

**ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI SCIENZE - CAMPUS DI RAVENNA**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN BIOLOGIA MARINA**

**Mappatura degli habitat e degli oggetti  
antropici della laguna di Venezia**

**Tesi di laurea in Habitat Marini: Struttura, Processi E Mapping**

**Relatore**

Dott.ssa Federica Foglini

**Correlatore**

Dott.ssa Fantina Madricardo

**Presentata da**

Sabrina Stellino

**II sessione**

**Anno accademico 2014/2015**

## Indice

Obiettivi dello studio .....	3
1. Introduzione .....	4
1.1 Le lagune costiere .....	6
1.2 La laguna di Venezia .....	10
1.2.1 Zoocenosi della laguna di Venezia .....	13
1.3 Area di studio.....	17
2. Materiali e Metodi.....	18
2.1 <i>Multibeam Echo Sounder</i> .....	19
2.1.2 <i>Multibeam Dataset</i> .....	20
2.2 Segmentazione del <i>backscatter</i> .....	22
2.2.1 Classificazione <i>unsupervised: Jenks natural breaks</i> .....	24
2.3 <i>Ground-Truth</i> .....	24
2.3.1 <i>Ground-Truth Dataset</i> .....	25
2.4 Analisi del sedimento .....	27
2.4.1 Analisi LISST .....	30
2.4.2 Elaborazione dati granulometrici.....	30
2.5 Il <i>Geodatabase</i> : descrizione ed organizzazione dati .....	31
3. Risultati .....	35
3.1 Mappa delle unità morfologiche e delle unità fisiografiche del canale San Felice .....	35
3.2 Mappa degli oggetti antropici rinvenuti nel canale San Felice .....	38
3.3 <i>Mappa del substrato</i> .....	40
3.3.1 Classificazione del substrato .....	40
3.3.2 Classificazione <i>backscatter</i> .....	41
3.3.3 Caratteristiche del substrato.....	44
3.4 Mappa della componente biologica .....	46
3.4.1 Caratteristiche biologiche .....	46
3.4.2 <i>Ground-truth</i> .....	46
3.5 Mappa degli habitat .....	53
3.5.1 Classificazione habitat.....	53
4. Discussioni .....	58
<i>Conclusioni</i> .....	63
<i>Bibliografia</i> .....	64
<i>Allegati</i> .....	74

## Obiettivi dello studio

Questo studio è finalizzato a mappare gli habitat bentonici di un canale della laguna di Venezia (Canale San Felice) integrando gli elementi fisiografici, morfologici, sedimentologici e biologici. Questo lavoro contribuisce ad ampliare significativamente lo specchio di conoscenze di questi particolari ambienti di transizione attualmente scarsamente conosciuti e di fornire uno strumento per la gestione sostenibile della laguna.

Gli obiettivi di questa tesi sono:

- Mappare e classificare gli elementi morfologici del canale di San Felice sulla base dei dati batimetrici acquisiti tramite ecoscandaglio multi fascio (*MultiBeam Echo sounder* -MBES);
- Investigare i tipi di substrato presenti nell'area di studio analizzando il dato di riflettività del fondo restituito dal MBES;
- Verificare la corrispondenza tra il dato di riflettività rilevato e la tipologia di substrato reale attraverso il confronto con campioni di sedimento e di immagini del fondale
- Caratterizzare e classificare gli habitat bentonici del canale di San Felice. Produrre una mappa degli habitat del Canale integrando gli elementi morfologici, di substrato e la componente biologica del fondale.

# 1. Introduzione

La nostra conoscenza dell'estensione, della zona geografica e del funzionamento ecologico degli habitat bentonici è ancora estremamente scarsa a causa di limitazioni poste dai tradizionali metodi di indagine dei fondali marini. Si stima che solo il 5 -10% del fondo marino è mappato con una risoluzione tale da essere comparata a studi analoghi sulla terra ferma (Wright & Heyman, 2008). Di conseguenza, è difficile gestire in modo efficace le risorse, proteggere le aree ecologicamente importanti e impostare normative per tutelare gli oceani (Brown *et al.*, 2011).

Per mappare gli habitat bentonici (*Benthic Habitat Mapping-BHM*) è necessario ricorrere a tecniche multiple di analisi. Il *BHM* è una branca recente delle scienze marine, con connotazioni multidisciplinari di geologia, biologia ed ecologia (MESH, 2008) e grazie al *BHM* si possono coniugare dati acustici continui (*remote sensing*), con informazioni ottenute *in situ* (*ground-truth*) dall'osservazione e dal campionamento del fondale (Brown *et al.*, 2011).

La riproduzione di mappe del fondale marino risale ai primi tentativi di mappature di navigazione del XIII secolo, quando i mercanti provavano a disegnare le prime mappe del Mar Mediterraneo (Blake, 2004); invece le prime indagini geologiche e biologiche del fondale marino risalgono all'inizio del XIX secolo, con i primi sforzi basati su campioni prelevati dal fondale marino mediante draghe primitive (Elefteriou & McIntyre, 2005).

Dalla letteratura emerge chiaramente che non esiste una definizione universale di "mappatura dell'ambiente bentonico". Una delle ragioni potrebbe essere l'ampia varietà di strumentazioni e tecniche di campionamento che si sono sviluppate per la caratterizzazione del fondale marino (Kenny *et al.*, 2003; Solan *et al.*, 2003).

Tutti i metodi visivi (subacqueo, video, foto) e meccanici (bennate, carotaggi), in quanto puntuali, richiedono molto tempo ed energia, sono dispendiosi e non adatti al rilievo di aree molto grandi. I metodi acustici (*SingleBeam*, *Side-scan sonar* e soprattutto *MBES*), invece, possono coprire grandi aree rapidamente (Brown *et al.*, 2011).

Nell'ultimo decennio il progresso delle tecniche di campionamento acustico marino e, in particolare, le tecniche di *remote sensing* acustico, hanno aperto nuove frontiere nel campo della mappatura delle morfologie di fondo, dei substrati e degli habitat (Brown *et al.*, 2011). Ma, nonostante questi metodi siano stati ampiamente utilizzati in acque costiere o profonde (più di 10m) (Brown & Blondel, 2009; Micallef *et al.*, 2012), solo recentemente sono state

applicate in ambienti tidali estremamente poco profondi. Tali ambienti infatti e le loro difficili condizioni presentano delle limitazioni per queste tecnologie (Madricardo *et al.*, 2011). Per questa ragione, la mappatura del substrato utilizzando dati di intensità acustica riflessa (*backscatter*) dal fondale e della colonna d'acqua è relativamente nuova in ambienti estremamente poco profondi, dove metodi acustici sono stati raramente usati (Stolt *et al.*, 2011).

Usando queste tecniche, e combinando questo approccio con campionamenti convenzionali *in situ* è ora possibile definire le caratteristiche geologiche e biologiche del fondale marino e ottenerne immagini accurate.

La produzione di mappe del fondo marino e di habitat interessa molte discipline come biologia marina, ecologia, geologia, idrografia, oceanografia e geofisica, e combinando i set di dati ricavati da ogni disciplina è possibile produrre rappresentazioni spaziali semplificate del fondale e della distribuzione della parte biotica (Brown *et al.*, 2011).

È importante ricordare che la mappa di un habitat è una rappresentazione di una stima della distribuzione degli habitat in un'area in quel tempo utilizzando al meglio le conoscenze che si hanno a disposizione. Più precisamente, è il tracciato della distribuzione ed estensione degli habitat dell'intero fondale mappato con l'identificazione dei confini di separazione tra habitat adiacenti. Questo è possibile interpretando dati fisici, spesso derivanti da telerilevamento, utilizzando le informazioni biologiche ottenute con campionamento diretto e osservazione dei fondali (MESH, 2008) e derivando un modello inferenziale descrittivo, in questo caso tramite la piattaforma ArcGIS che permette un'efficace rappresentazione spaziale dei dati ambientali. Nel regno terrestre l'habitat è spesso definito in base al tipo di vegetazione e alle strutture umane (Forman, 1995; Zajac, 2008) che forniscono alla fauna associata l'ambiente fisico e la struttura tridimensionale; al contrario, gli habitat marini tendono ad essere definiti in base alle caratteristiche geomorfologiche e ai parametri idrografici (Zajac, 2008), rendendone molto più difficile la mappatura (Brown & Blondel, 2009).

Nella comunità scientifica ci sono diverse definizioni di habitat. Originariamente si definiva habitat il luogo in cui vivono organismi animali e vegetali (Begon *et al.*, 1996; MESH, 2008). I due principali approcci per definire il termine sono: 1) in termini prevalentemente abiotici, le caratteristiche fisiche e chimiche del substrato e dell'ambiente che lo circonda come la colonna d'acqua (talvolta tale definizione include i substrati biogenici). 2) l'ambiente fisico comprensivo della comunità che vi insiste e/o lo caratterizza; tale definizione è in parte

sovrapponibile a concetti quali comunità e biocenosi (MESH, 2008). In termini operativi, per la descrizione degli habitat devono essere imposti dei confini, che nella realtà non esistono. Negli ultimi anni si è capito che tale suddivisione in *patch* discrete può non essere conveniente (Gordon *et al.*, 2014), e per capire la distribuzione degli organismi è necessario considerare il gradiente di variazione delle condizioni ambientali.

Pertanto, Brown *et al.* (2011) definiscono in termini operativi il *BHM* come “uso di dati spaziali continui per rappresentare e predire i pattern biologici del fondale”.

La definizione di habitat negli studi di mappatura dei fondali, si focalizza più sul concetto di “*pattern on the seafloor*”, ovvero pattern osservati sul fondale tramite strumenti propri dell’oceanografia come rilievi acustici, riprese ROV (*Remotely Operated Vehicle*) e benne di sedimento (MESH, 2008).

Lo scopo di questo lavoro è la mappatura e quindi la descrizione del fondale lagunare in termini di habitat sia dal punto di vista abiotico (morfologia, composizione tessiturale, ecc.), sia sotto un profilo biotico (organismi presenti, comunità, etc.).

La conoscenza della tipologia di substrato e delle comunità presenti in questi fondali permette la descrizione degli habitat che potrebbe essere un ottimo inizio per studi successivi mirati a eventuali azioni di tutela e salvaguardia di un ambiente così delicato.

## **1.1 Le lagune costiere**

Nel corso degli anni, sono state proposte diverse definizioni di laguna costiera, ma la definizione più accettata finora è quella proposta da Kjerfve (1989, 1994) che definisce le lagune costiere come: “corpi d’acqua poco profondi, formati a seguito dell’innalzamento del livello del mare durante l’Olocene, vicini alla costa e disposti parallelamente ad essa, separati dall’oceano da una barriera, ma connessi all’oceano da una o più bocche di porto”. Una successiva modifica è stata proposta da Bird (2008) che definiva le lagune costiere: “corpi d’acqua poco profonda che sono stati totalmente o in parte sigillati dal mare dalla deposizione di lidi o barriere, solitamente in sabbia o ghiaia, riparate dal massimo livello di marea e dall’azione delle onde”.

Le lagune costiere sono quindi bacini marini o salmastri a bassa profondità separati dal mare aperto da uno sbarramento di terra, un *reef* o banchi di sabbia. Tali bacini sono collegati, anche in maniera discontinua, al mare aperto tramite una o più bocche tidali (Phleger 1969, 1981;

Colombo 1977; Barnes 1980; Kjerfve 1986, 1994; Gonenc & Wolfin, 2004). Questi ambienti possono essere parzialmente o totalmente chiusi, in base all'estensione della barriera di terra, che impedisce lo scambio d'acqua tra l'interno della laguna e l'oceano e tende a smorzare onde, vento e azione della corrente (Fig. 1); sono ambienti particolarmente delicati e in continuo cambiamento (Duck & Silva, 2012).

Le lagune costiere sono ecosistemi unici; differiscono dagli estuari in quanto hanno un afflusso d'acqua dolce ridotto rispetto a quello d'acqua marina e proprio quest'ultimo ne determina le caratteristiche intrinseche dell'area, ovvero se si tratta di una laguna per lo più d'acqua dolce o salmastra (Chapman *et al.*, 2012).

Le lagune sono altamente produttive e quindi storicamente utilizzate per fornire risorse per le comunità adiacenti, ad esempio controllando la portata d'acqua salata, si può regolare la salinità in modo da favorire determinati prodotti alimentari ed evitare infestazioni da parte di parassiti; controllando la profondità e la topografia si possono agevolare attività come l'acquacoltura o l'estrazione del sale (Chapman *et al.*, 2012). Però, proprio per la loro duttilità e quindi la forte pressione antropica a cui sono sottoposti, gli ambienti costieri e di transizione necessitano di costanti monitoraggi.

Lo scambio tra laguna e mare aperto avviene grazie alle bocche tidali in cui fluisce la marea aiutando la circolazione dei nutrienti e dei sedimenti.

In questi particolari ambienti derivati dall'unione di mare, terra e fiumi, le caratteristiche chimico fisiche sono molto variabili e dipendono molto sia dalle caratteristiche intrinseche del bacino, come per esempio la profondità, sia da eventi metereologici come: venti, maree e/o mareggiate, temperatura esterna e quindi eventuale tasso di evaporazione, portata dei fiumi (Kjerfve & Magill, 1989). Tutti questi agenti sono in grado di modificare, anche in maniera rapida, parametri quali salinità, temperatura, torbidità e percentuale di ossigeno disciolto facendo diventare questo ambiente molto variabile nello spazio e nel tempo. Il clima determina il bilancio idrico attraverso le precipitazioni e l'evaporazione, controlla il flusso dei fiumi che a sua volta è causa di erosione, sedimentazione e formazione di pianure alluvionali. Il clima dunque influenza direttamente e indirettamente l'equilibrio salino e i processi morfologici (Nichols & Boon, 1994).

La salinità ha andamento decrescente dalle bocche tidali verso terra, se l'apporto di acqua dolce è abbondante; viceversa ha andamento crescente se l'apporto di acqua dolce è scarso con maggiore evaporazione ai margini lagunari.

La temperatura dell'acqua ha degli andamenti diversi da quelli del mare vista la diversa profondità dei bacini lagunari. La temperatura sarà generalmente più bassa rispetto al mare d'inverno e più alta d'estate; a temperatura e salinità è inoltre legato il grado di ossigenazione dell'acqua.

I nutrienti avranno un andamento decrescente da terra verso mare in funzione della maggiore massa d'acqua che s'incontra verso mare e quindi maggiore diluizione.

Nelle lagune le maree sono fondamentali per comprendere l'idrodinamica, la distribuzione del sedimento superficiale, la morfologia e il tempo di residenza, fattori che influenzano in maniera determinante gli habitat bentonici (Barnes, 1994; Brambati, 1988; Kjerfve, 1994; Pethick, 1984).

Gli ambienti soggetti a maree, reflussi e inondazioni generano processi erosivi e deposizionali che modificano fisicamente il substrato. Le morfologie tipiche di questi ambienti, come i canali, i *tidal flat*, i *mudflat* intertidali e gli ambienti supratidali (*barene-salt-marshes*) sono strutture generate principalmente dalle maree (Albani et al., 1984) che hanno un'influenza diretta su emersione ed immersione e, di conseguenza, sulla struttura delle biocenosi.

La laguna di Venezia è caratterizzata da un'escursione di marea con valori sizigiali di 1.1-1.2 m, che insieme alla conformazione delle coste, ad un moto ondoso abbastanza limitato, unitamente ai significativi apporti sedimentari dei maggiori bacini fluviali alpini, ha dato origine a morfologie e habitat importanti, come per esempio la Laguna di Grado-Marano e di Venezia su cui è focalizzato questo studio (Quaderni habitat, 2009).

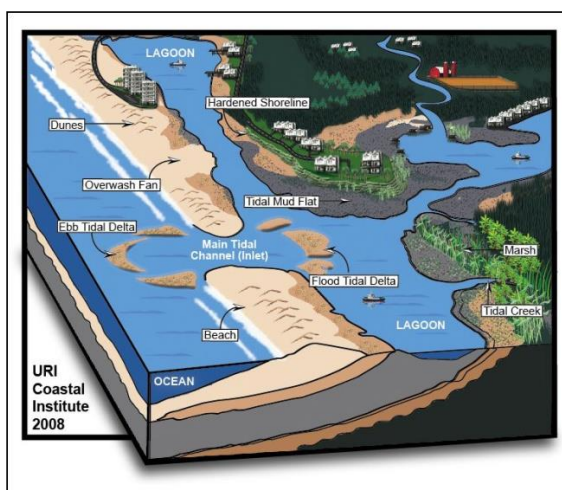


Figura 1: esempio di morfologia di una laguna costiera. Fonte: URI Coastal Institute, 2008



Tutte queste caratteristiche rendono interessante anche il profilo biologico di questi ambienti di transizione tra mare e terra ferma (Sarno *et al.*, 1993) dove la distribuzione della biocenosi sarà il risultato tra la zonazione fisica e le interazioni biologiche con essa.

Gli ambienti lagunari sono globalmente in declino (Lotze *et al.*, 2006), tali ambienti costituiscono un importantissimo patrimonio naturale, come riportato da varie normative internazionali, europee e nazionali e necessitano di protezione.

Dal punto di vista internazionale, una delle normative più significative emanata per la protezione di questi particolari ambienti è la Convenzione di Ramsar del 1971 volta alla protezione delle zone umide a livello globale, intendendo per zone umide: “ le paludi e gli acquitrini, le torbe oppure i bacini, naturali o artificiali, permanenti o temporanei, con acqua stagnante o corrente, dolce, salmastra, o salata, ivi comprese le distese di acqua marina la cui profondità, durante la bassa marea, non supera i sei metri” (Convenzione di Ramsar, 1971).

Secondo questa convenzione, le parti contraenti si devono impegnare a designare le zone umide del proprio territorio in modo da poterle inserire nell’Elenco delle zone umide di importanza internazionale. La scelta delle zone umide da inserire nell’elenco, dovrebbe essere effettuata sulla base dell’importanza internazionale dal punto di vista dell’ecologia, della botanica, della zoologia, della limnologia o dell’idrologia. Ogni area riconosciuta, deve essere tutelata e sorvegliata al fine di mantenere quanto più preservato possibile, questo specifico ambiente, in quanto le zone umide costituiscono una risorsa di grande valore economico, culturale, scientifico e ricreativo, la cui perdita sarebbe irreparabile (Convenzione di Ramsar, 1971).

In Italia ci sono più di 50 siti inseriti nella Ramsar List, uno di questi è interno alla Laguna di Venezia ed è: Valle Averte (Comune di Campagna Lupia).

Nell’ambito europeo viene emanata nel 1992, la cosiddetta “Direttiva Habitat” 92/43/CEE che prevedeva l’istituzione della “Rete ecologica europea Natura 2000”, ovvero una rete ecologica costituita da un insieme di Siti di Interesse Comunitario (SIC), che verranno successivamente designati quali Zone di Speciale Conservazione (ZSC) e che comprende anche le Zone di Protezione Speciale (ZPS) previste dalla Direttiva 2009/147/CE, la cosiddetta “Direttiva Uccelli”; tutti questi siti e zone vengono istituiti per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari a livello comunitario. La laguna di Venezia è una ZPS (IT3250046 “Laguna di Venezia”) e all’interno troviamo due SIC: -IT3250030 “Laguna medio-inferiore di Venezia”;

- IT3250031 “Laguna superiore di Venezia”.

Nel 2000 è stata approvata a livello europeo la Direttiva Comunitaria sulle Acque 2000/60/CE (Water Framework Directive, WFD, eur-lex.europa.eu) con lo scopo di istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee che:

a) impedisca un ulteriore deterioramento, protegga e migliori lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;

b) agevoli un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;

c) miri alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie e l'arresto o la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;

d) assicuri la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e ne impedisca l'aumento;

e) contribuisca a mitigare gli effetti di inondazioni e siccità

## 1.2 La laguna di Venezia

La laguna di Venezia è la più grande laguna nel bacino del Mediterraneo. Ha una forma allungata e arcuata lunga 50 km e larga mediamente 15 km, si estende per circa 550 km<sup>2</sup> e attraverso tre bocche tidali (*inlet*) comunica con il mare Adriatico; solo il 5% di essa è più profonda di 5 m e il 75% è più bassa di 2 m (Umgiesser *et al.*, 2014). La sua morfologia, è costituita da canali navigabili (Umgiesser *et al.*, 2014), barene, ghebi, velme, isole, valli da pesca e aree bonificate (Tosi *et al.*, 2009) (Fig. 2). Tali elementi fisiografici possono essere raggruppati in tre fasce altimetriche in base alla loro elevazione rispetto al livello del mare:

- isole, cordoni litorali e costa interna della laguna posti sopra il livello medio delle alte maree.

- i canali principali e le bocche lagunari situate sotto il livello medio di bassa marea.
- le barene, le velme, i ghebi e i canali secondari, morfologie proprie delle aree intertidali, si trovano tra il livello medio delle basse maree e quello delle alte maree; quindi emergono quando la bassa marea fa defluire le acque verso il mare (Quaderni habitat, 2009).

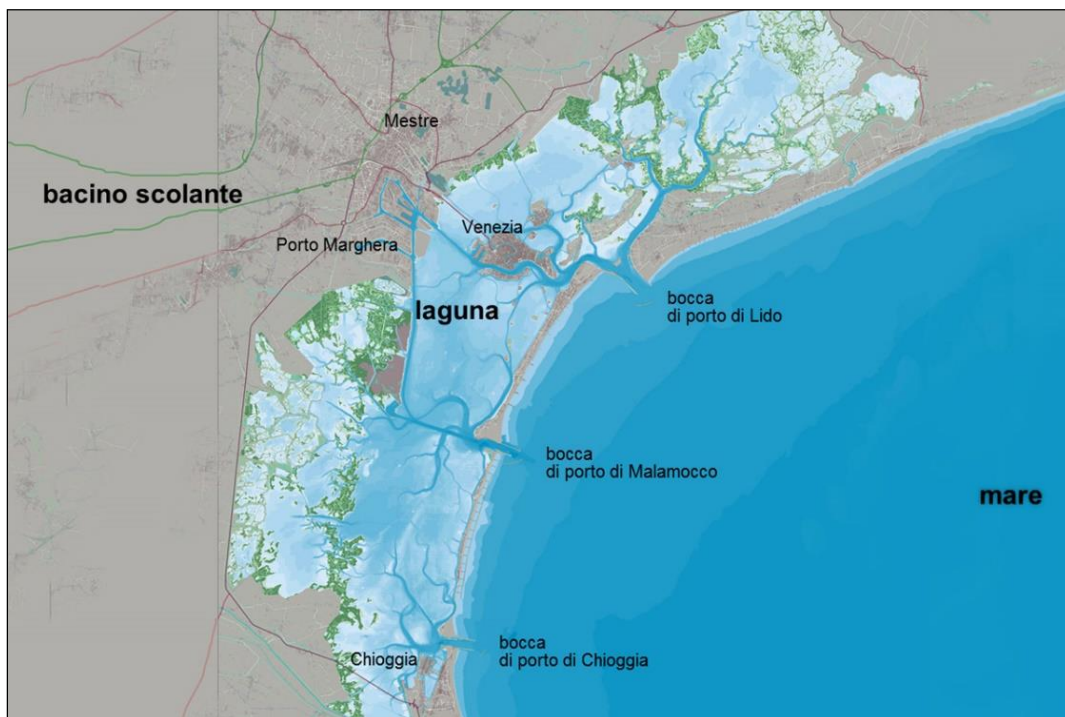


Figura 2: mappa della laguna di Venezia. Fonte: <https://www.mosevenezia.eu/ecosistema/>.

Fin dall'epoca romana, la laguna è stata considerata una protezione fisica contro i nemici proprio per le sue caratteristiche ambientali (bassissimi fondali e difficile navigabilità), e diversi progetti idraulici sono stati realizzati nel corso dei secoli con l'obiettivo di preservarla. La laguna di Venezia, infatti, ha subito impatti antropici significativi fin dal XIV secolo (Gatto & Carbognin, 1981; Favero, 1985; Carbognin, 1992; Ravera, 2000; Brambati *et al.*, 2003); il primo intervento importante è stato la deviazione dei suoi maggiori affluenti fluviali verso il mare per evitare l'ingresso di sedimenti in laguna e il conseguente rischio di interrimento della laguna. Ciò ha innescato una brusca inversione nella naturale evoluzione della laguna, con conseguente approfondimento del bacino, facendo così prevalere le caratteristiche marine (Tosi *et al.*, 2009). Ma è a partire dall'800 che si hanno le principali trasformazioni indotte dall'uomo: le modifiche alle bocche di porto, il dragaggio dei canali per migliorare l'attività portuale, la pesca estensiva di molluschi, l'aumento del traffico navale, ecc. che hanno portato ad un aumento dei processi erosivi (Sarretta *et al.*, 2010). Inoltre, l'attività di estrazione delle

acque dalle falde acquifere in relazione all'attività di uno dei più grandi complessi industriali petrolchimici d'Europa, Porto Marghera, costruito all'inizio del '900 sul margine della laguna centrale, ha contribuito ad aumentare la subsidenza del bacino lagunare (Carbognig *et al.*, 2004; Carniello *et al.*, 2009; Molinaroli *et al.*, 2009).

