno ICRAM n. 1 – Maggio 2002.

Regione del Veneto. Deliberazione della Giunta regionale n. 140 del 20 febbraio 2014. Classificazione dei corpi idrici della Laguna di Venezia, ai sensi della Direttiva 2000/60/CE, del D. Lgs n. 152/2006 e del D.M. 260/2010, in base ai risultati delle campagne di monitoraggio ambientale avviate nel triennio 2010/2012.

US Army Corps of Engineers, 2008. “Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments”.