La maggior parte delle morfologie intertidali, distintive della Laguna di Venezia, sono in regressione e si stima che la superficie occupata da questi particolari ambienti sia diminuita di oltre il 50% negli ultimi 70 anni passando da 68 km<sup>2</sup> a 32 km<sup>2</sup> (Carniello *et al.*, 2009; Molinaroli *et al.*, 2009).

Inoltre eventi di eutrofizzazione, soprattutto negli anni '80 (Sfriso *et al.*, 1989; Tagliapietra *et al.*, 1998), hanno fortemente influenzato gli ecosistemi lagunari, comportando un cambiamento nella qualità delle acque e del sedimento (Elliot & Cutts, 2004) e la perdita di almeno un quarto degli habitat lagunari (Favero, 1992).

Sebbene nel corso degli anni si siano svolti alcuni studi sulla comunità bentonica nella laguna di Venezia (ad es. Vatova 1940; Sfriso *et al.*, 2001; Maggiore & Keppel, 2007; Pranovi *et al.*, 2008; Sigovini, 2011), gli habitat e la biodiversità dei canali sono stati raramente studiati e dove si sono effettuati studi, sono stati applicati metodi di campionamento che si sono dimostrati molto limitati spazialmente. L'unica vasta indagine della biocenosi, che ha riguardato anche i canali lagunari, è stata effettuata nel 1930-1932 (Vatova, 1940) e rappresenta il primo studio di comunità bentonica in Laguna.

Negli ultimi decenni la maggiore sensibilità nei confronti dell'ambiente e le nuove normative (ad es. Direttiva 60/2000/CE- WFD), grazie all'aiuto delle recenti e sofisticate tecnologie, stanno portando all'approfondimento degli studi sul mare e sugli ambienti di transizione. Per esempio, tramite il progetto nazionale RITMARE, coordinato dal CNR, si sta mandando avanti un'ampia gamma di ricerche, condotte anche sulla laguna di Venezia, per supportare politiche integrate per la salvaguardia dell'ambiente, permettere uno sfruttamento sostenibile delle risorse, avviare una strategia di prevenzione e mitigazione degli impatti antropici.

Le lagune costiere sono comunemente caratterizzate da alta produttività e variabile qualità delle acque per la sinergia di diversi fattori, come per esempio alta densità di popolazione nelle aree costiere, ridotto scambio con il mare, accumulo di nutrienti, sovrasfruttamento delle risorse naturali della laguna da parte dell'uomo, ecc. (Facca *et al.*, 2011). Infatti, negli ultimi quarant'anni, l'aumento delle attività umane ha portato ad un significativo aumento dei

flussi di azoto in molte aree costiere (Howart *et al.*, 2000) con conseguente alterazione dell'equilibrio dell'ecosistema.

La costa nord-ovest del Mar Adriatico è una delle aree più eutrofiche del Mediterraneo a causa dei parecchi apporti fluviali (Facca *et al.*, 2011).

Gli effetti dell'eutrofizzazione sono stati particolarmente intensi tra gli anni '70 e gli anni '80. Dal 1920, quando l'area industriale di Porto Marghera ha iniziato a svilupparsi, lo scarico di inquinanti, nutrienti (fosforo e azoto) e acque calde hanno fortemente influenzato la qualità delle acque della laguna (Pavoni *et al.*, 1992).

La laguna, rispetto al mare aperto, è povera di specie, ma spesso caratterizzata da elevate abbondanze (Heip *et al.*, 1985); le caratteristiche ambientali della laguna, tra cui il ridotto ricambio idrico, la variabilità della salinità e della temperatura, sono fattori sfavorevoli per molte specie. Inoltre le caratteristiche sedimentarie e l'elevata saprobietà del sistema sono fattori selettivi per le specie (Vatova, 1940; Tagliapietra *et al.*, 2012).

### 1.2.1 Zoocenosi della laguna di Venezia

Pochi sono gli studi che riguardano i canali della laguna di Venezia. La prima indagine effettuata sulla fauna bentonica della laguna di Venezia, e l'unico dedicato ai canali, è stata condotta da Vatova tra gli anni '30 e gli anni '40 del secolo scorso (Fig. 3).

Come per gli altri ambienti, anche per la laguna risulta importante la composizione del fondale per lo sviluppo delle zoocenosi. In merito, Vatova descriveva nel 1940 il fondale "per lo più costituito da potenti strati di caranto, formato da marna argillosa dura, ricoperto nelle zone lagunari più interne da uno spesso mantello di melma molle, nerastra, ricca di H<sub>2</sub>S e di detriti organici di ogni specie; verso il mare aperto il fondale era costituito da sabbia, cui si mescolavano masse di gusci di molluschi e con minor frequenza s'incontravano fondi fangosi più duri, misti spesso a sabbia ed a detriti" (Vatova, 1940). Dai suoi studi si evince che la laguna di Venezia, in quel periodo, seguiva degli schemi di zonazione caratteristici delle lagune, successivamente delineati anche da D'ancona e Battaglia (1962), Colombo (1977) e Barnes (1980) e numerosi altri autori.

Alcune zoocenosi della laguna interna, descritte da Vatova, sono qui riportate:



Figura 3: Distribuzione zoocenosi secondo Vatova (1940) con ingrandimento della legenda.

1) *Tapes* (Tp. ● )

1.a *Tapes* ± Epifauna (Tp. ep. ○ )

2) *Cyclonassa* (Cy. ▲ )

2.a *Cardium* (= *Cerastoderma*) (Cd. ◆ )

2.b *Scrobicularia* (Sc. ▣ )

3) *Chione gallina* (= *Chamelea gallina*) (Ch. g ■ )

1) Zoocenosi per lo più presente in zone alimentate costantemente dal mare aperto, non raggiunge mai la parte più interna della laguna. La specie più comune di questa zoocenosi è *Tapes aureus* (= *Politapes aureus*), accompagnata da numerosi bivalvi.

Tra i gasteropodi più abbondanti si trovava: *Nassa mammillata* (= *Nassarius nitidus*), *Cyclonassa neritoes* (= *Cyclope neritea*).

Numerosi erano i policheti e rarissimi gli echinodermi, la maggior parte furono trovati nel canale di Burano e nel canale San Felice (canale dello studio in questione) che sboccano nel porto di Lido e presentano elevato ricambio col mare.

Tra i decapodi è comune il *Diogenes pugilator* e alcune specie di brachiura come *Carcinides meanas* (= *Carcinus maenas*).

**1.a** Questa zoocenosi era limitata ai fondi sabbiosi della parte inferiore del canale di Burano e al canale San Felice (profondità 5-12.6m); questo ambiente era caratterizzato dalla presenza di numerosi esemplari di *P. aureus* e da una ricca epifauna. Tra i gasteropodi trovavamo *N. nitidus*, *C. neritea* e *Ocynebra erinaceus* (= *Ocenebra erinaceus*). Scarsi i policheti e rarissimi gli echinodermi. Tra i crostacei si trovavano: *C. maenas*, *D. pugilator*.

L'epifauna era costituita da alcuni bivalvi come: *Chlamys sulcata* (= *Pseudamussium sulcatum*), *Chlamys varia* (= *Mimachlamys varia*), *Chlamys glabra* (= *Flexopecten glaber*), *Barbatia barbata*, grandi masse del tunicato *Molgula manhattensis* e da alcune attinie.

**2)** Questo tipo di zoocenosi era molto diffusa su fondi fangosi e soprattutto melmosi nella parte più interna della laguna a profondità 3-7 m. Si distingueva per la presenza di numerosi esemplari del gasteropode *C. neritea*. Tra i bivalvi si trovavano: *Nucula nucleus*, *Loripes lacteus*, *Scrobicularia piperata* (= *Scrobicularia plana*), *Soletellina alba* (= *Hiatula alba*), *Macoma tenuis* (= *Abra tenuis*), *Corbulomya mediterranea* (= *Lentidium mediterraneum*). Numerosi erano i policheti delle specie: *Sternaspis scutata*, *Nephtys hombergii*, *Ascaris lumbricoides*, *Glycera convoluta* (= *Glycera tridactyla*), *Melita palmata*. Tra gli echinodermi si trovavano *Cucumaria elongata* (= *Leptopentacta elongata*), *Labidoplax digitata* (= *Oestergrenia digitata*).

Tra i crostacei si riscontravano *D. pugilator*, *C. maenas*, *Upogebia litoralis* (= *Upogebia pusilla*); erano comunissimi inoltre i gammaridi. Molto scarsa era l'epifauna rappresentata da qualche attinia e qualche spugna.

**2.a** Questa biocenosi era poco diffusa nella laguna e si ritrova solo in aree molto limitate e tipicamente si trovavano esemplari di *Cardium lamarckii* (= *Cerastoderma glaucum*); qualche gasteropode e parecchie specie di bivalvi, ma in numero molto esiguo di esemplari; molto diffusi erano *P. aureus*, *Ensis siliqua*, *L. lacteus*, *N. nucleus*;

Tra i policheti dominavano *G. tridactyla*, *M. palmata*; scarsi erano *A. lumbricoides*, *S. scutata*, *Euclymene oerstedii*, *Pectinaria koreni* (= *Lagis koreni*), *Harmothoe imbricata*.

Poco numerosi i crostacei e scarsa l'epifauna composta solo da poche attinie e quasi assenti gli echinodermi.

**2.b** Questa zoocenosi si presentava in massima parte in fondali melmosi a profondità di 0,9-4,5m, era caratterizzata da un numero elevato di esemplari della specie *S. plana*, ma considerando la natura dei fondi melmosi, ovvero molli, marcescenti e caratterizzati da bassa salinità, solo poche specie riuscivano ad adattarsi a queste condizioni. Tra queste trovavamo molluschi come *C. neritea* e *C. glaucum*; policheti quali: *Nereis diversicolor* (= *Hediste diversicolor*), *N. hombergii* e *Notomastus sp.* e pochissimi crostacei quali *C. maenas* e *U. pusilla*.

**3)** La zoocenosi *C. gallina* era limitata alla parte della laguna rivolta verso il mare aperto, con fondali prevalentemente sabbiosi, raramente su fondi fangoso-sabbiosi o fangosi. La specie predominante era appunto *C. gallina* accompagnata da qualche gasteropode come *N. nitidus*, *C. neritea* e raramente anche *Cerithium vulgatum* e *Gibbula sp.*

Tra i bivalvi predominavano *P. aureus*; tra i policheti s'incontravano solo poche specie: molto abbondanti gli esemplari di *Owenia fusiformis* e *N. hombergii*.

Una sola specie di crostaceo era dominante ovvero *D. pugilator* e molto scarsa era l'epifauna costituita solo da pochissime specie di attinie.

Nella zoocenosi *Cyclonassa* predominavano i gasteropodi (34,7%), in tutte le altre prevalevano i bivalvi (da 35% in *Tapes ± Epifauna* a 89,7% in *Scrobicularia*). I policheti erano più abbondanti nelle zoocenosi *Cyclonassa*, gli echinodermi mancavano quasi del tutto; i crostacei in complesso erano piuttosto scarsi nelle varie zoocenosi descritte, mentre erano alquanto abbondanti nella zoocenosi *Cyclonassa*. L'epifauna era scarsa, eccetto che nella zoocenosi *Tapes ± Epifauna* (61,4%) ed in parte anche in *Cyclonassa* (30,4%).

Successivamente, i principali studi a scala lagunare furono svolti nelle aree di bassofondale (ad es. Sigovini, 2011), che rappresentano la maggior parte dell'estensione lagunare, e sono pertanto di difficile comparazione. Questi includono un secondo studio condotto da Vatova stesso (1950) che riportava che le aree della laguna caratterizzate da bassa salinità si stavano riducendo e quindi stava già iniziando il fenomeno di "marinizzazione" della laguna con i conseguenti effetti ecologici.

Nel 1968 Giordani Soika mise in evidenza forti alterazioni della distribuzione dei raggruppamenti di zoocenosi dovuti probabilmente alla degradazione dell'ambiente in quanto



in determinate zone le specie sensibili, che erano ancora presenti nella laguna media, erano spesso sostituite da specie tolleranti o opportuniste.

Queste alterazioni hanno compromesso le comunità precedentemente descritte portando ad una minore complessità delle associazioni e alla diminuzione o assenza di specie sensibili (Raismondo & Visintini Romanin, 1997).

### 1.3 Area di studio

L'area di questo studio è la zona del canale Treporti e del canale San Felice situati nella parte settentrionale della laguna di Venezia denominata sottobacino di Treporti (Fig. 4) questo canale è parte di un sistema complesso di *salt-marshes* costiere caratterizzato da profondità che variano da un minimo di 30 cm ad un massimo di 20 m.



Figura 4: laguna di Venezia con evidenziazione dell'area di studio.

## 2. Materiali e Metodi

Per soddisfare gli obiettivi di questo lavoro e ottenere la mappa finale degli habitat bentonici e degli elementi antropici del canale di San Felice sono stati eseguiti i seguenti passi descritti in dettaglio nei paragrafi che seguono (Fig.5).

1. Analisi dei dati batimetrici MBES con risoluzione di 0.2 m e mappatura manuale degli elementi fisiografici e morfologici del canale seguendo la classificazione ideata da ISMAR nell'ambito del progetto RITMARE.
2. Analisi dei dati di riflettività del fondo e classificazione del dato attraverso il metodo di segmentazione automatica Jenks (*Jenks natural break classification method*- Jenks, 1967).
3. Campionamento del fondale su 18 stazioni, scelte in base alle diverse risposte di *backscatter*. Per ogni stazione sono state effettuate 3 repliche di *drop-frame* (riprese video da una telecamera subacquea calata sul fondo) e un prelievo del sedimento tramite benna.
4. Analisi granulometriche attraverso metodi meccanici, setacci, e metodi ottici, LISST. Analisi delle immagini fotografiche attraverso materiale bibliografico e pareri di esperti.
5. Integrazione di tutti i prodotti cartografici e realizzazione della mappa finale degli habitat attraverso la funzione "union" di ArcGIS.

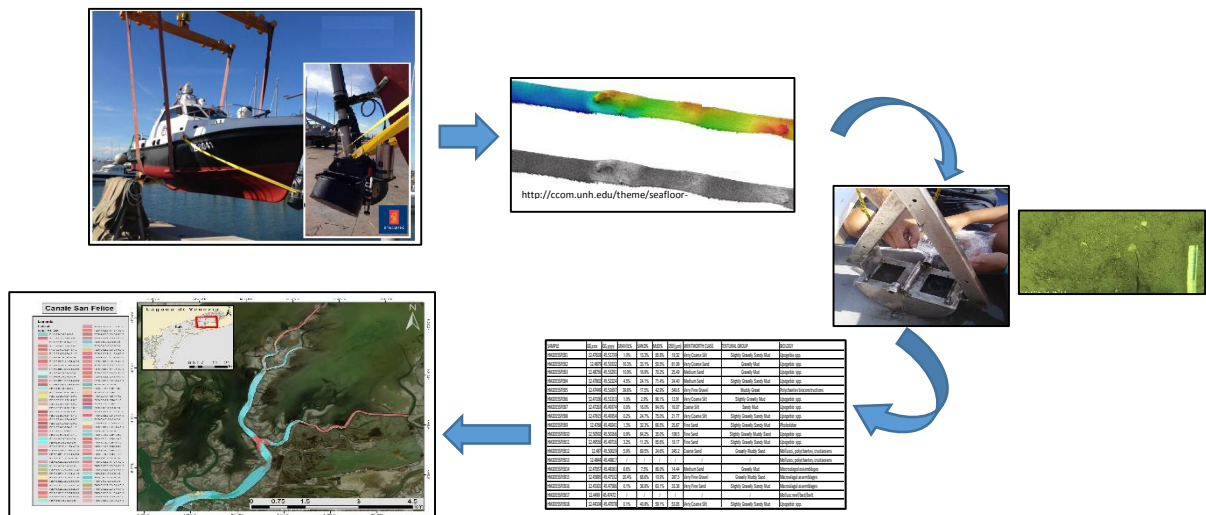


Figura 5: schema dei vari procedimenti dall'alto a sinistra: imbarcazione LITUS dell'ISMAR con MBES; esempio di dati batimetrici e di *backscatter* ricavati da MBES; prelievo di sedimenti e riprese video fatte nelle stazioni scelte in base al *backscatter*; tabulazione dati sedimentologici e biologici; mappa dell'habitat finale.

Il software GIS utilizzato per tutte le mappature e l'interpretazione dei dati è ArcGIS 10.2.1 (2013), con sistema di riferimento *Universal Transversal Mercator* (UTM, Zone 33N), *Datum World Geodetic System* (WGS) 1984.

I dati di questo studio sono stati raccolti per il progetto nazionale RITMARE con la collaborazione del CNR-ISMAR di Venezia e di Bologna.

## 2.1 *Multibeam Echo Sounder*

Con l'avvento dei primi ecoscandagli negli anni '40 (Kenny *et al.*, 2003), si sono diffusi ampiamente metodi idro-acustici per lo studio e la mappatura dei fondali marini e degli habitat bentonici. Attraverso questi strumenti è possibile rilevare caratteristiche del fondale marino tramite onde acustiche (Fig. 6).

Questi sistemi sono in grado di trasmettere uno o più impulsi dall'imbarcazione dove sono installati, al fondale marino; quando l'impulso sonoro colpisce il fondo del mare, lo strumento ne registra automaticamente il tempo di percorrenza e l'intensità dell'onda acustica riflessa da cui deriverà la profondità e la riflettività.

L'ultima generazione di ecoscandagli è rappresentata da *Multibeam Echo Sounder* (MBES), in grado di emettere fino ad 800 impulsi acustici con vari intervalli di frequenze e registrare contemporaneamente profondità e riflettività del fondo.

Grazie all'alto rendimento, il MBES viene sempre di più utilizzato per mappare la distribuzione di diversi organismi bentonici, compresa la vegetazione acquatica sommersa come le fanerogame *Zostera noltii* e *Z. marina* (Valle *et al.*, 2011) o *Posidonia oceanica* (De Falco *et al.*, 2010), le barriere coralline, spugne e altri invertebrati bentonici (Galparsoro *et al.*, 2009; Young *et al.*, 2010).

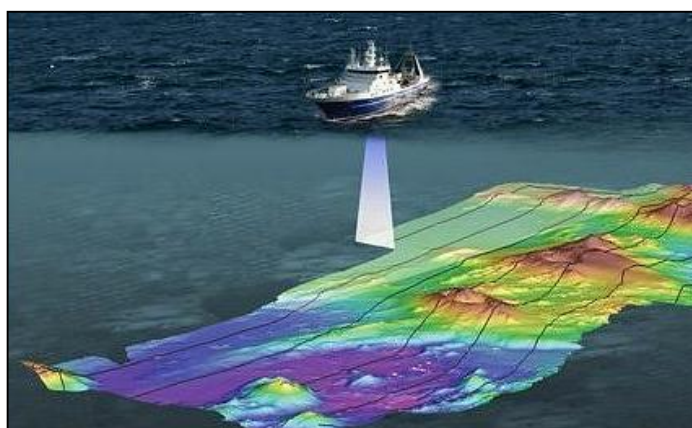


Figura 6: esempio di utilizzo del MBES. Fonte: <http://www.protezionecivile.gov.it>

Il *backscatter* misura l'onda riflessa dal fondale, il grado di dispersione e la quantità di segnale che torna all'imbarcazione (Lurton, 2002). La riflettività, che si misura in decibel (dB), dipende sia dalla tipologia di substrato che dalle irregolarità topografiche del fondale (Roberts *et al.*, 2005).

Le immagini ricavate dal *backscatter* sono in scala di grigi e per questo studio le aree più chiare corrispondono ad un ritorno acustico più forte (alta intensità di segnale) ovvero aree con substrato più duro che riflette di più le onde acustiche; invece le aree più scure corrispondono ad un ritorno acustico debole (bassa intensità di segnale) che in genere si osserva con fondali più molli che assorbono parte del segnale (Fig. 7).

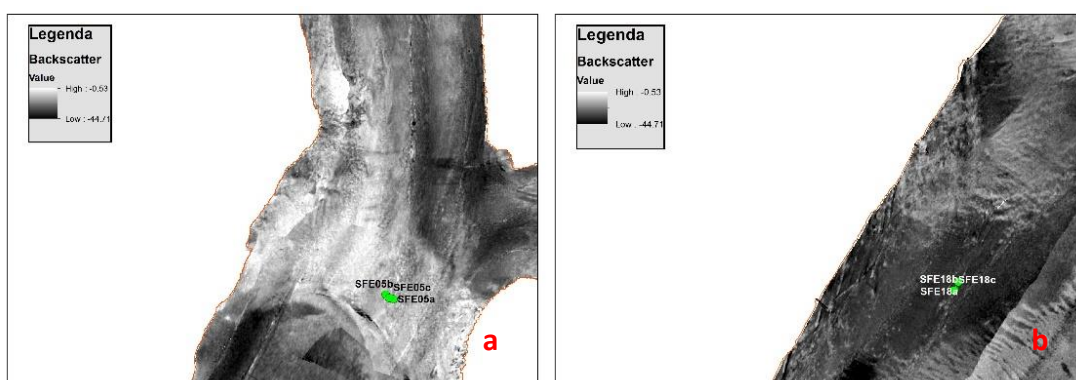


Figura 7: a) area con un'alta intensità di dB; b) area con una bassa intensità di dB.

### 2.1.2 Multibeam Dataset

Per la mappatura delle forme di fondo, degli habitat e degli oggetti antropici presenti nell'area della laguna oggetto di questo studio, sono stati utilizzati dati acustici di batimetria e di *backscatter*.

I dati acustici sono stati raccolti utilizzando l'ecoscandaglio Kongsberg EM2040 *Dual-Compact Multibeam* (MBES). Il MBES è stato montato su un palo a prua di un'imbarcazione di 10 m con un pescaggio di 1,5 m (Fig. 8).



Figura 8: imbarcazione LITUS del CNR-ISMAR con installato il MBES.

Le due teste di MBES sono in grado di emettere 800 *beam* (400 per trasduttore) ad una frequenza che può variare da un minimo di 200 ad un massimo di 400 kHz. Per garantire risultati più soddisfacenti, in termini di risoluzione e copertura (ad alta frequenza corrisponde una risoluzione maggiore ma minore copertura), date le particolari caratteristiche degli ambienti lagunari, la frequenza scelta per questi campionamenti è stata di 360 kHz.

Per la localizzazione dei punti di misura è stato utilizzato il sistema di posizionamento Kongsberg Seapath 300 con la correzione differenziale data dal GPS Fugro ( $\pm 10$  cm).

La correzione del rollio (*roll*), del beccheggio (*pitch*) e dell'*heading* (angolo formato tra l'asse longitudinale dell'imbarcazione e la traiettoria seguita) è stata effettuata automaticamente durante la fase di acquisizione grazie ad un sistema inerziale MRU5 associato al Seapath 300 installato vicino ai trasduttori. Per misurare in continuo la velocità del suono è stato utilizzato il sensore Valeport mini SVS.

Un altro fattore da tenere in considerazione per l'acquisizione di questo tipo di dati è la variazione delle maree per cui, grazie al contributo dei tecnici ISMAR, è stato applicato il modello idrodinamico SHYFEM (*Shallow water HYdrodynamic Finite Element Model*), sviluppato all'ISMAR-CNR di Venezia (Umgiesser, 2000), che è in grado di calcolare il livello dell'acqua nell'intera laguna, combinando la velocità del vento e i dati di marea raccolti dai mareografi posizionati nei pressi delle bocche tidali, con un errore di simulazione inferiore ad 1 cm. Tutte le correzioni sono riferite al *Datum* locale di Punta della Salute 1897.

I dati così acquisiti sono stati processati tramite il software *CARIS Hydrographic information processing system* (Hips) & Sips, attraverso cui è possibile applicare le correzioni di marea e velocità del suono e migliorare la qualità dei dati grezzi di batimetria e *backscatter*. Una volta processati in CARIS, i dati vengono esportati come file di testo (.txt) e successivamente convertiti, tramite il software Global Mapper, in ESRI Grid, formato compatibile con il software ArcGIS. Si sono ottenuti così dati *raster* a diverse risoluzioni e per questo lavoro di tesi è stata utilizzata una batimetria a 0,2 m e un *backscatter* a 1 m.

## 2.2 Segmentazione del *backscatter*

L'obiettivo dell'analisi del *backscatter* è suddividere l'area di studio in sotto-unità omogenee in termini di composizione superficiale del substrato. L'analisi può essere eseguita sulla base dell'intensità del segnale (*Angular Response Analysis – ARA*) o sulle immagini che ne derivano (*Mosaic Image Analysis*).

L'analisi del mosaico ha origini nelle tecniche di *remote sensing* (Haralick *et al.*, 1973) e può essere impiegata per costruire mappe acustiche in base all'assunto che qualsiasi importante cambiamento nel sedimento sarebbe deducibile dal segnale acustico ricevuto (Masetti *et al.*, 2010).

Il valore dB nel *raster* rappresenta l'intensità in decibel del *backscatter* ed è legato alla tessitura del substrato (Blondel & Gomez-Sichi, 2009). I dati registrati dallo strumento non sono direttamente utilizzabili: la rimozione delle variazioni di intensità del *backscatter*, legate alla diversa risposta angolare, è un'operazione fondamentale per creare dei mosaici che siano uniformi in aree di fondale omogeneo, cioè che non denotino una variazione angolare lungo lo *swath* (Fonseca *et al.*, 2009). La tecnica standard usata per eliminare tale influenza è la correzione *AVG* (*Angle Varying Gain*); la principale difficoltà risiede proprio nella scelta di quali parametri *AVG* utilizzare: non esiste una soluzione unica, la scelta è soggettiva ed il mosaico non ha quindi una rappresentazione univoca ed assoluta.

La scelta migliore comunque deve sempre essere un compromesso tra uniformità lungo lo *swath* e presenza di artefatti. Nel nostro studio si è utilizzato una correzione *AVG 300*.

Riconosciuta l'importanza della soggettività nella rappresentazione dei mosaici, ci sono essenzialmente due ostacoli in questo tipo di analisi: primo, i *MBES* non registrano dei valori assoluti di *backscatter*, ma dei valori relativi il cui calcolo non è sempre immediato; secondo,

la risposta angolare è intrinseca del fondale marino, quindi per poterla eliminare è necessario conoscere alcune informazioni preliminari del substrato analizzato (Masetti *et al.*, 2010; Fonseca *et al.*, 2009).

Solitamente il mosaico viene raffigurato come un'immagine monocromatica con livelli multipli di grigio, dove per segnali più intensi corrispondono colori più chiari (Le Bas & Huvenne, 2009). Colorazioni omogenee riflettono fondali con proprietà continue nello spazio, mentre zone con numerosi livelli di colore esprimono complessità del fondale. Lo scopo della segmentazione è dividere, con metodi manuali o automatici, l'area di studio in sotto-unità uniformi per il profilo cromatico. Ad ogni classe riconosciuta corrisponderà una tipologia di sedimento che verrà identificato grazie ai dati di *ground-truth*. In base all'assunto prima esposto, in generale regioni rientranti nella stessa classe dovrebbero essere caratterizzate dalla stessa composizione superficiale del fondo.

I dati di *backscatter* acquisiti dal *MBES* sono stati estratti come file *raster* 32-bit dal software Fledermaus. Si è poi applicata la correzione *AVG* e si è costruito il mosaico totale dell'area. Il *raster* del mosaico è stato poi importato in ArcGIS e, analogamente alle batimetrie, si è ricampionato il file a 50 cm per ottenere un mosaico più uniforme e leggero. Inoltre, per ridurre il peso degli artefatti e correggere sbalzi elevati di dB, si è applicato un filtro di smussamento (*low-pass*) al *raster*. Per classificare il mosaico si è creato uno *shape file* da sovrapporre contenente le caratteristiche dei campioni raccolti con benna.

Esistono diverse tecniche per segmentare il *backscatter*; alcune sono manuali, altre adottano la statistica multivariata, ma tutte possono essere catalogate in due famiglie principali: *unsupervised*, ovvero senza l'utilizzo preliminare di informazioni provenienti dai campioni di *ground-truth*, e *supervised*, in cui viene utilizzato un sottoinsieme di campioni per istruire l'algoritmo di classificazione (*training samples*).

Nelle classificazioni *unsupervised* i dati acustici vengono segmentati prima dell'osservazione e dell'identificazione delle proprietà fisiche fornite dal *ground-truth* (fotografie o raccolta di campioni). Questa soluzione, molto utilizzata soprattutto nel passato, ha assicurato variabili livelli di successo (Calvert *et al.*, 2014). La classificazione in questo caso consiste nel "cercare" delle regole per classificare i dati sulla base delle proprietà spettrali di gruppi di pixel. Tipicamente le procedure *unsupervised* producono dei cluster di analisi che vengono poi confrontati con le informazioni di *ground-truth* per assegnarne una nomenclatura. La principale problematica consiste proprio nel trovare il corretto (*optimum*) numero di *clusters*.

Inoltre un potenziale difetto sorge in quanto difficilmente vi è una relazione univoca tra classi create e dati di *ground-truth*. Le strategie *supervised*, inizialmente nate per l'analisi di dati ottici nell'ecologia terrestre, sono ora disponibili anche per elaborazioni di dati acustici e recentemente hanno sortito un grande successo nella comunità scientifica (Stephens & Diesing, 2014). Molti algoritmi di *processing* sono ormai disponibili e la scelta dell'algoritmo è soggettiva. In queste classificazioni i dati acustici sono analizzati dopo aver raccolto dati di *ground-truth*: le informazioni fisiche raccolte servono a delineare delle classi specifiche che saranno poi identificate nei *dataset* acustici, anche in regioni senza campioni. Grazie a delle tecniche di predizione statistiche che il software utilizza per collegare informazioni passate e future, gli algoritmi *supervised* sono infatti in grado di “imparare e riconoscere” dei *pattern* decisi preventivamente (Calvert *et al.*, 2014).

In questo lavoro di tesi si è deciso di adottare una tecnica *unsupervised* per l'interpretazione di *backscatter*.

### 2.2.1 Classificazione *unsupervised*: *Jenks natural breaks*

La classificazione di Jenks, anche chiamata *Jenks natural breaks*, è un metodo di *unsupervised clustering* designato per determinare la migliore disposizione dei valori in classi diverse.

L'algoritmo, sviluppato da Jenks nel 1958, è un riadattamento dell'ottimizzazione esatta di Fischer per l'analisi di dati geografici. Il principio del metodo sta nel minimizzare la varianza all'interno della classe e massimizzare la varianza tra le classi. È possibile decidere a priori il numero di classi e il successivo confronto con il *ground-truth* ne assegnerà il nome. Essendo già implementata nel software, l'ottimizzazione di Jenks è stata applicata in ArcGIS.

## 2.3 *Ground-Truth*

Utilizzando MBES è quindi possibile ottenere rappresentazioni della batimetria e della riflettività del fondale di estremo dettaglio da cui è possibile elaborare mappe di caratteristiche ambientali, ma per ottenere informazioni corrette è necessario interpretare e validare i dati raccolti con tecniche di *ground-truthing in situ*.

Le tecniche di *ground-truthing* applicate includono fotografie scattate al fondale e campionamenti del sedimento nei siti di interesse al fine di valutare i risultati ricavati dal



MBES. Questo permetterà quindi un'interpretazione corretta dei dati di MBES (in particolare di *backscatter*), permettendo una caratterizzazione indicativa del fondale sia dal punto di vista abiotico che dal punto di vista biotico.

### 2.3.1 *Ground-Truth Dataset*

I dati di *ground-truth* sono stati raccolti con la collaborazione del CNR-ISMAR di Venezia così come tutti i dati raccolti *in situ* in questo progetto. Il *ground-truthing* ha incluso la raccolta di campioni di sedimento prelevati con benne *Van Veen* e foto subacquee attraverso *drop-frame* (Fig. 9).

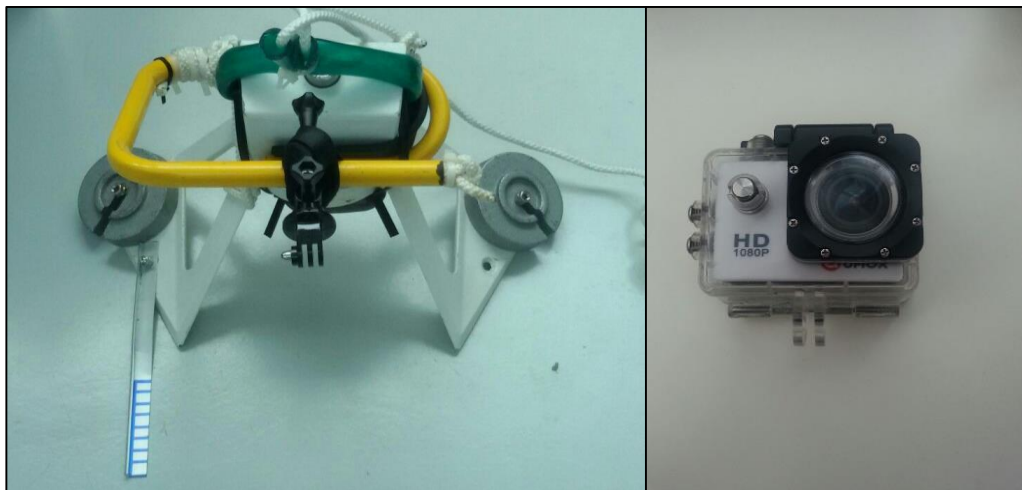


Figura 9: apparecchiatura per riprese subacquee.

I siti in cui effettuare il *ground-truthing* sono stati scelti in base alla risposta *backscatter* visualizzata su ArcGIS e sono rappresentati nella figura 10.

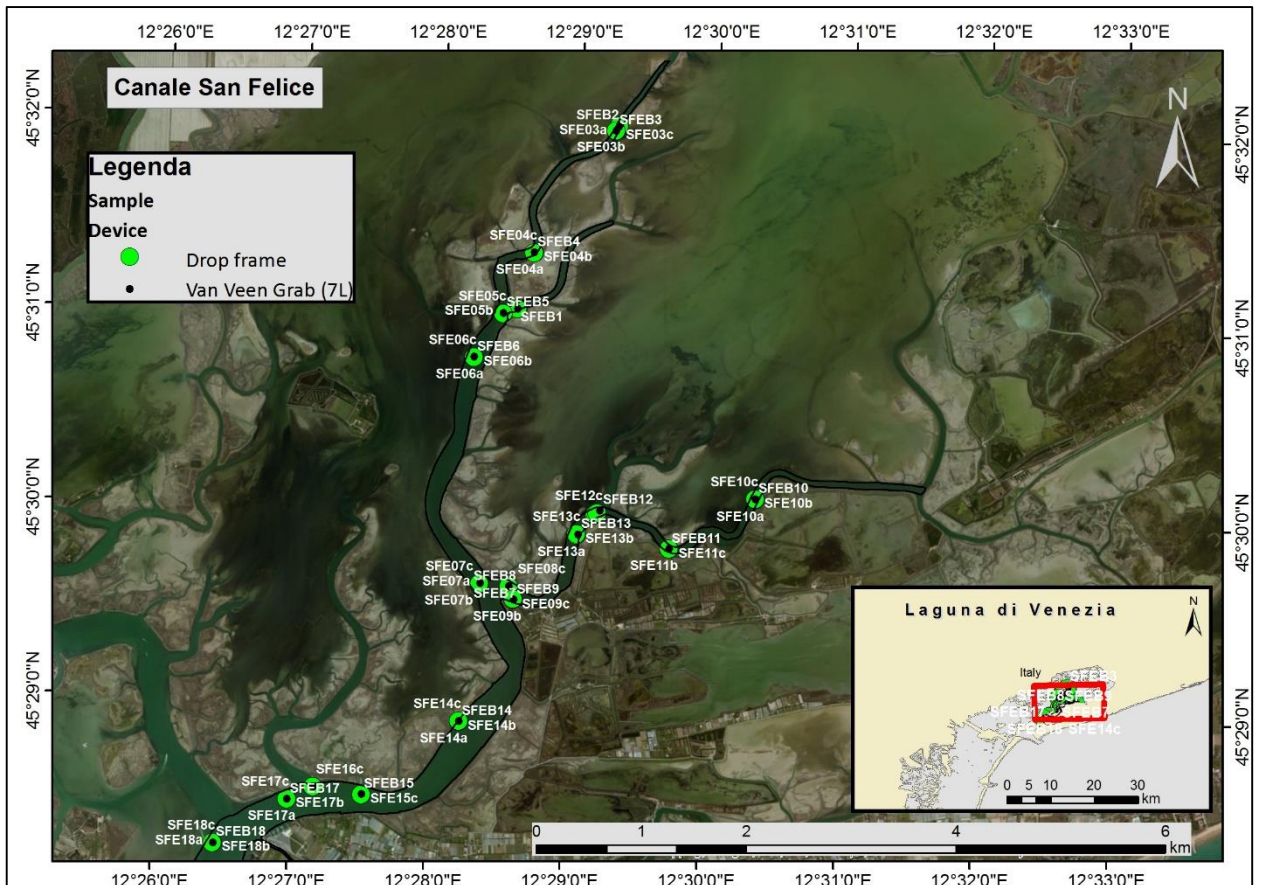


Figura 10: stazioni di campionamento dell'area di studio.

I campionamenti sono stati effettuati dal 22 al 24 Luglio 2015 ed il riferimento geografico durante il campionamento è stato ottenuto utilizzando un DGPS a bordo dell'imbarcazione collegato ad un computer con mappa di *backscatter* del canale in modo da essere il più precisi possibili sui siti da analizzare.

Per i campionamenti con *drop-frame* è stata utilizzata la Action Sport Camera QMOX SJ4000 1080p, 12 MegaPixel collegata ad una base rigida che la tiene ferma a 18 cm dal fondale e che è inoltre dotata di un metro di riferimento. Lo strumento è stato immerso nella zona d'interesse per effettuare una ripresa video di circa un minuto, per ogni sito sono state effettuate 3 repliche, localizzate tramite coordinate DGPS, in modo da poter descrivere la variabilità del fondale.

In ogni sito scelto inoltre, è stata effettuato un prelievo del sedimento superficiale con benna *Van Veen* da 7 litri, in modo da poter fare anche un'analisi del sedimento (Fig. 11). I siti in cui sono stati effettuate le bennate sono riportati nella figura 10.



Figura 11: benna utilizzata per campionamenti.

## 2.4 Analisi del sedimento

Per poter estrapolare informazioni corrette dalle bennate è stato necessario effettuare una serie di procedimenti affinché il sedimento fosse adeguato ad analisi al setaccio ed ad indagini basate sull'analisi delle particelle di sedimento grazie a tecniche ottiche effettuate tramite *Laser In-Situ scattering and Transmissometry-LISST*, strumento che misura rapidamente e con precisione la distribuzione granulometrica e la concentrazione di sedimento sospeso facendo riferimento ad 8 classi granulometriche nel range 5-250  $\mu\text{m}$ .

La benna utilizzata in questo studio è di 7 litri le analisi effettuate ai fini di questo studio riguardano la parte superficiale del substrato per cui, per ogni bennata, sono stati prelevati solo i primi 10 cm.

Il sedimento raccolto è stato tenuto ad una temperatura di circa 4°C per due giorni e successivamente si è proceduto con le analisi.

I campioni prelevati appaiono come una miscela di sabbia, fango, conchiglie ed acqua, oltre ad una debole percentuale di materia organica (per lo più alghe). Per la determinazione della distribuzione granulometrica in laboratorio, devono essere sottoposti ad un trattamento specifico, utile ad eliminare il sale ed i residui vegetali. Il sedimento viene poi essiccato ed opportunamente frantumato fino ad assumere una matrice omogenea: in questo modo è possibile setacciarlo e dividerlo nelle varie frazioni granulometriche. La procedura può essere riassunta in 4 fasi principali: lavaggio, essiccazione, frantumazione e setacciatura sia tramite setacci meccanici che tramite tecniche ottiche (LISST).

- Lavaggio: i campioni raccolti contengono un'elevata quantità di acqua salata/salmastra.

Per cui è necessario eliminare il sale che tende ad aggregare il materiale. I sedimenti devono quindi essere accuratamente risciacquati per immersione in acqua pura milliQ e lasciati a decantare per circa 24 ore. Il procedimento si ripete 2 volte fino alla completa rimozione del sale.

- Essiccazione: la fase successiva è l'eliminazione dell'acqua in stufa a 60° C. Ai campioni decantati viene quindi eliminata l'acqua facendo attenzione a non prelevare sedimento e successivamente vengono posti in un forno elettrico circa 24 ore o comunque fino a completa evaporazione dell'acqua

- Frantumazione: terminato il processo di essiccazione, i campioni vengono frantumati in un mortaio con pestello. Per non danneggiare la frazione più grossolana ( $\geq 710 \mu\text{m}$ ) questa viene anticipatamente separata dal resto del campione per poi essere reintrodotta alla fine della frantumazione. Con questa operazione tutti i grumi, formati soprattutto dalla componente fine, vengono disgregati per evitare errori di interpretazione granulometrica.

- Setacciatura: anche chiamata vagliatura, procedimento che rappresenta la vera e propria determinazione granulometrica. L'analisi granulometrica per setacciatura fa uso di appositi setacci disposti in serie, ognuno dei quali trattiene la frazione di solido i cui granuli hanno dimensioni maggiori dei fori del setaccio (Fig. 12). Dopo avere impilato i setacci in ordine di apertura decrescente dall'alto verso il basso ed a intervalli di  $0.5 \Phi$ , un campione pesato di solido viene adagiato sul setaccio superiore a maglia più larga. Alla base della pila è posizionato una vaschetta (fondello) nel quale si accumulano tutti i granuli con diametro minore dell'apertura della maglia del setaccio più basso. La colonna di setacci viene appoggiata su uno scuotitore meccanico, chiamato "vibrovaglio". Il vibrovaglio scuote la colonna per un determinato intervallo di tempo che dipende dalla quantità di materiale fine presente (circa 20 minuti). Terminato lo scuotimento si procede alla pesatura delle

frazioni di solido trattenute in ciascun setaccio. Il peso di ciascuna frazione solida viene quindi rapportato al peso del solido totale, per ottenere la percentuale in peso di materiale trattenuto in ciascun piatto. Per questo studio si è utilizzata una sequenza di 8 setacci più il fondello finale.



Figura 12: sistema di setacci utilizzati.

I diametri dei fori di ciascun setaccio sono:

- 16 mm
- 8 mm
- 4 mm
- 2 mm
- 1 mm
- 710  $\mu\text{m}$
- 500  $\mu\text{m}$
- 355  $\mu\text{m}$
- fondello

Tutta la parte di sedimento con una granulometria inferiore a 355  $\mu\text{m}$ , il fondello, è stata pesata e utilizzata per le analisi LISST.

### 2.4.1 Analisi LISST

Per analizzare il sedimento con dimensioni inferiori di 355  $\mu\text{m}$  è stato utilizzato il LISST-100x (Fig. 13), uno strumento in grado di misurare il diametro medio di particelle solide in diverse classi nel range di 2.4-350  $\mu\text{m}$ .

Questo tipo di misurazione rientra nelle tecniche ottiche di analisi granulometrica basate sulla misura delle figure di diffrazione generate dall'interazione delle particelle del campione con il fascio laser; lo strumento effettua un numero elevato di sequenze di misura, in modo da ottenere una serie di valori statisticamente rilevanti.

Per ogni campione con granulometria inferiore a 355  $\mu\text{m}$ , è stato prelevato qualche  $\mu\text{g}$  ed è stato sospeso in un becher con acqua milliQ e sottoposto ad agitazione; di questa soluzione sono stati prelevati 100 ml e messi nella celletta del macchinario in cui avviene la lettura tramite laser.

Si è scelto di impostare il macchinario su *Random Shape* in quanto il particellato poteva avere forme diverse e abbiamo effettuato circa 70-80 misurazioni per ogni campione, in modo da avere una serie di dati su cui poter fare una media.



Figura 13: LISST (<http://www.sequoiasci.com/product/lisst-100x/>).

### 2.4.2 Elaborazione dati granulometrici

Per la classificazione dei dati granulometrici è stata utilizzata la scala di Udden-Wentworth (1922), questa utilizza come valori limite tutte potenze in base 2. I valori possono essere espressi nelle unità di misura del Sistema Internazionale (principalmente mm e  $\mu\text{m}$ ) oppure

nella quantità adimensionale logaritmica phi ( $\Phi$ ). Phi è la trasposizione in logaritmi della scala granulometrica di C.K. Wentworth del 1992 (Fig.14) e più precisamente è l'opposto del logaritmo in base 2 del rapporto tra il valore in millimetri del diametro delle particelle ed il diametro di riferimento (1 mm).

$$\Phi = -\log_2 (D/D_0)$$

D = diametro della particella in mm (solitamente la mediana del campione)

D0 = diametro di riferimento, uguale ad 1 mm.

Millimeters (mm)	Micrometers ( $\mu\text{m}$ )	Phi ( $\phi$ )	Wentworth size class		Rock type
4096		-12.0	Boulder	Gravel	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble		
64		-6.0	Pebble		
4		-2.0	Granule		
2.00		-1.0	Very coarse sand		
1.00		0.0	Coarse sand	Sand	Sandstone
1/2	500	1.0	Medium sand		
1/4	250	2.0	Fine sand		
1/8	125	3.0	Very fine sand		
1/16	63	4.0	Coarse silt		
1/32	31	5.0	Medium silt	Silt	Siltstone
1/64	15.6	6.0	Fine silt		
1/128	7.8	7.0	Very fine silt		
1/256	3.9	8.0	Clay	Mud	Claystone
0.00006	0.06	14.0			

Figura 14: tabella di Wentworth (1922) utilizzata per la classificazione dei sedimenti.

## 2.5 Il *Geodatabase*: descrizione ed organizzazione dati

Tutti i dati raccolti in questo progetto di tesi sono stati descritti ed organizzati seguendo uno schema di classificazione per l'habitat bentonico ideato nell'ambito del progetto europeo COCONET (*Towards COast to COast NETWORKS of marine protected areas*-<http://www.coconet-fp7.eu/>), ed in seguito implementato *ad hoc* per la laguna di Venezia (CNR-ISMAR). Tale sistema è organizzato in più livelli ed in maniera gerarchica, permettendo una descrizione a scala variabile di ogni elemento, rendendo la struttura flessibile ed adattabile al tipo di dati a disposizione.

I dati raccolti ed i relativi prodotti sono stati gestiti all'interno di un ESRI *File geodatabase*. Tale strumento aggiunge all'archiviazione del dato una dinamicità di interrogazione spaziale e non spaziale dello stesso, attraverso la possibilità di costruire delle *query*. I vari elementi all'interno del *geodatabase* sono infatti collegati tra loro attraverso delle relazioni (*relationship class*). Il *geodatabase* ospita dati vettoriali (*feature class*, organizzate in *feature dataset*), dati raster

(*raster dataset*) e dati testuali (*object class*); e permette inoltre di archiviare dati grafici (*raster field*).

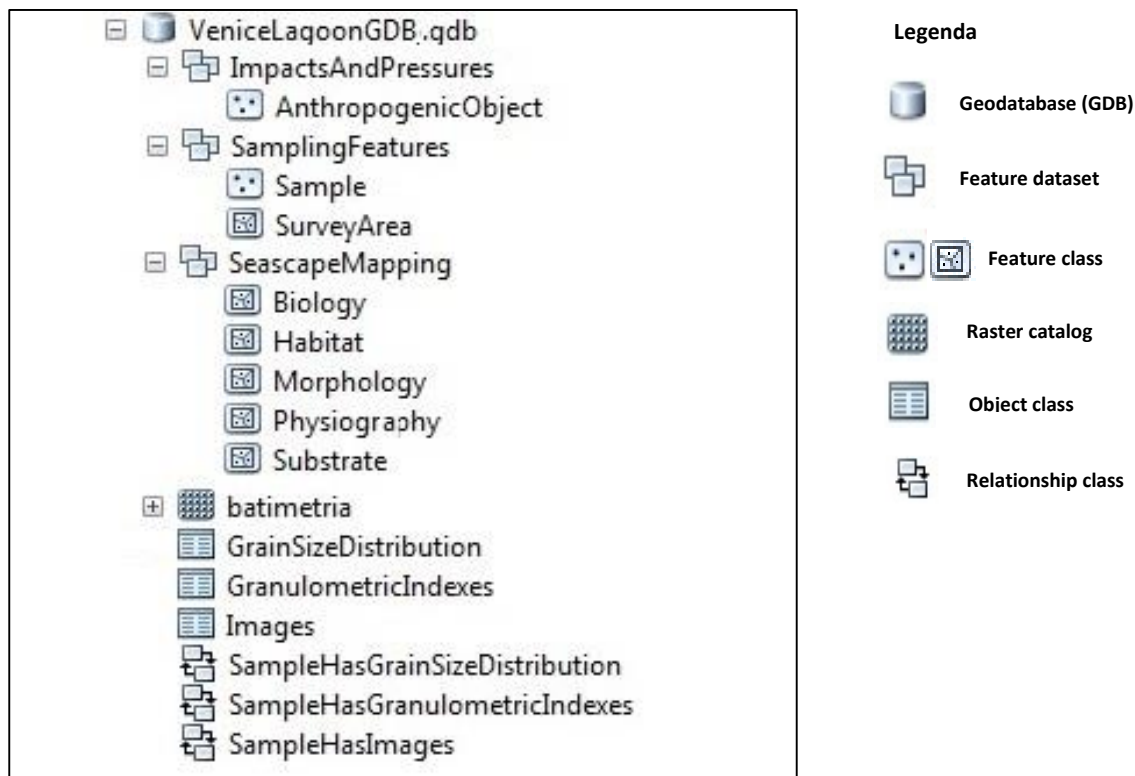


Figura 15: esempio della struttura del *geodatabase* realizzato con i dati della laguna di Venezia.

Per il seguente lavoro sono state realizzate 6 *feature class* basate sul sistema di classificazione sopra citato:

- 1) *feature class* fisiografia
- 2) *feature class* morfologia
- 3) *feature class* substrato
- 4) *feature class* biologia
- 5) *feature class* oggetti antropogenici
- 6) *feature class* habitat

(Fig. 16).



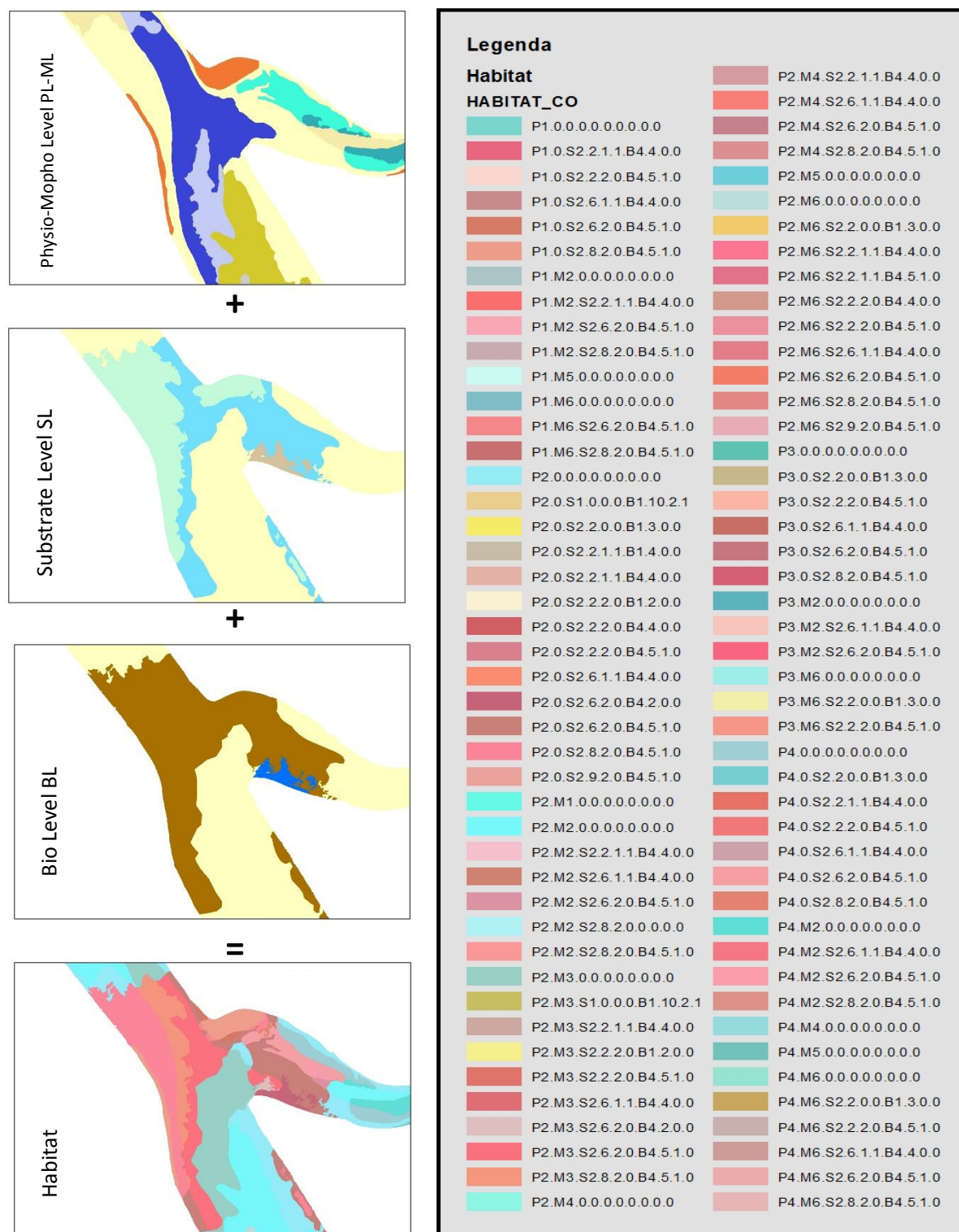


Figura 16: esempio di visualizzazione della *feature class* fisiografica e morfologica (*Physio-Morpho Level*), della *feature class* substrato (*Substrate Level*), della *feature class* biologia (*Bio Level*) e della *feature class* habitat, derivata dalla somma di tutte le precedenti.

Ogni *feature class* è stata sviluppata in modo gerarchico così da avere un solo livello per la *feature class* fisiografia (PL); un sottolivello per la *feature class* morfologia (ML-ML1); 4

sottolivelli (SL-SL1-SL2-SL3-SL4) per la *feature class* substrato così come per la *feature class* biologia (BL-BL1-BL2-BL3-BL4) (vedi allegati 1, 2, 3).

L'uso di questa tabulazione, sviluppata appositamente per questa tipologia di ambienti, ha avuto lo scopo di testare se una classificazione standard, creata sulla base di descrittori sia geologici che biologici, sia in grado di essere utilizzata in situazioni simili, permettendo così di ottenere dati omogenei nel tempo.

Grazie a questa classificazione si cerca di rendere più semplice la comprensione di eventuali problemi ambientali e quindi le misure di tutela da mettere in atto.

### 3. Risultati

#### 3.1 Mappa delle unità morfologiche e delle unità fisiografiche del canale San Felice

L'analisi dei dati batimetrici MBES (Fig. 17), in un *range* di profondità tra 30 cm e 21.5 m del canale di San Felice, ci ha permesso di mappare le forme fisiografiche e morfologiche che caratterizzano il fondale del canale.

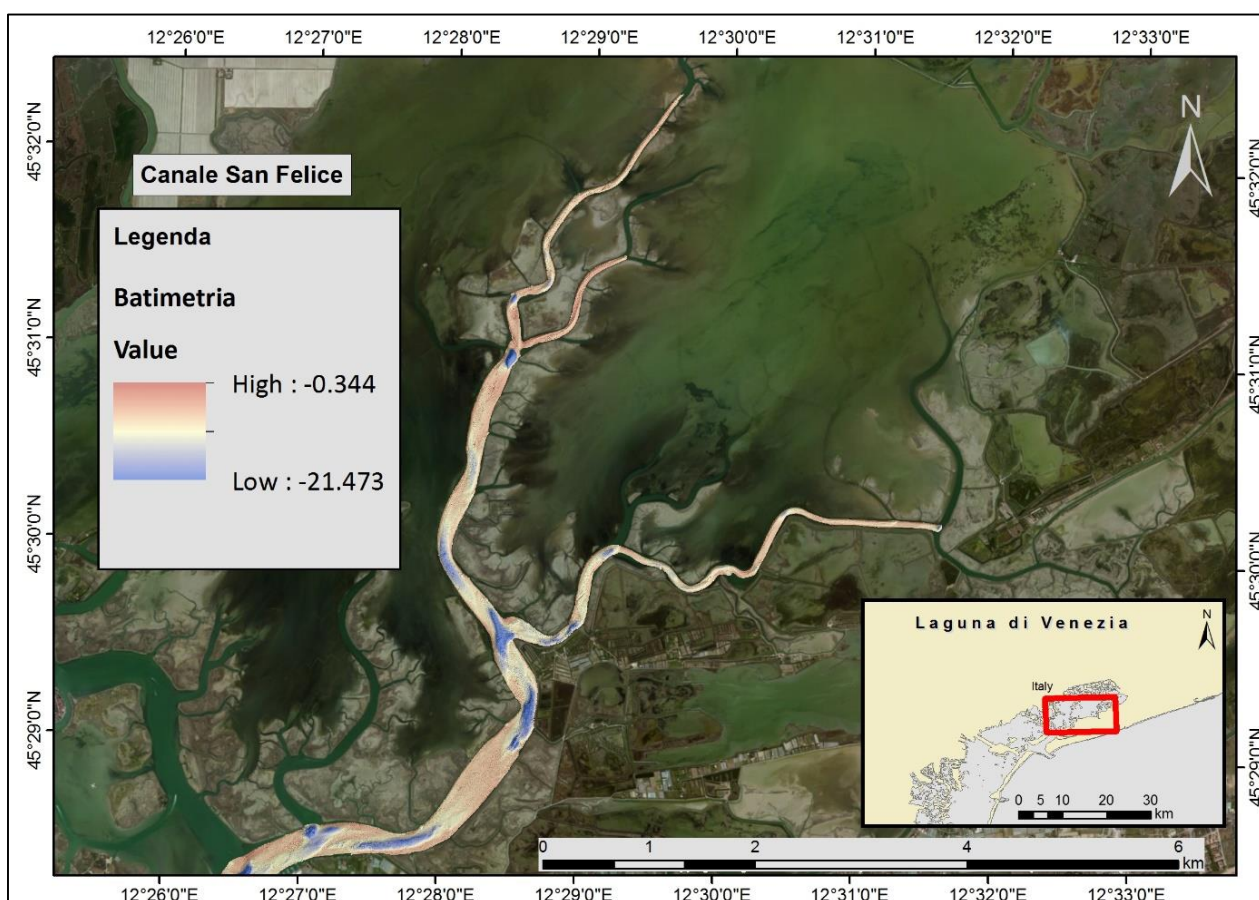


Figura 17: dati batimetrici dell'area di studio.

In particolare è stata fatta un'iniziale distinzione tra unità fisiografiche e unità morfologiche. Le prime comprendono le forme estese che si possono comunemente osservare in tutti i canali (*Channel, Pool, Bar, Point Bar*); le seconde, invece, includono strutture di dimensioni minori, la cui presenza/assenza dipende dalle condizioni locali del sito in cui si trovano (fattori idrodinamici, caratteristiche sedimentologiche del fondale, cause antropiche) (*Dunes fields, Cut bank, Dredging mark, Furrow, Obstacle mark, Tool mark, Scour hole, Scour, Slamp block, Unknown*).

Inoltre sono stati mappati tutti gli oggetti antropici, intendendo qualsiasi oggetto, forma o particolare conformazione che non può essere riconducibile alla natura, ma bensì a delle modificazioni dell'uomo come ad esempio: *Acquaculture structure, Anchor weight, Artificial bar, Artificial dike, Bricola, Cable, Crate, Fishing gear, Mooring post, Pole, Rubble, Tire, Trash aggregation, Trash rubble, Construction reef, Construction rubbles, Trash bit, Breakwater, Wreck, Unknown*.

La figura 18 mostra l'unione dei due *layer* (fisiografico e morfologico) per rendere la visualizzazione più immediata.

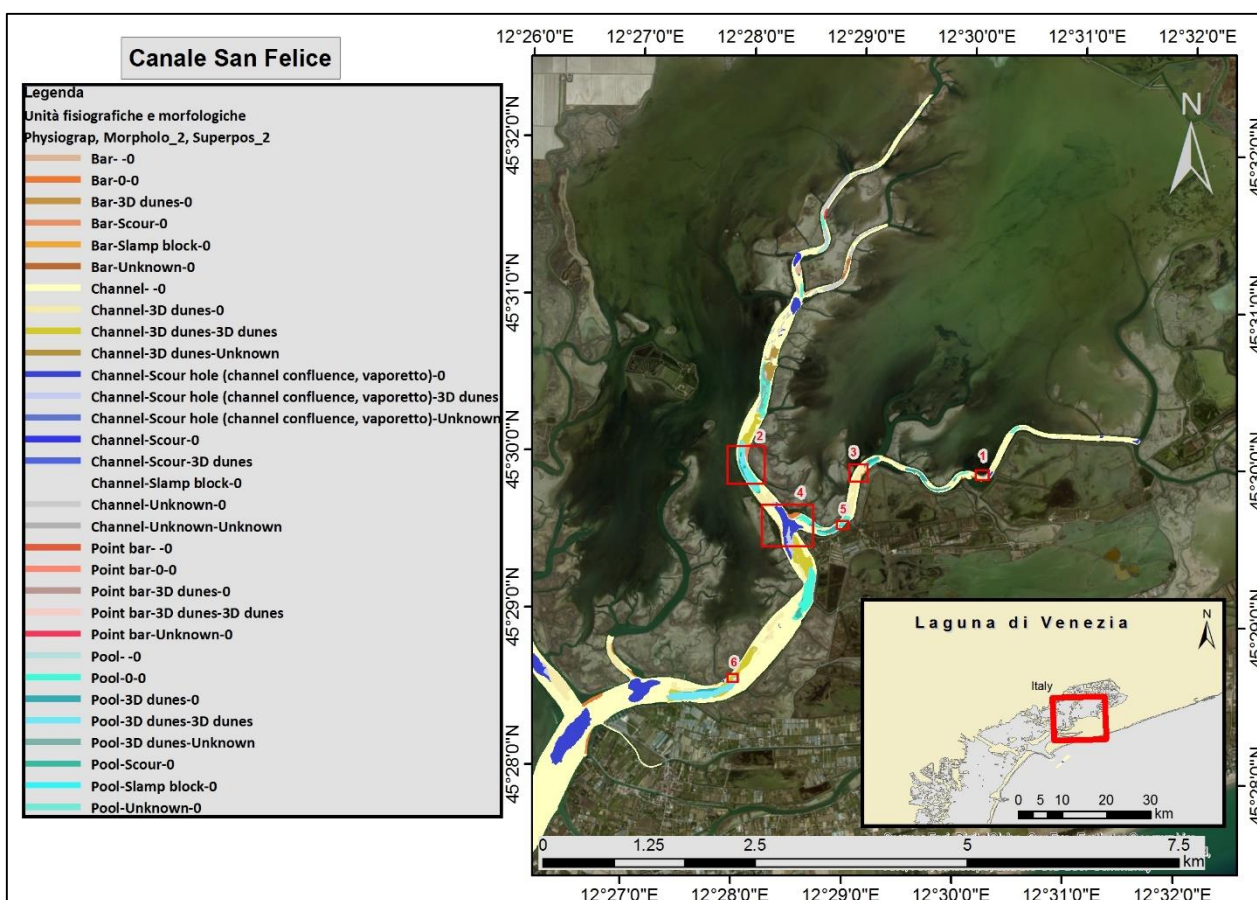


Figura 18: Localizzazione e mappatura delle unità morfologiche e fisiografiche dell'area di studio.

Le forme fisiografiche che sono state mappate all'interno dell'area di studio sono:

- *Channel*: termine generale per indicare la parte del canale piatta o comunque senza particolari forma fisiografiche.
- *Bar e Point bar*: area relativamente poco profonda rappresentata in genere da un crinale sommerso o da un cumulo costituito o coperto da sabbia o altro materiale non consolidato. A volte può anche essere costituito da roccia o altro materiale duro (Jackson 1997) (Fig. 19-1).

- *Pool*: depressioni del fondale la cui origine erosiva è strettamente legata all'idrodinamica: in una curva nel letto di un canale, il flusso incidente erode il lato esterno del fondale, generando un bacino concavo. Queste forme fisiografiche sono simili agli *scour*, ma il loro profilo è solitamente di forma ellissoidale e con profondità relativa inferiore (Fig. 19-2).

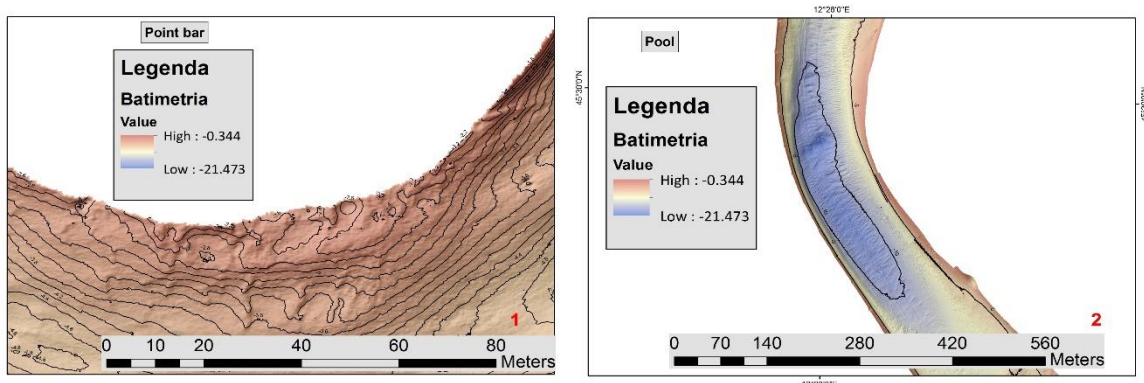


Figura 19: esempi di due forme fisiografiche trovate nell'area di studio.

Tra le forme morfologiche, sono state mappate:

- *Campi di dune*: depositi di sedimento di origine naturale, disposti trasversalmente rispetto alla direzione principale della corrente. I campi identificati possono essere anche molto diversi tra loro, presentando dune di altezza e lunghezza d'onda variabile. Sono facilmente riconoscibili per il *pattern* di regolarità spaziale (Fig. 20-3).
- *Scour e scour hole*: distinte depressioni nel fondale marino, la cui origine è legata alla combinazione di diversi processi idrodinamici. Gli *scour hole* si incontrano nell'area in cui si incrociano due o più canali, gli altri si possono trovare localizzati in varie zone (Fig. 20-4).
- *Unknown*: forme a cui non si è attribuita un'identificazione precisa (Fig. 20-5).
- *Slamp block*: blocchi di materiale vario (Fig. 20-6).

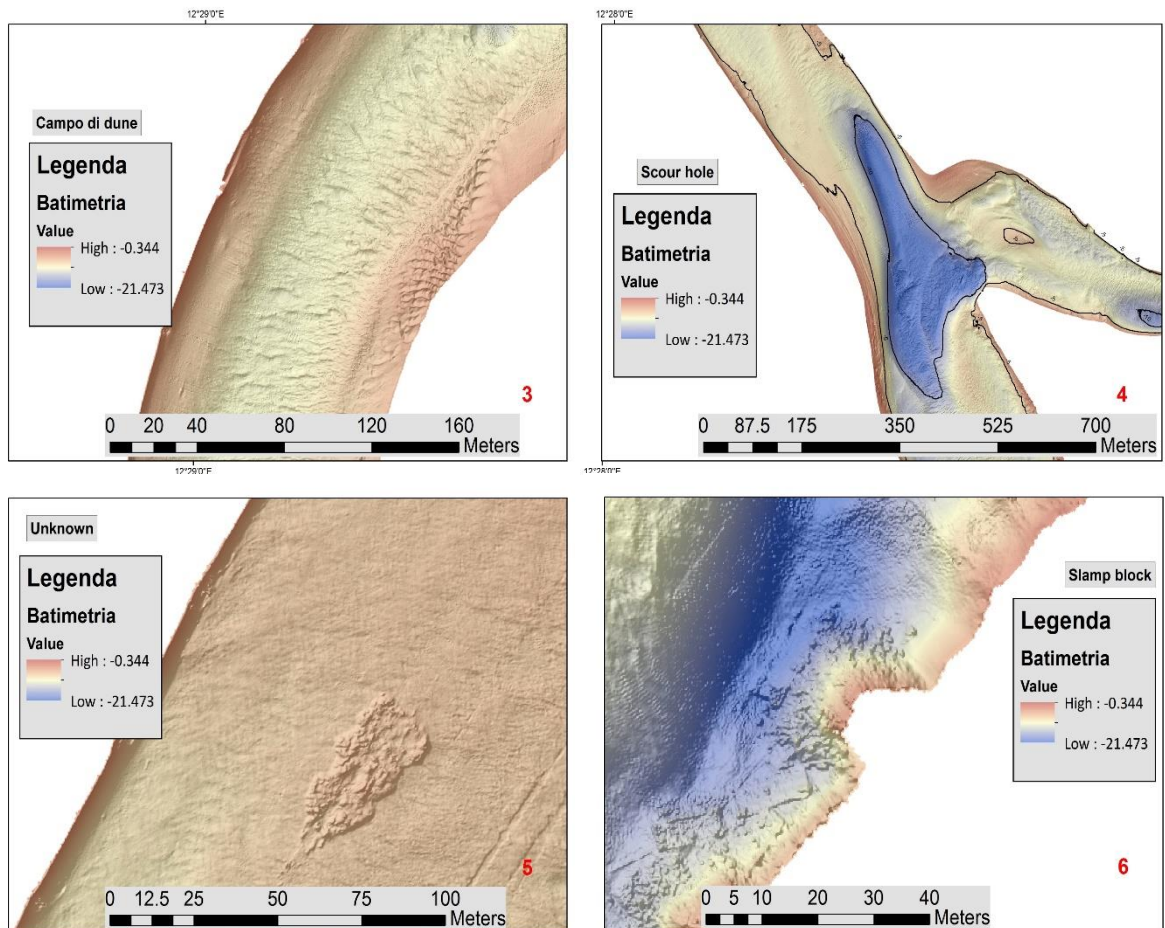


Figura 20: esempi delle quattro forme morfologiche trovate nell'area di studio.

Sommando l'area dei poligoni disegnati per ognuna delle unità, sia morfologiche che fisiografiche, è emerso che le figure morfologiche più abbondanti sono i campi di dune (0,46 km<sup>2</sup>) per lo più presenti nella parte centrale del bacino.

Tra le altre unità fisiche notiamo la presenza di accumuli deposizionali (*bar* e *point bar*) localizzati nella parte interna del bacino soprattutto nelle aree che presentano forma sinuosa e quasi sempre accompagnati dalla presenza di *pool*.

Per quanto riguarda le aree depresse, come si nota dalla mappa, gli *scour hole* sono localizzati in corrispondenza delle confluenze con altri canali, proprio a causa del differente idrodinamismo che si crea in queste zone.

### 3.2 Mappa degli oggetti antropici rinvenuti nel canale San Felice

Gli oggetti antropici ritrovati in questo canale della laguna sono per lo più rappresentati da bricole che vengono utilizzate per tracciare le vie navigabili e infatti, come si nota dalla Fig. 21, la maggior

parte di esse è localizzata ai margini del canale. Altri oggetti non sono stati riconosciuti quindi sono stati descritti come *Unknown*.

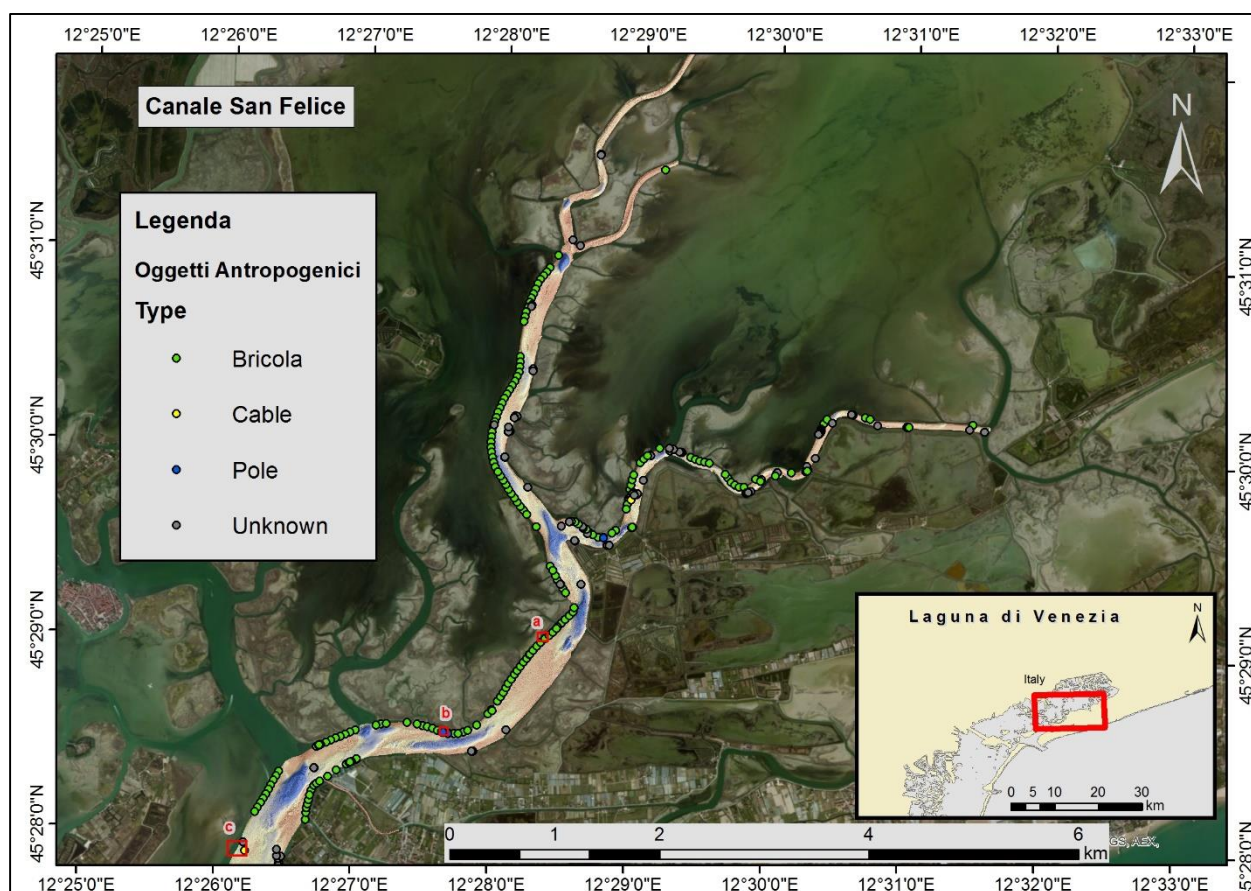


Figura 21: mappa degli oggetti antropici trovati in laguna.

Tra le forme antropogeniche sono stati mappati i seguenti oggetti:

- *Bricola*: oggetti costituiti da uno o più pali, in genere di legno, utilizzati per segnalare le vie navigabili della laguna (Fig. 22a).
- *Cable*: strutture che servono come condotti per l'elettricità o come linee di supporto per altro, possono essere sommerse o galleggianti (<http://www.cmeccatalog.org/classification/unit/217.html>) (Fig. 22b).
- *Pole*: pali di vari materiali che si possono trovare sia orizzontalmente rispetto al fondale che verticalmente (Fig. 22c).

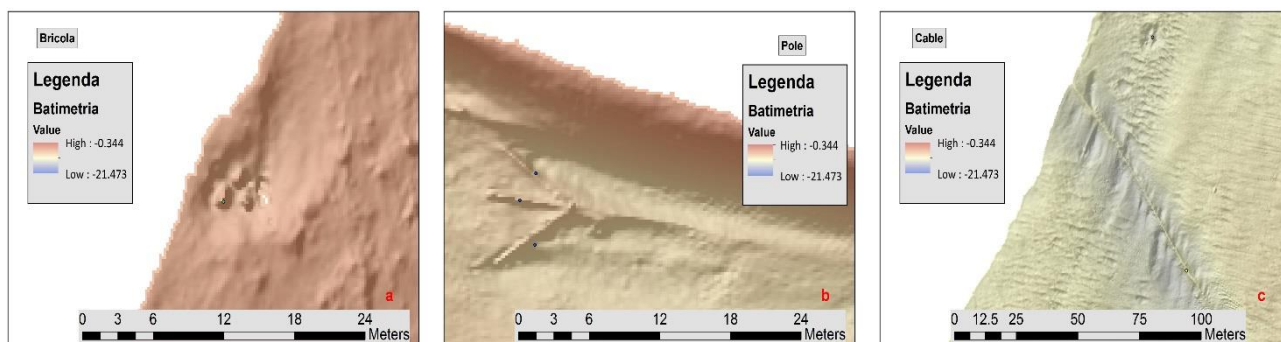


Figura 22: esempi di tre oggetti antropici trovati nell'area di studio: a) bricola, b) *pole*, c) *cable*.

### 3.3 Mappa del substrato

#### 3.3.1 Classificazione del substrato

Per poter assegnare ad ogni campione una classe di sedimento e un *textural group*, tutti i dati ottenuti sia dal setacciamento che dal LISST, sono stati processati tramite GRADISTAT, un software che utilizza il foglio di calcolo Excel per effettuare analisi statistiche e che risulta molto versatile poiché analizza sia dati di grandezza standard che di grandezza personalizzata e produce varie informazioni sedimentologiche; in questo modo abbiamo ottenuto delle classificazioni univoche di ogni singola stazione di campionamento (Tabella 1).

SAMPLE	GRAVEL%	SAND%	MUD%	D50 ( $\mu\text{m}$ )	WENTWORTH CLASS	TEXTURAL GROUP
HM2015SFEB1	0.01	0.13	0.86	19.32	Very Coarse Silt	Slightly Gravelly Sandy Mud
HM2015SFEB2	0.16	0.33	0.51	61.09	Very Coarse Sand	Gravelly Mud
HM2015SFEB3	0.11	0.19	0.70	25.49	Medium Sand	Gravelly Mud
HM2015SFEB4	0.04	0.24	0.71	24.40	Medium Sand	Slightly Gravelly Sandy Mud
HM2015SFEB5	0.40	0.18	0.43	540.58	Very Fine Gravel	Muddy Gravel
HM2015SFEB6	0.01	0.03	0.96	12.91	Very Coarse Silt	Slightly Gravelly Mud
HM2015SFEB7	0.00	0.16	0.84	16.07	Coarse Silt	Sandy Mud
HM2015SFEB8	0.00	0.25	0.75	21.77	Very Coarse Silt	Slightly Gravelly Sandy Mud



HM2015SFEB9	0.01	0.32	0.66	25.67	Fine Sand	Slightly Gravelly Sandy Mud
HM2015SFEB10	0.01	0.64	0.35	108.48	Fine Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand
HM2015SFEB11	0.03	0.11	0.86	18.17	Fine Sand	Slightly Gravelly Sandy Mud
HM2015SFEB12	0.06	0.69	0.25	245.22	Coarse Sand	Gravelly Muddy Sand
HM2015SFEB13	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
HM2015SFEB14	0.07	0.07	0.86	14.44	Medium Sand	Gravelly Mud
HM2015SFEB15	0.20	0.69	0.11	287.50	Very Fine Gravel	Gravelly Muddy Sand
HM2015SFEB16	0.00	0.37	0.63	33.38	Very Fine Sand	Slightly Gravelly Sandy Mud
HM2015SFEB17	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d
HM2015SFEB18	0.00	0.41	0.59	53.05	Very Coarse Silt	Slightly Gravelly Sandy Mud

Tabella 1: dati ricavati da GRADISTAT per ogni campione; per i campioni HM2015SFEB13 e HM2015SFEB17 i dati non sono disponibili.

I dati utilizzati per la mappatura del substrato che segue, si riferiscono ai 7 *texturale group* della tabella 1.

### 3.3.2 Classificazione *backscatter*

Per mappare il substrato sono stati utilizzati i dati di *backscatter* usando un metodo di classificazione automatico denominato *Jenks* con 3 intervalli.

I dati ottenuti tramite l'algoritmo di *clustering* di Jenks ci hanno permesso di ottenere la mappa con i seguenti intervalli di intensità:

- -44.71 - -28.25 (marrone scuro)
- -28.25 - -23.38 (arancione)
- -23.38 - -0.53 (giallo)

(Fig. 23).

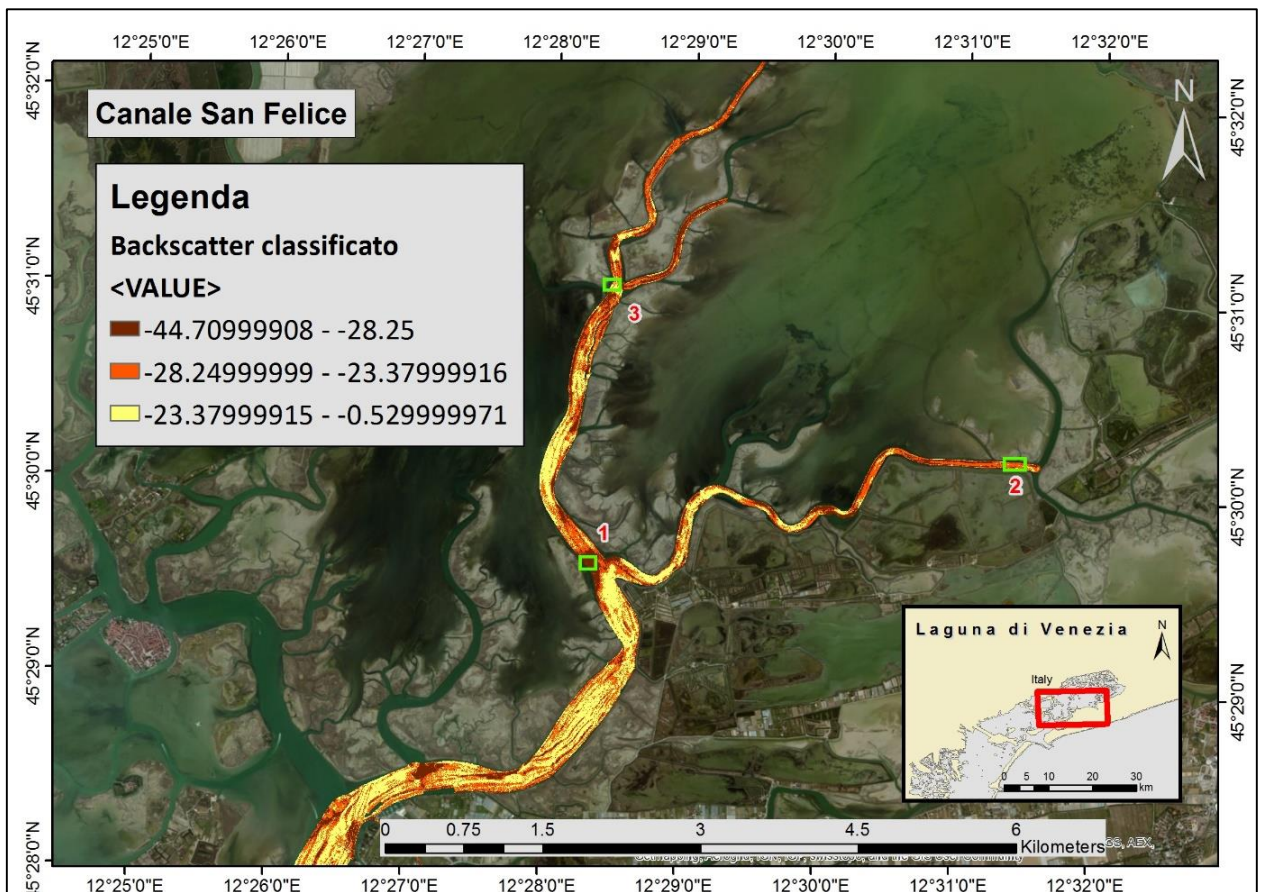


Figura 23: visualizzazione area di studio con mosaico di *backscatter* classificato con metodo Jenks-3 intervalli.

Il passaggio successivo è stato assegnare a ciascuna classe un valore granulometrico che è stato ottenuto facendo un confronto tra i gruppi tessiturali dei campioni di *ground-truth*. L'obiettivo dei prelievi di sedimento era infatti la determinazione delle caratteristiche di questi 3 intervalli identificati.

Osservando la distribuzione dei sedimenti con le regioni di *backscatter* è stato possibile raggruppare gli iniziali 7 gruppi tessiturali trovati: *Slightly Gravelly Mud*, *Gravelly Mud*, *Muddy Gravel*, *Slightly Gravelly Mud*, *Sandy Mud*, *Slightly Gravelly Muddy Sand*, *Gravelly Muddy Sand*, in 4 gruppi tessiturali semplificati in base alla simile composizione granulometrica ovvero: *Sandy Mud*, *Gravelly Mud*, *Muddy Gravel*, *Muddy Sand*. Un'ulteriore raggruppamento è stato fatto per far combaciare le 4 classi tessiturali ottenute con la classificazione del *backscatter* in 3 intervalli di Jenks che abbiamo deciso di usare; quindi i gruppi tessiturali che davano segnale simile sono stati accorpati per cui gli intervalli di *backscatter* hanno assunto questo significato:

classe color marrone (- 44.71 - -28.25): *Sandy Mud*

classe color arancione (-28.25 - -23.38): *Sandy Mud-Muddy Sand-Gravelly Mud*

classe color giallo (-23.38 - -0.53): *Muddy Sand- Muddy Gravel*

(Fig. 24)

La prima classe indica un lieve ritorno di segnale che è caratteristico di fondali di tipologia *mobile*; la seconda classe indica un ritorno di segnale medio, caratteristico anche questo di fondali di tipologia *mobile*, ma spesso misti a particellato grossolano anche organico; la terza classe indica un ritorno di segnale molto intenso riscontrato in substrati di tipologia *hard*.

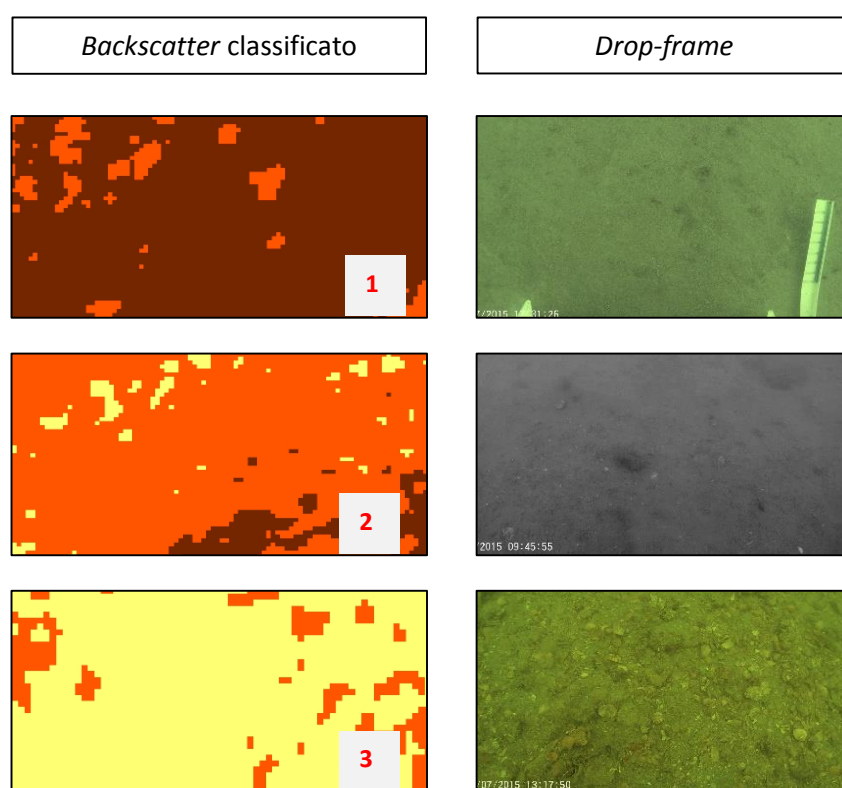


Figura 24: a sinistra immagini di *backscatter* classificato comparate a destra con *drop-frame*.

Attraverso le analisi di *ground-truth* ci siamo resi conto che alcuni campioni pur avendo *textural group* differenti mostravano lo stesso *backscatter* questo, come già ci aspettavamo, è dovuto alla presenza di detrito conchigliare che potrebbe non essere stato pescato durante la bennata, ma che comunque è presente, visibile anche dalle foto. Tale presenza induce una forte riflessione dell'onda acustica e dunque un'alta intensità di *backscatter*. Per esempio i campioni HM2015SFE0101 e HMSFE0107 risultano entrambi dalle analisi granulometriche come *Sandy Mud*, ma il primo da' segnale più intenso (arancione) e dalle foto si nota la

presenza di detrito conchigliare, il secondo da' segnale molto debole (marrone) e la foto non mostra detrito conchigliare.

### 3.3.3 Caratteristiche del substrato

I dati granulometrici trattati con GRADISTAT e gli arrangiamenti effettuati per utilizzare la classificazione di Jenks, hanno evidenziato quattro differenti gruppi di sedimento: fango ghiaioso (*Gravelly Mud*), sabbia fangosa (*Muddy Sand*), ghiaia insabbiata (*Sandy Gravel*) e fango sabbioso (*Sandy Mud*) (Fig. 25).

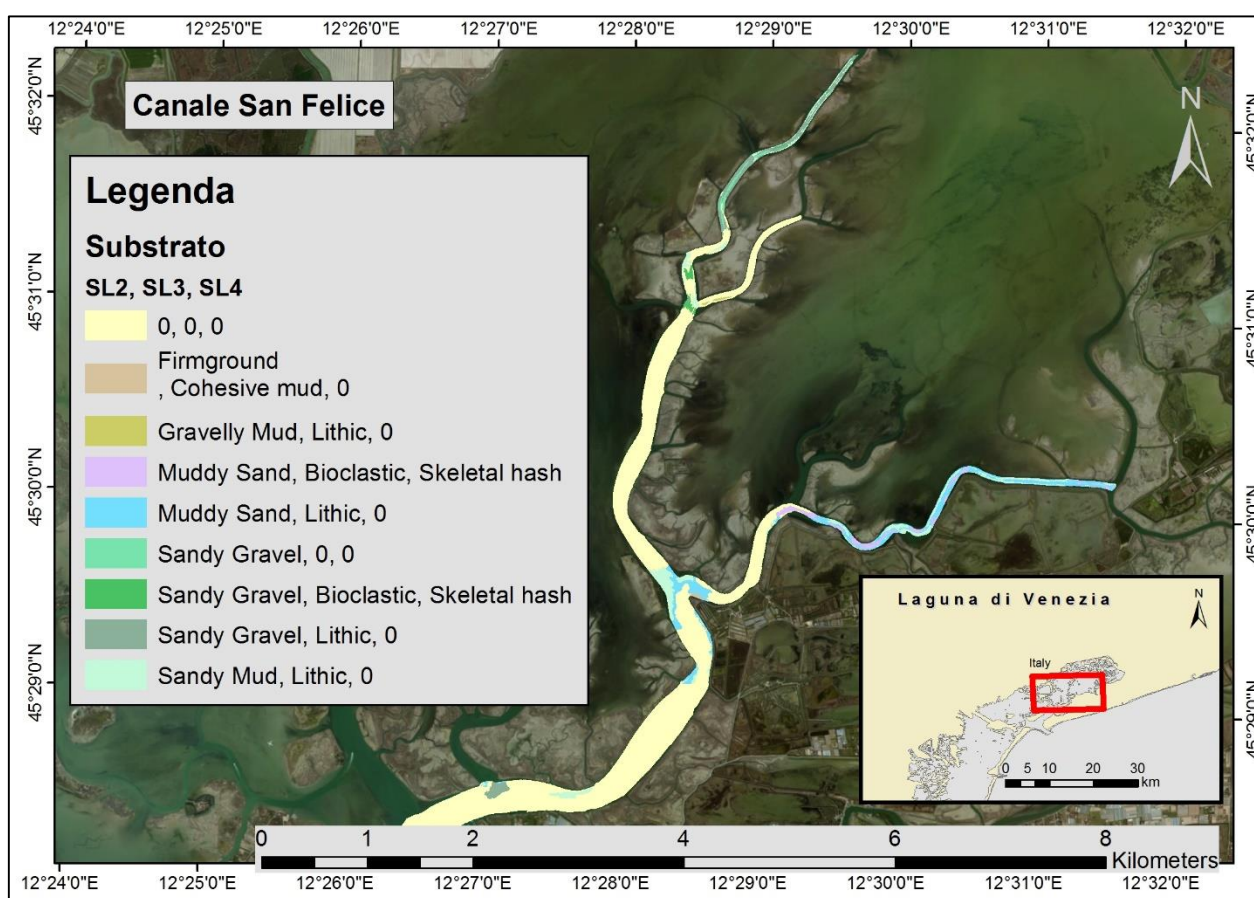


Figura 25: Mappa delle caratteristiche del substrato dell'area di studio; la voce "0,0,0" della legenda indica la parte del canale in cui non è stato possibile interpretare il dato di *backscatter*.

Come si vede dal grafico in figura 26, il canale risulta caratterizzato soprattutto da sabbia fangosa (*Muddy sand*) che occupa circa 0,25 km<sup>2</sup>, l'altra tipologia di substrato molto abbondante è il fango sabbioso (*Sandy mud*) che occupa circa 0,20 km<sup>2</sup> su un totale di area di 0,6 km<sup>2</sup>.

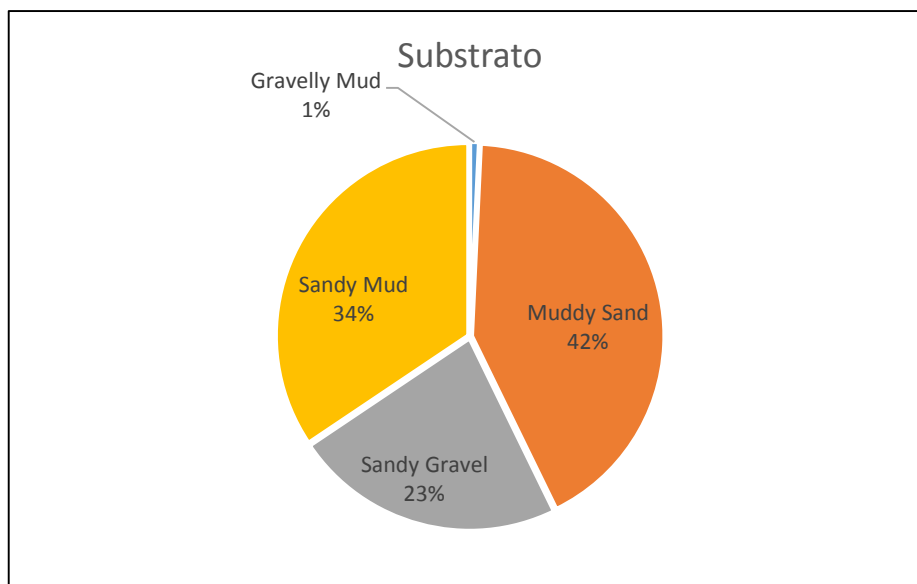


Figura 26: grafico con le percentuali dei diversi tipi di substrato presenti nelle aree di studio.

Grazie ai prelievi di sedimento effettuati tramite benna *Van Veen* è stato possibile dare una descrizione per ognuna delle quattro classi in modo da poter avere una descrizione di tutta l'area oggetto di studio.

Utilizzando i dati di *backscatter* delle aree in cui erano state effettuate le bennate e quindi le analisi granulometriche, è stato possibile estendere i risultati a tutto il canale per ogni area che presentava *backscatter* classificato allo stesso modo.

Dall'incrocio di immagini, analisi del sedimento e dati *backscatter* è emerso che le aree che danno segnale molto intenso in dB non sono caratterizzate da fondo duro, ma da detrito conchigliare molto grossolano che in questo studio rappresenta il sedimento ghiaioso (*Gravel*) (ad es. HM2015SFE0105), da letti di mitili (ad es. HM2015SFE0117) o dalla presenza di sedimento consolidato (ad es. HM2015SFE0109).

Per attribuire una descrizione ad ogni sito di campionamento è stato utilizzato uno schema sviluppato appositamente per i fondali dei canali lagunari (Vedi allegato 2).

Il *backscatter* si presenta congruente con ciò che ci ha evidenziato il *ground-truth* e con ciò che ci aspettavamo trattandosi di un ambiente di transizione. Infatti i dati dB descrivono la maggior parte del canale con substrato di tipologia *mobile* e, come abbiamo visto una grande parte delle stazioni è caratterizzata da fondale fangoso.

## 3.4 Mappa della componente biologica

### 3.4.1 Caratteristiche biologiche

Per descrivere a livello biotico le varie aree della zona studiata, abbiamo tenuto in considerazione le diverse risposte del *backscatter* e le immagini del *drop-frame* presenti in ognuna di queste.

Anche in questo caso abbiamo utilizzato dati ottenuti dalle zone in cui era presente il riscontro del *ground-truth*, per estendere i risultati a tutta l'area di studio.

Per descrivere la parte biologica sono stati utilizzati gli schemi riportati nell'allegato 3.

Dalle analisi dei dati *backscatter* congiuntamente a quelle del *ground-truth* è stato possibile ricavare una mappa che caratterizza la copertura biologica in termini di macrofite, epifauna (o infauna evidenziata da tracce in superficiali) e presenza di biocostruzioni (Fig. 34).

### 3.4.2 *Ground-truth*

I video ottenuti da *drop-frame* sono stati visualizzati attentamente e da ognuno è stata estrapolata un'immagine rappresentativa con dimensioni standard in modo da poter effettuare un'analisi visiva del tipo di substrato e degli organismi presenti in superficie, epifauna o tracce in superficie di infauna.

Questo sistema ci ha consentito di avere 53 immagini, 2 per il sito HM2015SFE0111 e 3 per gli altri 17 siti. In ogni immagine doveva essere presente il metro di riferimento, ma purtroppo, in base alle condizioni di corrente dei siti, non sempre è rimasto visibile.

Il riconoscimento delle comunità tramite fotografie sicuramente non è una delle tecniche più precise, ma in questo studio l'obiettivo non era la descrizione completa delle comunità bentoniche, che richiederebbe studi molto più approfonditi e analisi di campioni biologici raccolti *in situ*, ma era riuscire ad ottenere una mappatura estensiva dell'area studiata definendone le caratteristiche biologiche generali. A tal fine il riconoscimento degli organismi è stato effettuato tramite analisi delle immagini fotografiche estratte dai video acquisiti con le *drop-frames*. Malgrado questo approccio non permetta sempre l'identificazione dei *taxa* ad un livello approfondito, né la caratterizzazione completa dei popolamenti, l'abbiamo ritenuto appropriato ai fini del presente progetto.

I campioni HM2015SFE0101, HM2015SFE0102, HM2015SFE0103, HM2015SFE0104, HM2015SFE0106, HM2015SFE0107, HM2015SFE0108, HM2015SFE0110 e HM2015SFE0118,

classificati dal *backscatter* come fondali *mobile*, mostrano effettivamente un fondale di tipo fangoso e presentano, quasi tutti, una serie di gallerie (“*burrow*”) dal foro d’ingresso circolare attribuibili al crostaceo decapode (appartenente alla famiglia *Thalassinidae*) *Upogebia* spp. (Griffis & Suchanek, 1991; Candisani *et al.*, 2001) (Fig. 27).

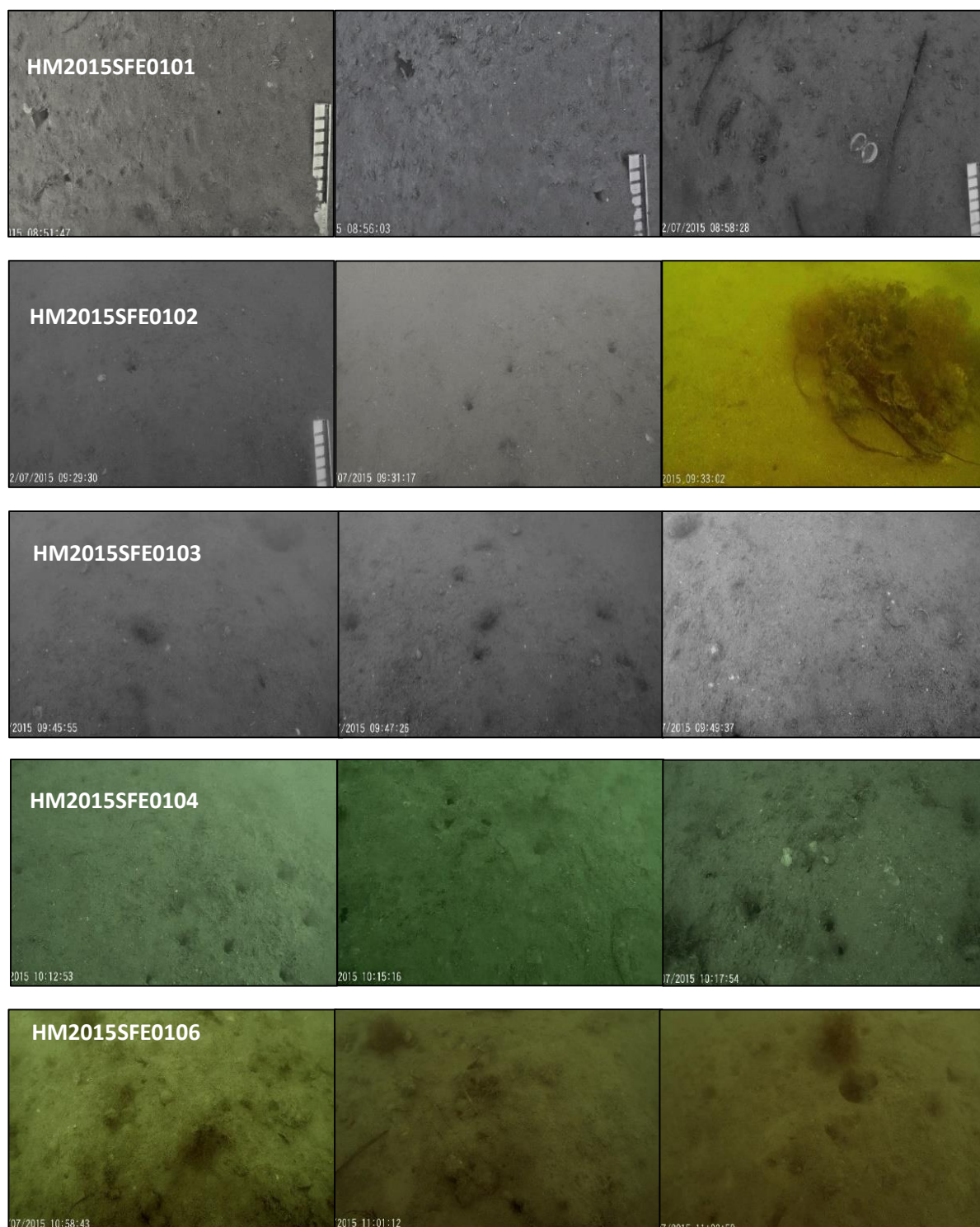


Figura 27: Immagini estratte dalle *drop-frame* dei campioni HM2015SFE0101, HM2015SFE0102, HM2015SFE0103, HM2015SFE0104 e HM2015SFE0106.

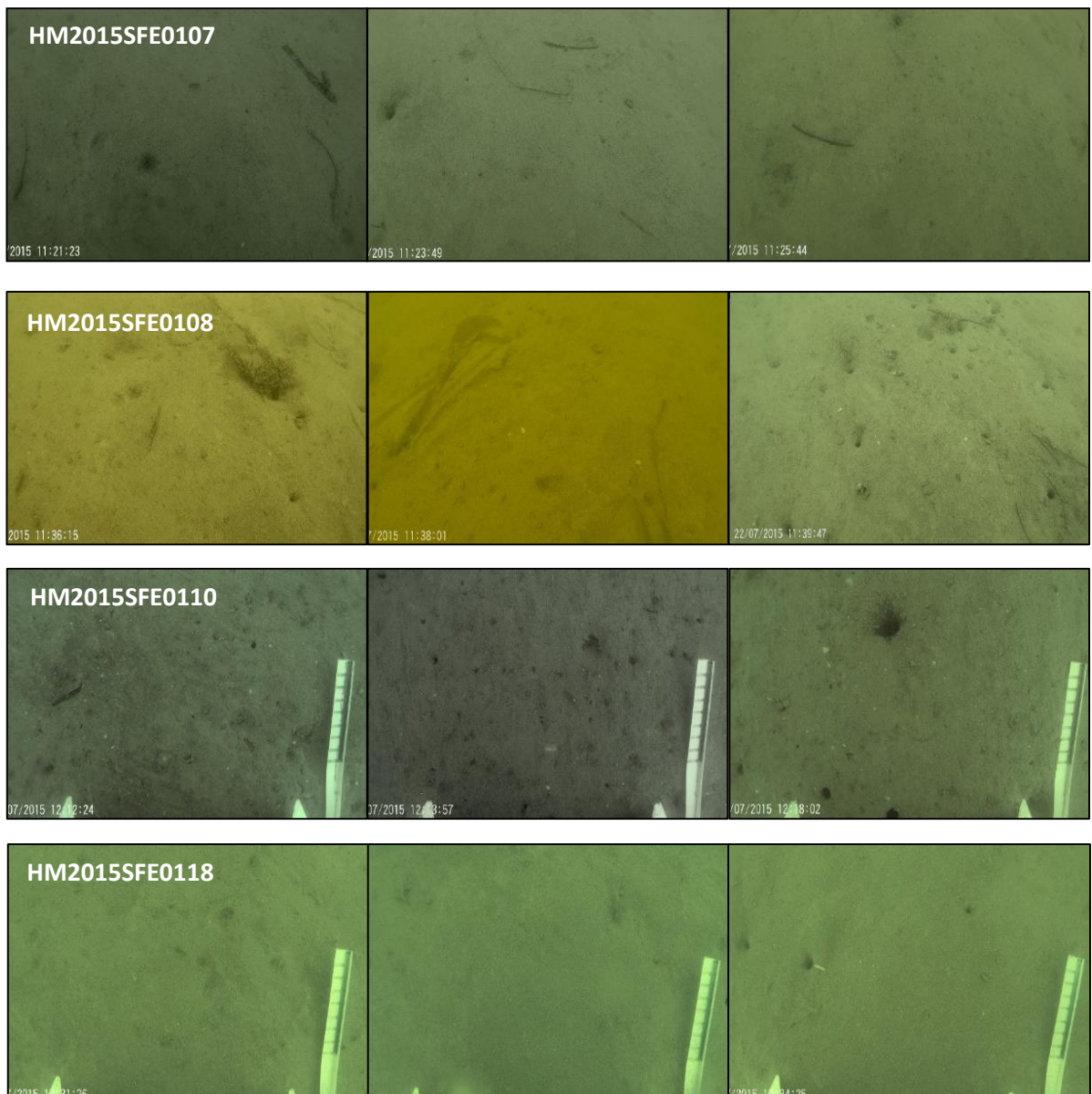


Figura 27: Immagini estratte dalle *drop-frames* dei campioni HM2015SFE0107, HM2015SFE0108, HM2015SFE0110 e HM2015SFE0118.

Dall'elaborazione dei dati di *backscatter* sono state rilevate aree con alta intensità di dB per cui abbiamo scelto alcuni di questi siti per verificarne le caratteristiche al *ground-truth*. Tra questi siti ritroviamo le aree con i campioni HM2015SFE0105, HM2015SFE0111 e HM2015SFE0112 classificati dall'analisi granulometrica come sabbie fangose. Queste aree però sono caratterizzate dalla presenza di una grande copertura di tanatocenosi che rende lo strato superficiale abbastanza duro da non consentire alle onde sonore di penetrare dando quindi un segnale di *backscatter* molto forte (Fig. 28).



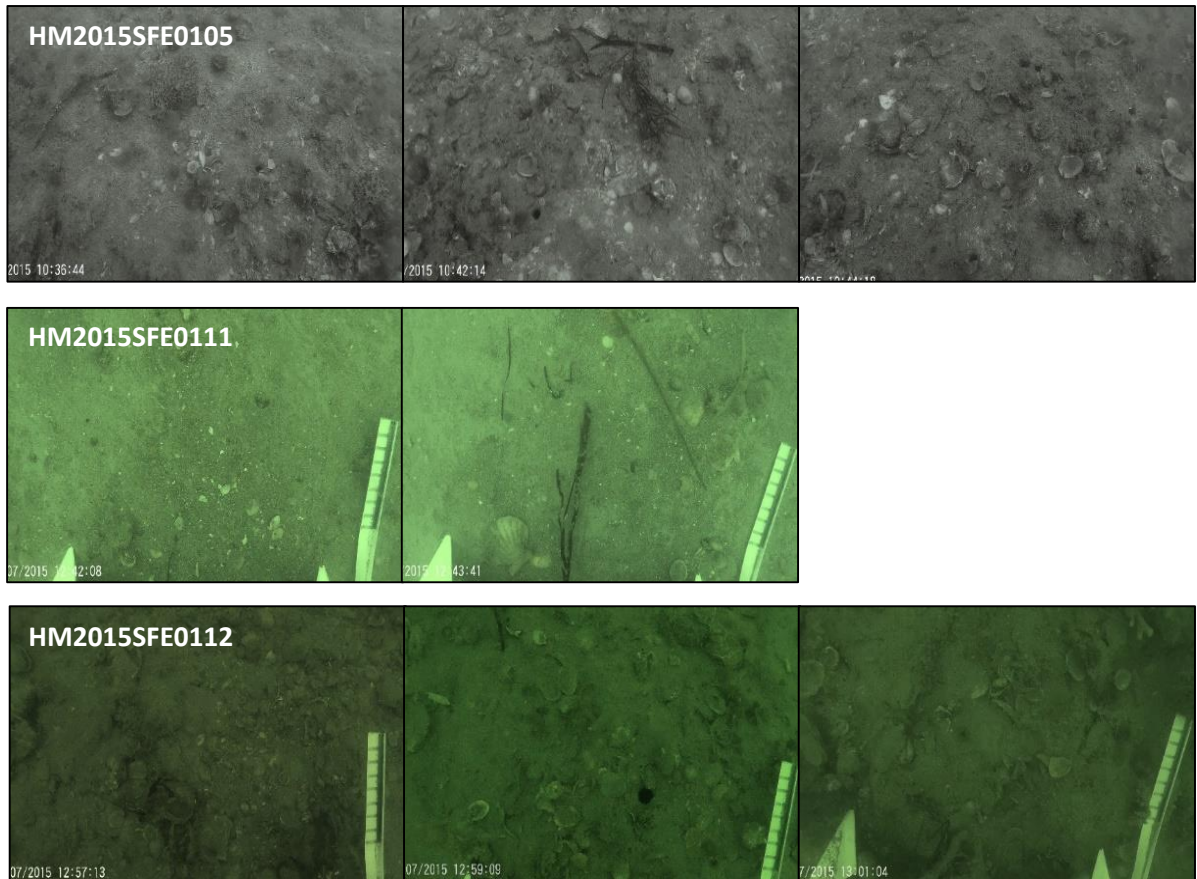


Figura 28: Immagini estratte dalle *drop-frame* del campione HM2015SFE0105, HM2015SFE0111 e HM2015SFE0112.

Il campione HM2015SFE0109 mostra un substrato consolidato, che presenta fori che potrebbero essere associati a bivalvi della famiglia *Pholadidae*.

L'analisi granulometrica descrive il sedimento come una sabbia fangosa. Tuttavia, pur cercando, come per tutti i campioni, di fare la bennata quanto possibile in prossimità dei *drop-frame*, in questo caso, il prelievo del sedimento si è svolto a pochi metri di distanza, appena al di fuori dell'area in cui i dati *backscatter* davano segnale di substrato *hard* in accordo con le immagini ricavate (Fig. 29).



Figura 29: Immagini estratte dalle *drop-frame* del campione HM2015SFE0109.

Il campione HM2015SFE0113 rappresenta un sito in cui la benna è risultata uno strumento non efficace per la raccolta del campione, per cui non abbiamo un riscontro della granulometria. Una delle cause possibili è che, sotto l'ampia copertura di tanatocenosi visibile dalle immagini, ci sia un substrato che potrebbe essere costituito da sedimento detritico consolidato e/o formazioni di origine biogenica quali, per esempio, banchi di ostriche (Fig. 30).

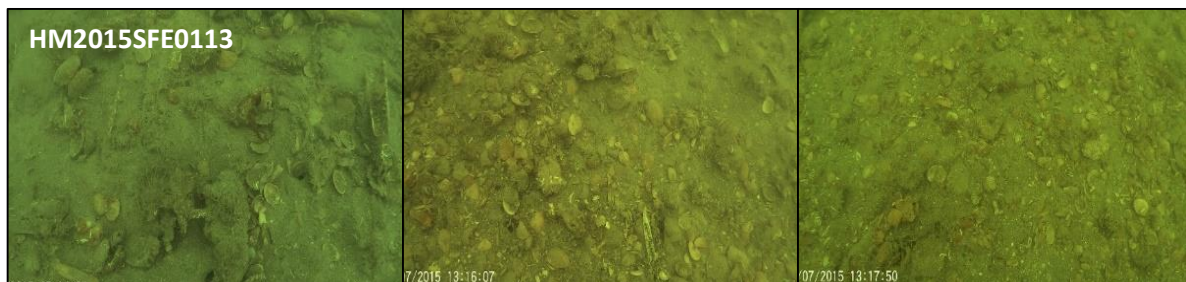


Figura 30: Immagini estratte dalle *drop-frame* del campione HM2015SFE0113.

I campioni HM2015SFE0114 e HM2015SFE0115 presentano un fondale di tipo più grossolano che viene descritto dalle analisi sedimentologiche più simile alle granulometrie delle sabbie e mostra delle biocostruzioni probabilmente associabili a policheti della famiglia dei Sabellaridi e anche uno scarso *mat* di *Gracilaria* spp. (*sensu lato*) (Fig. 31).

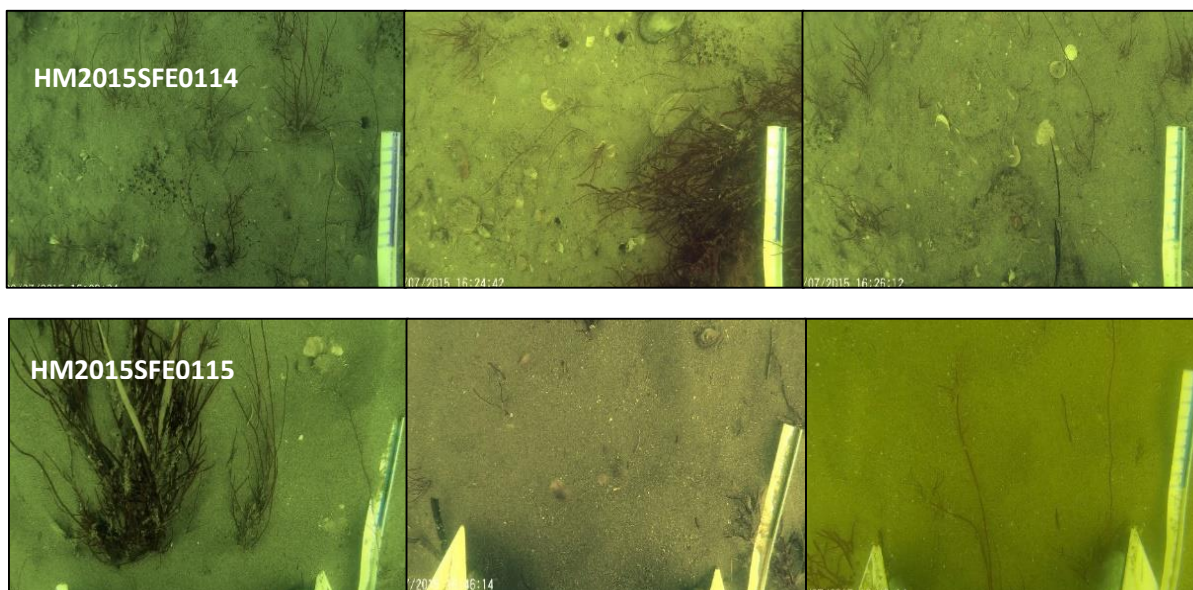


Figura 31: Immagini estratte dalle *drop-frame* dei campioni HM2015SFE0114 e HM2015SFE0115.

Il campione HM2015SFE0116 è caratterizzato da un substrato costituito da fango sabbioso che mostra un *mat* presumibilmente attribuibile a *Vaucheria* spp. (Fig. 32).

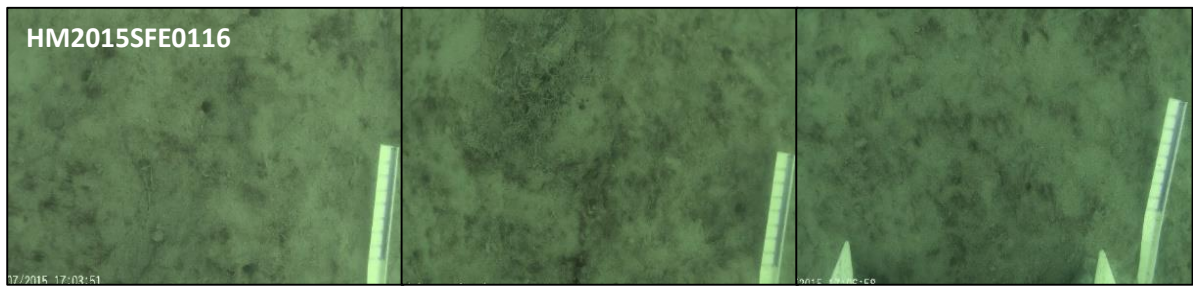


Figura 32: Immagini estratte dalle *drop-frame* del campione HM2015SFE0116.

Il campione HM2015SFE0117 presenta un ampio letto di mitili, presumibilmente *Mytilus galloprovincialis*, che spiega il forte segnale di *backscatter*; inoltre questa copertura biogenica ha reso impossibile prelevare campioni di sedimento tramite benna e quindi non è stato possibile effettuare analisi granulometriche (Fig. 33).



Figura 33: Immagini estratte dalle *drop-frame* del campione HM2015SFE0117.



Figura 34: mappa delle caratteristiche biologiche dell'area di studio; la voce "0,0,0" della legenda indica la parte del canale in cui non è stato possibile interpretare il dato di *backscatter*.

In questo studio si è cercato di identificare alcuni organismi animali o vegetali caratterizzanti gli habitat in *sensu lato* e gli organismi più ricorrenti sono risultati i decapodi talassinidi del genere *Upogebia*, riconoscibili dalla presenza delle loro tane circolari su un fondale di tipo fangoso (Fig. 35). Seppur questo non sia uno studio quantitativo, attraverso i dati *backscatter* analizzati, si è cercato di estendere le informazioni ricavate dalle singole stazioni di campionamento, alle altre aree che mostravano *pattern* di *backscatter* paragonabili.

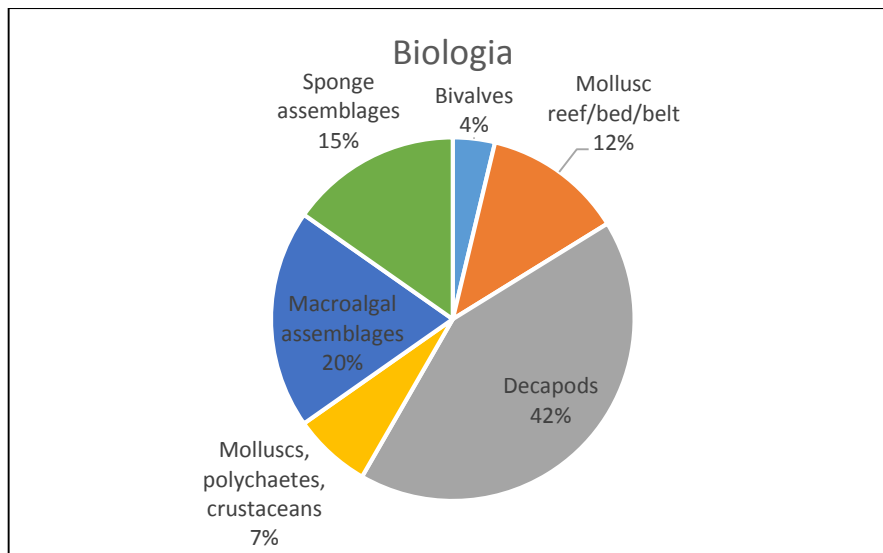


Figura 35: Grafico con le percentuali delle comunità mappate nell'area di studio ottenuto attribuendo le informazioni di *ground-truthing* alle classi previste dalle tabelle COCONET, ed estendendo le informazioni alla superficie del fondale con backscatter simile (per *Decapods* si intende il solo talassinide *Upogebia* e per *Bivalves* la sola presenza di esemplari appartenenti alla famiglia *Pholadidae*).

Abbiamo ipotizzato che alcune aree potessero essere costituite da spugne (*Sponge assemblages*) per la particolare tessitura mostrata dal *backscatter* che è paragonabile a quanto riportato in altri lavori (vedi Montereale Gavazzi, 2014), ma non abbiamo un riscontro di *ground-truth*.

Le aree che abbiamo classificato come *molluscs, polychaetes, crustaceans* sono aree che presentano varie comunità di cui non è stato possibile definire le caratteristiche a causa della difficoltà di riconoscimento dovuta sia all'abbondante tanatocenosi che alla tipologia di immagine.

### 3.5 Mappa degli habitat

#### 3.5.1 Classificazione habitat

In questo studio abbiamo classificato gli habitat sulla base delle geomorfologie, delle profondità, della tipologia di substrato e degli organismi riscontrati (Tab. 2).

Attraverso l'uso di schemi di classificazione, implementati nell'ambito del progetto europeo COCONET e in fase di pubblicazione, creati appositamente per la descrizione degli ambienti poco profondi, abbiamo cercato di sviluppare, e testare, un metodo standard di caratterizzazione di questi ambienti sulla base di descrittori geologici e biologici.

Tabella 2: Tabella riassuntiva in cui per ciascuna classe di habitat, a partire dalla prima colonna di sinistra, si riportano nell'ordine l'immagine del campione, l'immagine del *backscatter* corrispondente, la sua profondità, l'unità fisiomorfológica, la classificazione substrato, la classificazione biologica, la descrizione habitat.


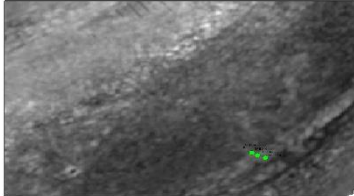

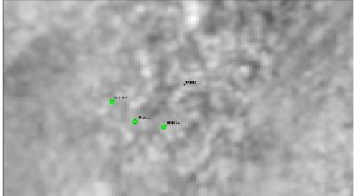

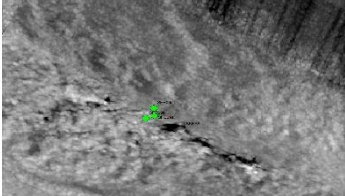

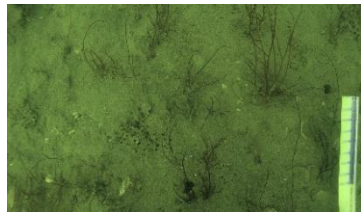

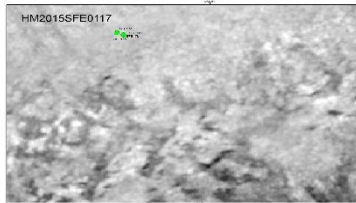
IMMAGINE	BACKSCATTER	PROF. MEDIA (m)	FISIO-MORFOLOGIE	SUBSTRATO	BIOLOGIA	DESCRIZIONE HABITAT
<p><b>SFE04</b></p>  <p>2015_10:12:53</p>		7,3	1) Pool	<p>1) Mobile</p> <p>2) Muddy Sand</p>	<p>1) Infauna</p> <p>2) Decapods</p> <p>3) <i>Callianassa truncata</i>, <i>Upogebia</i> spp.</p>	Substrato caratterizzato da sabbia fangosa bioturbata. Le bioturbazioni sono associabili a crostacei decapodi del genere <i>Upogebia</i> .
<p><b>SFE05</b></p>  <p>2015_10:36:44</p>		4	1) Channel	<p>1) Mobile</p> <p>2) Sandy Gravel</p> <p>3) Bioclastic</p> <p>4) Skeletal hash</p>	<p>1) Infauna</p> <p>2) Molluscs, polychaetes, crustaceans</p>	Substrato caratterizzato da ghiaie sabbiose costituite da detrito conchigliare grossolano. Ambiente popolato da una fauna varia con presenza caratteristica di policheti tubicolari tra cui si distinguono serpulidi e sabellaridi.
<p><b>SFE09</b></p>  <p>2/07/2015_11:50:25</p>		7	1) Channel	<p>1) Hard</p> <p>2) Firmground</p> <p>3) Cohesive mud</p>	<p>1) Infauna</p> <p>2) Bivalves</p> <p>3) Pholadidae</p>	Area con substrato fangoso consolidato popolato da bivalvi della famiglia <i>Pholadidae</i> .

IMMAGINE	BACKSCATTER	PROF. MEDIA (m)	FISIO-MORFOLOGIA	SUBSTRATO	BIOLOGIA	DESCRIZIONE HABITAT
<p><b>SFE13</b></p> 	Non disponibile	5,7	<p>1) Channel</p> <p>---</p> <p>1) Dunes</p>	1) Hard	<p>1) Infauna</p> <p>2) Molluscs, polychaetes, crustaceans</p>	Substrato duro coperto da sedimenti fini e resti conchigliari. Ambiente popolato da un'infauna molto varia dominata da molluschi, policheti e crostacei.
<p><b>SFE14</b></p> 	Non disponibile	4,4	1) Channel	<p>1) Mobile</p> <p>2) Gravelly Mud</p>	<p>1) Sessile epibenthos</p> <p>2) Macroalgal assemblages</p> <p>3) <i>Gracilaria</i> spp.</p>	Substrato costituito da fango in cui si nota una scarsa flora caratterizzata da alghe rosse del genere <i>Gracilaria sensu latu</i> . Per quanto riguarda la fauna si possono notare delle bioturbazioni attribuibili al decapode <i>Upogebia</i> spp. e la presenza di policheti sabellaridi.
<p><b>SFE17</b></p> 		4	1) Channel	1) Hard	<p>1) Sessile epibenthos</p> <p>2) Mollusc reef/bed/belt</p> <p>3) Mussel bed/belt</p> <p>4) <i>Mytilus</i> spp.</p>	Substrato duro caratterizzato dal bivalve <i>Mytilus</i> cf. <i>galloprovincialis</i> . Si può notare come i mitili siano totalmente ricoperti da organismi epibionti non ben determinabili. Sono presenti inoltre gasteropodi della specie <i>Hexaplex trunculus</i> e qualche anemone presumibilmente della specie <i>Anemonia viridis</i> .

Per creare la mappa degli habitat (Fig. 36) sono state sommate tutte le informazioni dei descrittori utilizzati ovvero: unità fisiografiche, unità morfologiche, substrato (4 livelli) e biologia (4 livelli).

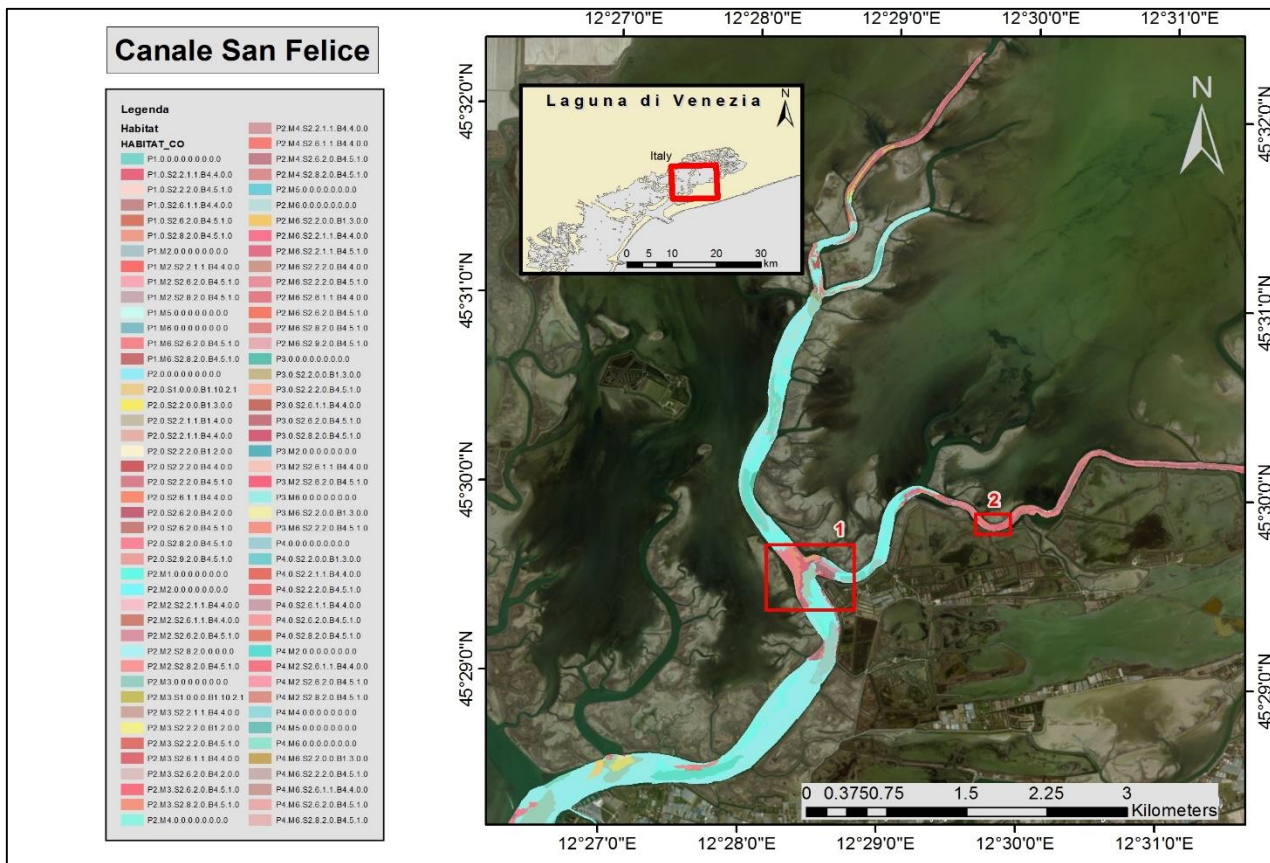


Figura 36: mappa degli habitat del canale San Felice (vedi allegato 4).

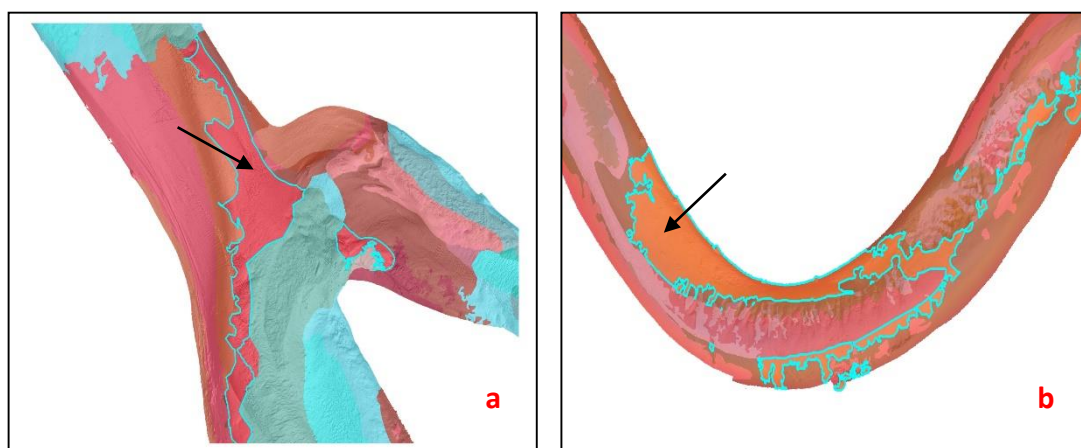


Figura 37: due particolari della mappa degli habitat: a) scour hole con substrato costituito da sabbia fangosa che presenta comunità costituite da decapodi talassinidi del genere *Upogebia*; b) area del canale senza particolari forme morfologiche costituita da substrato di sabbia fangosa con un'abbondante parte di detrito conchigliare, caratterizzato da una fauna molto varia che comprende sia molluschi che policheti che crostacei.



I codici presenti nella legenda corrispondono alle sigle previste dalle tabelle COCONET per ogni livello di ciascun descrittore secondo il seguente ordine:

**PCL1.MCL1.MCL2. SCL1.SCL2.SCL3.SCL4.BCL1.BCL2.BCL3.BCL4**

- “PCL1” indica il livello fisiografico;
- “MCL1.MCL2” indica il livello morfologico e si compone di 2 sottolivelli
- “SCL1.SCL2.SCL3.SCL4.” indica il livello substrato e si compone di 4 sottolivelli
- “BCL1.BCL2.BCL3.BCL4” indica il livello biologia composto da 4 sottolivelli

Ad esempio l’area evidenziata nella Fig. 37-a riporta in legenda il codice:

**P2.M3.S2.6.2.0.B4.5.1.0**

area del canale (P2) che presenta uno *scour hole* (M3) con substrato di tipo *mobile* (S2) costituito da sabbia fangosa (6) di tipo litico (2). Questo ambiente presenta un’infauna (B4) costituita da decapodi talassinidi (5) in particolare esemplari del genere *Upogebia* (1).

Invece l’area evidenziata nella Fig. 37-b riporta in legenda il codice:

**P2.0.S2.6.1.1.B4.4.0.0**

area del canale (P2) che non presenta forme morfologiche (0). L’area è caratterizzata da un substrato *mobile* (S2) in particolare sabbia fangosa (6) con un’abbondante parte bioclastica (1) costituita da detrito conchigliare molto grossolano (1). L’ambiente è popolato da un’infauna (B4) molto varia che può presentare sia molluschi che policheti che crostacei (4).

Gli zeri indicano che non si è potuto andare oltre quel sottolivello.

## 4. Discussioni

In questo lavoro di tesi si sono elaborati ed interpretati dati MBES di batimetria e *backscatter* per realizzare la mappatura dei fondali e degli habitat del canale San Felice.

Dai dati batimetrici è stato possibile identificare e descrivere, qualitativamente e quantitativamente, le principali forme di fondo (naturali ed antropiche) ed il loro orientamento; dal mosaico di *backscatter* invece siamo riusciti ad identificare la tipologia di materiali del fondale ed a classificarli in unità tessiturali discrete; parallelamente, una mirata campagna di raccolta di campioni di sedimento superficiale ed immagini del fondale ha consentito la validazione del *dataset* MBES raccolto (Fig. 38).

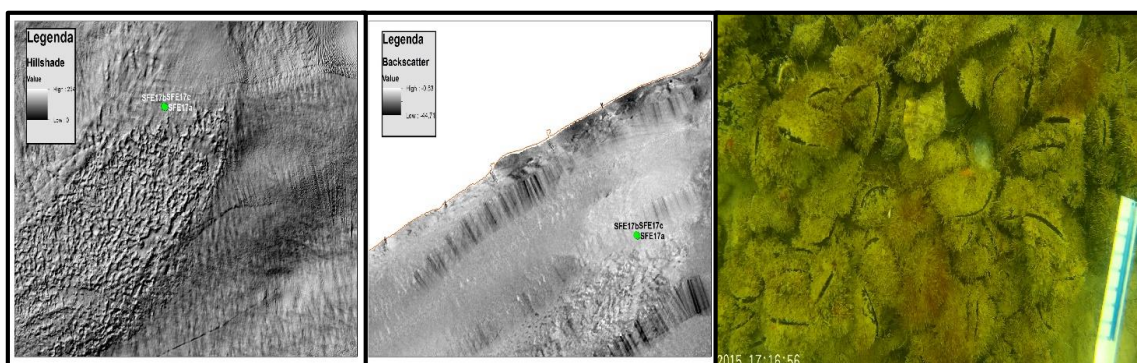


Figura 38: esempio di visualizzazione della stessa stazione nelle tre forme di dati utilizzati. Da sinistra: batimetria, *backscatter*, *drop-frame*.

Questo approccio di ricerca si è dimostrato molto efficace e più rapido rispetto ad un campionamento puntuale con prelievi a griglia. Infatti, l'alta risoluzione di acquisizione del MBES ci ha consentito di rilevare in modo continuo dati dal fondale, tempo permettendo dunque un campionamento mirato, riducendo i tempi e i costi di campagna ed ottenendo un risultato molto dettagliato.

Nelle ricerche scientifiche precedenti questo strumento era stato utilizzato solo per studi in ambienti marini o pelagici (Rattray *et al.*, 2009; De Falco *et al.*, 2010; Micallef *et al.*, 2012; Che Hasan *et al.*, 2014; Neves *et al.*, 2014), ma dai risultati ottenuti in questa indagine si è dimostrato molto efficace per la mappatura di fondali anche a bassissime profondità in ambienti di transizione come la laguna. Altri lavori quali i rilievi del canale Scanello - laguna

nord (Madricardo *et al.*, 2011; Foglini *et al.*, 2014; Montereale Gavazzi, 2014) e quelli della bocca tidale di Chioggia (Fogarini, 2015 ) confermano l'adattabilità del MBES per lo studio di territori lagunari.

Inoltre si può affermare che, dalle analisi automatiche del *backscatter* utilizzate per questo progetto di tesi, è possibile riconoscere con successo i sedimenti di granulometria ghiaiosa ed estremamente fini, dimostrando che la classificazione *unsupervised* di Jenks ottiene risultati accurati (Fig. 39).

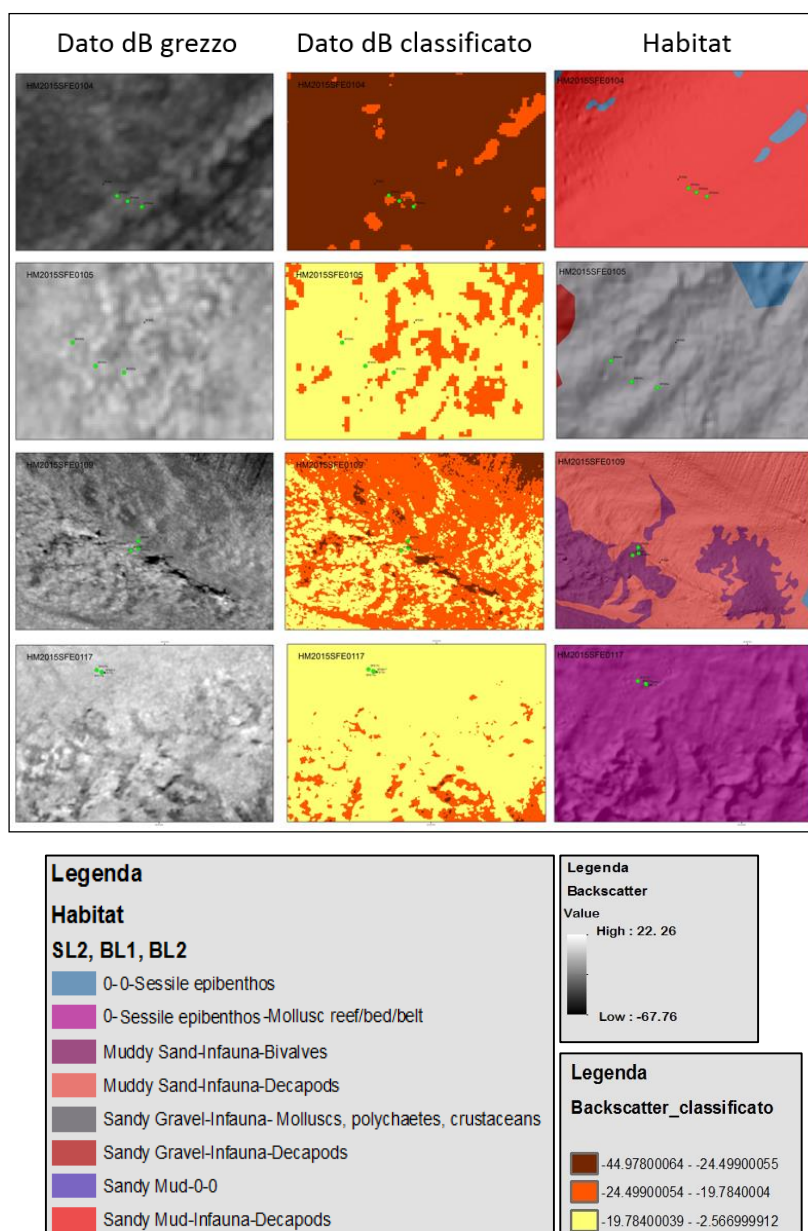


Figura 39: esempio di visualizzazione del dato *backscatter* non classificato, del dato *backscatter* classificato con Jenks e della mappa degli habitat ottenuta.

Va comunque considerato che può accadere che forme sommerse di diversa tipologia producano un'intensità di *backscatter* uguale (De Falco *et al.*, 2010, Lucieer *et al.*, 2013), come nel caso di spugne e sedimenti limosi che hanno entrambi valori di *backscatter* molto bassi (Montereale Gavazzi, 2014).

Inoltre la variabilità casuale del fondale e, talvolta, l'imprecisione di posizionamento, possono influenzare il prelievo e di conseguenza il campione raccolto potrebbe non corrispondere al *backscatter* registrato (Diesing *et al.*, 2014), ciò implica che il riconoscimento estensivo delle forme, del *pattern* del segnale e degli oggetti sia un aspetto non trascurabile nella segmentazione del *backscatter*.

Per quanto riguarda le comunità ritrovate in questo studio, risultano diverse rispetto alle zoocenosi descritte da Vatova (1940). Le sue indagini sono sicuramente datate e quindi è probabile che la situazione sia cambiata nel corso di questi anni.

Infatti, mentre dai nostri campionamenti la comunità predominante risulta costituita da decapodi talassinidi del genere *Upogebia*, egli descriveva l'area di questo studio (Fig.40) con predominanza di molluschi e tra i pochi crostacei non era presente il genere *Upogebia* che invece segnalava in aree più interne della laguna (Zoocenosi *Cyclonassa*) (vedi pag. 15 e 16).

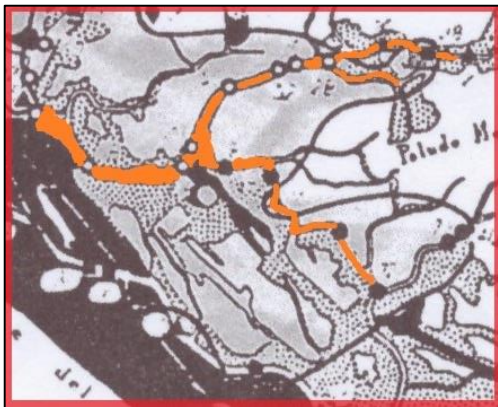
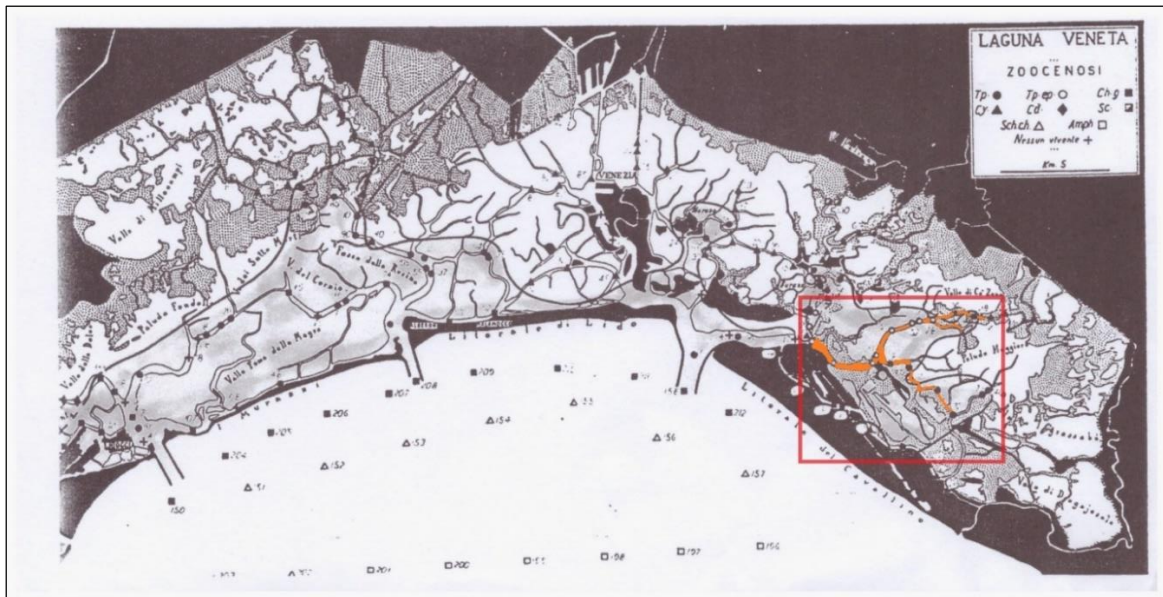


Figura 40: immagine presa dallo studio di Vatova (1940) con ingrandimento dell'area oggetto di questo studio.

Questo può essere dovuto a tanti fattori: 1) diversi metodi di indagine; 2) diversa, seppur simile, localizzazione delle stazioni di campionamento; 3) cambiamenti nelle condizioni ambientali, sia della qualità delle acque che del sedimento (ad es. Elliot & Cutts, 2004), che possono comportare la perdita di habitat (ad es. Favero, 1992) e la semplificazione di quelli presenti, e pertanto determinare cambiamenti relativi alle comunità. Quindi per poter spiegare bene la discordanza tra i dati di Vatova e quelli di questa tesi sarebbe necessario effettuare studi più appropriati a livello di comunità.

In merito alle morfologie del fondale sarebbe opportuno fare una collezione dei dati passati e un confronto per evidenziare, se presente, l'approfondimento dei bacini.

Riguardo alla presenza di oggetti antropici, è possibile che ci siano aree molto più impattate rispetto a quella analizzata in questo studio che, tutto sommato, non mostrava oggetti troppo impattanti quali ad esempio impianti di acquacoltura, rifiuti pesanti o carcasse di natanti che potevamo aspettarci.

Per quanto riguarda lo studio della flora e della fauna bentonica, come già detto, sicuramente sarebbero necessari ulteriori approfondimenti, nonostante si possa notare già che ci siano delle differenze rispetto agli anni '40. Sarebbe interessante verificare se ciò che è stato ritrovato in questa area di studio è presente anche nelle zone che Vatova descriveva con presenza di decapodi talassinidi o se queste comunità sono presenti in zone che Vatova classificava diversamente. Per fare ciò sarebbe utile un confronto tra comunità complessiva, secondo i metodi classici, e popolamenti identificati da tecniche più recenti come quelle adoperate in questo studio.

L'utilizzo delle tabelle per la descrizione delle morfologie e del substrato si sono dimostrate molto efficaci e utili per classificare quanto emerso dai dati batimetrici e dalle analisi granulometriche; le tabelle usate invece per la descrizione della biologia degli ambienti poco profondi si sono dimostrate un buono strumento per un'analisi iniziale generale, ma probabilmente dovranno essere modificate per essere più idonee agli ambienti lagunari.

## Conclusioni

In questo lavoro, si è dimostrata l'efficacia dei metodi di *remote sensing* acustici, di indagini video e di campionamento di sedimenti del fondale già sperimentati in ambienti costieri-pelagici anche per ambienti estremamente poco profondi come quelli lagunari. I dati acquisiti con tali metodi combinati in ambiente GIS, grazie ad un *geodatabase* appositamente sviluppato, hanno permesso la mappatura degli habitat bentonici del canale lagunare oggetto di questo studio. Le metodologie descritte in questa tesi potranno inoltre costituire dei protocolli per l'analisi di dati simili acquisiti in tali ambienti.

In particolare la mappatura fisica del canale San Felice mostra forme morfologiche e fisiografiche tipiche di un bacino lagunare caratterizzato da elementi deposizionali come ad esempio *bar* e *point bar* localizzate ai margini del canale dove, per effetto dell'idrodinamismo, si accumula materiale sedimentologico; e di zone depresse come ad esempio *scour hole* che si trovano nelle aree in cui due o più canali si incontrano e che, con idrodinamismo diverso creano zone di erosione.

La mappa degli oggetti antropici mostra che questo bacino non risulta molto antropizzato in quanto sono presenti per lo più bricole, necessarie per tracciare le vie navigabili in laguna.

La classificazione del *backscatter* utilizzando la tecnica *unsupervised* di Jenks con 3 livelli ha messo in evidenza le diverse caratteristiche di substrato del bacino che presenta granulometrie che vanno dal ghiaioso (*Gravel*) costituito, nel nostro caso, esclusivamente da detrito conchigliare, a fangoso (*Mud*) che interessa la maggior parte dell'area investigata.

La descrizione delle comunità biologiche, sebbene effettuata solo tramite riconoscimento visivo da *drop-frame*, mostra una prevalenza di crostacei talassinidi del genere *Upogebia*, accompagnati spesso dalla presenza di biocostruzioni che abbiamo attribuito a policheti.

Infine la somma di tutti questi dati ci ha permesso di caratterizzare gli habitat bentonici che abbiamo descritto come aree per lo più fangose con presenza di infauna costituita da talassinidi (*Upogebia* spp.).

I risultati di questo lavoro rappresentano i primi dati in merito alla descrizione fisica e biologica dei canali della laguna di Venezia, ottenuti mediante metodiche differenti da quelle classiche più conosciute. Sebbene le tecniche utilizzate si siano dimostrate molto soddisfacenti, dovrebbero essere arricchite ed integrate perché le si possa utilizzare come riferimento per la descrizione di altri ambienti simili.

## *Bibliografia*

Barnes R. S. K. (1980). Coastal lagoons. The natural history of a neglected habitat. Cambridge University Press.

Barnes R. S. K. (1994). A critical appraisal of the application of Guélorget and Perthuisot's concepts of the paralic ecosystem and confinement to macrotidal Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 38, 41-48.

Begon M., Harper J. L., Townsend C. R. (1996) Ecology: individuals, populations and communities, 3rd edn. Blackwell Science, Cambridge.

Blake J. (2004). The Sea Chart: The Illustrated History of Nautical Maps and Navigational Charts. Conway.

Blondel P., Gomez Sichi O. (2009). Textural analyses of Multibeam sonar imagery from Stanton Banks, Northern Ireland continental shelf. *Applied Acoustics*, 70, 1288-1297.

Brambati A., Ciabatti M., Fanzutti G.P., Marabini F., Marocco R. (1988). Carta sedimentologica dell'Adriatico Settentrionale. Istituto Geografico De Agostini – Consiglio Nazionale delle Ricerche C.N.R. – Officine Grafiche, Novara.

Brambati A., Carbognin L., Quaia T., Teatini P., Tosi L. (2003). The Lagoon of Venice: geological setting, evolution and land subsidence. *Episodes*, 26, 264–268.

Brown C. J., Blondel P. (2009). Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping. *Applied Acoustics* 70, 1242e1247.

Brown C. J., Smith S. J., Lawton P., Anderson J. T. (2011). Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92 502-520.



Calvert J., Strong J. A., Service M., McGonigle C., Quinn R. (2014). An evaluation of supervised and unsupervised classification techniques for marine benthic habitat mapping using Multibeam Echosounder data. *Journal of Marine Science*, 1-16.

Candisani L. C., Sumida P. Y. G., Pires-Vanin A. M. S. (2001). Burrow morphology and mating behaviour of the thalassinidean shrimp *Upogebia noronhensis*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K*, 81, 3795/1-5.

Carbognin L. (1992). Evoluzione naturale e antropica della Laguna di Venezia. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia* 42, 123–134.

Carbognin L., Teatini P., Tosi L. (2004). Eustacy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium. *Journal of Marine Systems* 51, 1-4, pp 345-353.

Carniello L., Defina A., D'Alpaos L. (2009). Morphological evolution of the Venice lagoon: Evidence from the past and trend for the future. *Journal of Geophysical Research* 114, F04002.

Chapman P. M. (2012). Management of coastal lagoons under climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 110, 32–35.

Che Hasan R., Ierodiaconou D., Laurenson L., Schimel A. (2014). Integrating Multibeam Backscatter Angular Response, Mosaic and Bathymetry Data for Benthic Habitat Mapping. *PloS one* 9(5), e97339.

Colombo G. (1977). Lagoons. R. S. K. Barnes (ed.). *The coastline*. London: John Wiley & Sons. Pp 63-81.

D'Ancona U., Battaglia B. (1962). Le lagune salmastre dell'Alto Adriatico, ambiente di popolamento e di selezione. In: "Pubblicazione della Stazione Zoologica di Napoli". 32, 315-355.

Diesing M., Green S. L., Stephens D., Murray Lark R., Stewart H. A., Dove D. (2014). Mapping seabed sediments: Comparison of manual, geostatistical, object-based image analysis and machine learning approaches. *Continental Shelf Research*, 107-119.

Duck R. W., Silva J. F. (2012). Coastal lagoons and their evolution: A hydromorphological perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 110, 2-14.

De Falco G., Tonielli R., Di Martino G., Innangi S., Simeone S., Michael Parnum, I. (2010). Relationships between multibeam backscatter, sediment grain size and *Posidonia oceanica* seagrass distribution. *Continental Shelf Research* 30(18), 1941-1950.

Elefteriou A., McIntyre A. (2005). *Methods for the Study of Marine Benthos*. Wiley- Blackwell.

Elliott M., Cutts. N. D. (2004). Marine habitats: loss and gain, mitigation and compensation. *Marine, Pollution Bulletin* 49, 671–674.

Facca C., Pellegrino N., Ceoldo S., Tibaldo M., Sfriso A. (2011). Trophic Conditions in the Waters of the Venice Lagoon (Northern Adriatic Sea, Italy). *The Open Oceanography Journal* 5, 1-13.

Favero V. (1985). Evoluzione della Laguna di Venezia ed effetti indotti da interventi antropici sulla rete fluviale circumlagunare. In: Rusconi, A. (Ed.) *Convegno di studi 118 Laguna, fiumi, lidi; cinque secoli di gestione delle acque nelle Venezia, Venezia (10-12 giugno 1983)*, Grafiche La Press, Fiesse d'Artico, pp. 402-409.

Favero, V. (1992). Evoluzione morfologica e trasformazioni ambientali dalla conterminazione lagunare al nostro secolo. *Con terminazione lagunare: storia, ingegneria, politica e diritto della Laguna di Venezia. Proceeding of the conference "Convegno di studi bicentenario della terminazione lagunare"*, Venice, Italy, 165.

Fogarin S. (2015). Mappatura dell'ambiente sedimentario della bocca tidale di Chioggia (Laguna di Venezia): *backscatter* acustico, morfologia del fondale e distribuzione dimensionale. Tesi di laurea magistrale in Scienze Ambientali. Università Ca' Foscari Venezia.

Foglini F., Madricardo F., Blondel P., Kruss A., Sigovini M., Manfrin F. (2014). High-resolution Multibeam mapping of habitats in the extremely shallow waters of the Venice Lagoon. In proceeding of UA - 2nd International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, Rhodes, June 22-29, Greece.

Fonseca L., Brown C., Calder B., Mayer L., Rzhhanov Y. (2009). Angular range analysis of acoustic themes from Stanton Banks Ireland: A link between visual interpretation and Multibeam Echosounder angular signatures. *Applied Acoustics* 70, 1298–1304

Forman R. T. T. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press; 1995.

Galparsoro I., Borja Á., Bald J., Liria P., Chust G. (2009). Predicting suitable habitat for the European lobster (*Homarus gammarus*), on the Basque continental shelf (Bay of Biscay), using Ecological-Niche Factor Analysis. *Ecological modelling* 220(4), 556-567.

Gatto P., Carbognin L. (1981). The Lagoon of Venice: natural environment trend and man-induced modification. *Hydrological Sciences Bulletin* 26, 379–391.

Gonen I. E., Wolfen J. P. (eds.) (2004). *Coastal lagoons: Ecosystem processes and modelling for sustainable use and development*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Gordon S. N., McPherson H., Dickson L., Halofsky J., Snyder C., Brodie A. W. (2014). Wildlife Habitat Management. In *Making Transparent Environmental Management Decisions*, 227-251.

Haralick R. M., Shanmugam K., Dinstein R. (1973). Textural features for image classification. *IEEE Transactions Systems, Man and Cybernetics* 3, 610-621.

Heip C., VincxM., Vranken G. (1985). The ecology of marine nematodes. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 23, 399-489.

Howarth R. W., Anderson D., Cloern J., Elfring C., Hopkinson C., Lapointe B. (2000). Nutrient pollution of coastal rivers, bays, and seas. *Issues Ecol.* 7, 1-15.

Jenks G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography* 7, 186–190.

Kenny A.J., Cato I., Desprez M., Fader G., Schuttenhelm R.T.E., Side J. (2003). An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. *ICES Journal of Marine Science* 60, 411-418.

Kjerfve B. (1986). Comparative oceanography of coastal lagoons. D. A. Wolf (ed.), *Estuarine variability*. New York: Academic Press. Pp 63-81

Kjerfve B. and Magill K. E. (1989). Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. In: L.G.

Kjerfve B. (1994). Coastal lagoons. B. Kjerfve (ed.) *Coastal lagoon processes*. Amsterdam: Elsevier. Pp 1-8.

Le Bas T. P., Huvenne V. A. I. (2009). Acquisition and processing of backscatter data for habitat mapping comparison of multibeam and sidescan systems. *Applied Acoustics*, 70, 1248–1257.

Lotze H.K., Lenihan H.S., Bourque B.J., Bradbury R.H., Cooke R.G., Kay M.C., Kidwell S.M., Kirby M.X., Peterson C.H., Jackson J.B.C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312, 1806-1809.

Lucieer V., Hill N. A., Barret N. S., Nichol S. (2013). Do marine substrates ‘look’ and ‘sound’ the same? Supervised classification of multibeam acoustic data using autonomous underwater vehicle images. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 117, 94-106.

Lurton X. (2002). An introduction to underwater acoustics: principles and applications. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 347.

Madricardo F., Foglini F., Tonielli R. (2011). Bathymetric surveys in super-shallow water: case study of the Lagoon of Venice, Italy, in UAM 2011- 4th International Conference and Exhibition on "Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results, Kos, Greece, Proceedings, 2011.

Maggiore F., Keppel E., 2007, Biodiversity and distribution of polychaetes and molluscs along the Dese estuary (Lagoon of Venice, Italy). *Hydrobiologia*, 588(1): 189-203.

Magistrato alle Acque. (1997). Interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea e Studio di impatto ambientale del progetto di massima. Report 6 (5), Venezia.

Masetti G., Sacile R., Trucco A. (2010). Caratterizzazione remota del fondale marino tramite analisi e mosaicatura del backscatter. Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA – Brescia, 1275-1280.

MESH (2008). MESH Guide to Habitat Mapping: a synopsis. Jon Davies & Sarah Young, Mapping European Seabed Habitats.

Micallef A., Le Bas T. P., Huvenne V., A. I., Blondel P., Huhnerbach V., Deidun A. (2012). A multi-method approach for benthic habitat mapping in shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. *Continental Shelf Research* 39-40, 14-26.

Molinaroli E., Guerzoni S., Sarretta A., Masiol M., Pistolato M. (2009). Thirty-year changes (1970 to 2000) in bathymetry and sediment texture recorded in the Lagoon of Venice sub-basins, Italy. *Marine Geology*, 258(1), 115-125.

Neves B. M., Du Preez C., Edinger E. (2014). Mapping coral and sponge habitats on a shelf-depth environment using multibeam sonar and ROV video observations: Learmonth Bank,

northern British Columbia, Canada. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 99, 169-183.

Nichols M. N., Boon J. D. (1994). Sediment transport processes in coastal lagoons. In: Kjerfve B. (Ed.). *Coastal Lagoon Processes*, Elsevier Oceanography Series 60, Elsevier: Amsterdam. p. 157–209.

Pavoni B., Marcomini A., Sfriso A., Donazzolo R. (1992) In: Dunnette D. A., O'Brien R. J., Eds. *The Science of Global Change. Changes in an estuarine ecosystem: the lagoon of Venice as case study*. Washington D.C. USA: American Chemical Society. Pp 287-300

Pethick J. (1984). *An Introduction to Coastal Geomorphology*. Arnold: London.

Phlager F. B. (1969). Some general features of Coastal lagoons. A. Ayala-Castaneres (ed.), *Lagunas costeras, un simposio*, Universidad Nacional Autonoma de Mexizo, Mexico DF. Pp 5-26.

Phlager F. B. (1981). A review of some general features of Coastal lagoons. *Coastal Research, past, present, and future*. UNESCO Technical Papers in Marine Science 33: 7-14.

Pranovi F., Da Ponte F., Torricelli P. (2008). Historical changes in the structure and functioning of the benthic community in the lagoon of Venice. *Estuarine, Coastal And Shelf Science* 76, 753-764

Quaderni Habitat (2009). *Lagune, estuari e delta* a cura di A.Minelli. Ministero dell'ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Museo Friulano di Storia Naturale-Comune di Udine, 23.

Raismondo R., Visintini Romanin M. (1997). Le componenti abiotica e biotica dei sedimenti come indicatori della qualità dell'ambiente lagunare negli studi del magistrato alle acque di Venezia-Consortio Venezia Nuova. Parte II: la componente biotica bentonica. QUADERNI TRIMESTRALI- CONSORZIO VENEZIA NUOVA. Anno V – n. I – 97 Gennaio-Marzo. Pp 7-40.

Rattray A., Ierodiaconou D., Laurenson L., Burq S., Reston M. (2009) Hydro-acoustic remote sensing of benthic biological communities on the shallow South East Australian continental shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84(2), 237-245.

Ravera O. (2000). The Lagoon of Venice: the result of both natural factors and human influence. *Journal of Limnology* 59, 19–30.

Roberts J. M., Brown C. J., Long D., Bates C. R. (2005). Acoustic mapping using a multibeam echosounder reveals cold-water coral reefs and surrounding habitats. *Coral Reefs* 24, 654–669.

Sarretta A., Pillon P., Molinaroli E., Guerzoni S., Fontolan G. (2010). Sediment budget in the Lagoon of Venice, Italy. *Continental Shelf Research* 30, 934–949.

Sfriso A., Pavoni B., Marcomini A. (1989). Macroalgae and phytoplankton standing crops in the central Venice lagoon: primary production and nutrient balance. *Science of the Total Environment* 80(2), 139-159.

Sfriso A., Birkemeyer T., Ghetti P. F., 2001. Benthic macrofauna changes in areas of Venice lagoon populated by seagrasses or seaweeds. *Marine Environmental Research* 52, 323-349.

Sigovini M. (2011). Multiscale dynamics of zoobenthic communities and relationships with environmental factors in the lagoon of Venice. PhD thesis, Università Ca'Foscari Venezia.

Solan M., Germano J.D., Rhoads D.C., Smith C., Michaud E., Parry D., Wenzhofer F., Kennedy B., Henriques C., Battle E., Carey D., Iocco L., Valente R., Watson J., Rosenberg R. (2003). Towards a greater understanding of pattern, scale and process in marine benthic systems: a picture is worth a thousand worms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 285-286, 313-338.

Stephens D., Diesing M. (2014). A Comparison of Supervised Classification Methods for the Prediction of Substrate Type Using Multibeam Acoustic and Legacy Grain-Size Data. Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Lowestoft, Suffolk, United Kingdom, 1-14.

Stolt M., Bradley M., Turenn, J., Payne M., Scherer E., Cicchetti G., & August P. (2011). Mapping shallow coastal ecosystems: a case study of a Rhode Island lagoon. *Journal of Coastal Research*, 27 (6A), 1-15.

Tagliapietra D., Pavan M., Wagner C. (1998). Macrobenthic Community Changes Related to Eutrophication in Palude della Rosa (Venetian Lagoon, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(2), 217-226.

Tagliapietra D., Sigovini M., Magni P. (2012). Saprobity: a unified view of benthic succession models for coastal lagoons. *Hydrobiologia* 686, 15–28.

Tos L., Rizzetto F., Zecchin M., Brancolini, G., Baradello L. (2009). Morphostratigraphic framework of the Venice Lagoon (Italy) by very shallow water VHRS surveys: Evidence of radical changes triggered by human-induced river diversions. *Geophysical Research Letters* 36, L09406.

Umgiesser G. (2000). SHYFEM Finite Element Model for Coastal Seas - User 689 Manual - version 4.56, pp 26.

Umgiesser G., Ferrarin C., Cucco A., De Pascalis F., Bellafiore D., Ghezzi M., Bajo M. (2014), Comparative hydrodynamics of 10 Mediterranean lagoons by means of numerical modeling, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119(4), 2212-2226.

Valle M., Borja Á., Chust G., Galparsoro I., Garmendia J. M. (2011). Modelling suitable estuarine habitats for *Zostera noltii*, using Ecological Niche Factor Analysis and Bathymetric LiDAR. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 94(2), 144-154.

Vatova A. (1940). Le zoocenosi della Laguna veneta. *Thalassia* 3(10): 1-28.



Wright D., Heyman W. (2008). Introduction to the special issue: marine and coastal GIS for geomorphology, habitat mapping, and marine reserves. *Marine Geodesy* 31, 223-230

Young M. A., Iampietro P. J., Kvittek R. G., Garza C. D. (2010). Multivariate bathymetry-derived generalized linear model accurately predicts rockfish distribution on Cordell Bank, California, USA. *Marine Ecology Progress Series* 415, 247-261.

Zajac R. N. (2008). Challenges in marine, soft-sediment benthoscape ecology. *Landscape Ecol* 23, 7–18.

### **SITI CONSULTATI:**

<https://www.mosevenezia.eu/ecosistema/>

<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/acque-di-transizione/laguna-di-venezia/la-rete-di-monitoraggio/rete-stato-ambientale>

<http://www.protezionecivile.gov.it>

<http://www.sequoiasci.com/product/lisst-100x/>

<http://www.cmeccatalog.org/classification/unit/217.html>

**Allegato 1:**

PHYSIOGRAFIC FEATURES				
L1				
P1	1	Bar		
	2	Channel		
	3	Flat		
	4	Point bar		
	5	Pool		
MORPHOLOGICAL FEATURES				
L1			L2	
M1	1	3D dunes		
			1	3D dunes
			2	Scour hole
			3	Scour
			4	Slamp block
			5	Unknown
	2	Scour hole		
			1	3D dunes
			2	Scour hole
			3	Scour
			4	Slamp block
			5	Unknown
	3	Scour		
			1	3D dunes
			2	Scour hole
			3	Scour
			4	Slamp block
			5	Unknown
	4	Slamp block		
			1	3D dunes
			2	Scour hole
			3	Scour

			4	Slamp block
			5	Unknown
	5	Unknown		
			1	3D dunes
			2	Scour hole
			3	Scour
			4	Slamp block
			5	Unknown

## Allegato 2:

SUBSTRATE							
L1		L2		L3		L4	
S1	Hard						
		1	Rocky				
				1	Bedrock		
				2	Block		
				3	Lithified sediment		
		2	Firmground				
				1	Cohesive mud		
		3	Biogenic				
				1	Coral dead reef		
				2	Oyster dead reef		
				3	Oyster-Serpulid dead reef		
				4	Seagrass <i>matte</i>		
				5	Seagrass <i>banquette</i>		
S2	Mobile						
		1	Cobble and boulder				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		2	Gravel				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		

		3	Sandy gravel				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		4	Muddy gravel				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		5	Sand				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		6	Gravelly sand				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		7	Muddy sand				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		8	Mud				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		9	Sandy mud				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash

						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
		10	Gravelly mud				
				1	Bioclastic		
						1	Skeletal hash
						2	Coral rubble
						3	Algal rubble
				2	Lithic		
				3	Mixed		
S3	Mixed						
		1	Rocky				
		2	Firmground				
		3	Biogenic				
		4	Gravel				
		5	Sand				
		6	Mud				

### Allegato 3:

BIOLOGY							
	L1		L2		L3		L4
B1	Sessile epibenthos						
		2	Macroalgal assemblages				
				1	Canopy forming		
						1	<i>Cystoseira</i> spp.
						2	<i>Fucus</i> spp.
						3	<i>Sargassum</i> spp.
						4	<i>Laminaria</i> spp.
						5	<i>Undaria</i> spp.
				2	Brached/fleshy/bushy-like		
						1	<i>Codium</i>
						2	<i>Caulerpa</i>
						3	<i>Padina</i>
						4	<i>Halimeda</i>
						5	<i>Zanardinia typus</i>
						6	<i>Cladostephus spongiosus</i>
						7	<i>Zonaria</i>
						8	<i>Halopteris filicina</i>
						9	<i>Corallina</i> spp.
				3	Turf forming		

					1	<i>Acetabularia acetabulum</i>
				4	Filamentous	
					1	<i>Cladophora</i> spp.
					2	Chaetomorpha spp.
				5	Sheet	
					1	Enteromorpha spp.
					2	<i>Ulva</i> spp., <i>Prasiola stipata</i>
				8	Mat forming	
					1	<i>Vaucheria</i> spp.
		3	Sponge assemblages			
				1	<i>Scalarispongia scalaris, etc</i>	
				2	<i>Mycale contarenii, etc</i>	
				3	<i>Agelas oroides, etc.</i>	
		7	Polychaete assemblages			
				1	Sabellid	
					1	<i>Branchiomma</i> spp., <i>Sabella</i> spp., etc
				2	Terebellid	
					1	<i>Lanice conchilega</i>
		10	Mollusc reef/bed/belt			
				1	Oyster reef	
					1	<i>Ostrea edulis</i>
					2	<i>Crassostrea</i> spp.
					3	<i>Neopycnodonte cochlear</i>
					4	<i>Spondylus spinosus</i>
					5	<i>Chama pacifica</i>
				2	Mussel bed/belt	
					1	<i>Mytilus</i> spp.
					2	<i>Brachidontes pharaonis</i>
					3	<i>Modiolula phaseolina</i>
					4	<i>Mytilaster</i> spp.
		11	Polychaete bioconstruction			
				1	Serpulid reef	
					1	<i>Ficopomatus enigmaticus</i>
				2	Sabellarid	

					1	<i>Sabellaria alveolata</i>
					2	<i>Sabellaria spinulosa</i>
B4	Infauna					
		2	Bivalves			
				1		<i>Lithophaga lithophaga</i>
				2		<i>Donacilla cornea</i>
				3		<i>Cerastoderma glaucum</i>
				4		Lymnocardine spp.
				5		<i>Scrobicularia</i> spp.
				6		<i>Abra ovata</i>
				7		Venerids
				8		Pholadidae
		4	Molluscs, polychaetes, crustaceans			
				1		<i>Cerastoderma glaucum, etc..</i>
				2		<i>Tellina</i> spp., <i>Donax</i> spp., etc..
				3		Scaphopods
		5	Decapods			
				1		<i>Upogebia</i> spp
				2		<i>Nephrops norvegicus</i>

**Allegato 4:**

