ARPAL
Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Studio propedeutico di inquadramento per le aree di esclusione e di reperimento per l'immersione deliberata in mare dei materiali di escavo dei fondali marini di cui al D.M. 15 luglio 2016, n. 173

Maggio 2021

Dipartimento Stato dell'Ambiente e Tutela dai Rischi Naturali
U.O. Stato di Qualità dell'Acqua
Gruppo di lavoro Dragaggi

Member of CISQ Federation
RINA
CERTIFIED MANAGEMENT SYSTEM
BS OHSAS 18001

SOMMARIO

PREMESSA....4

FASE 1 – *screening dei dati*....6
1.1 Introduzione....7
1.2 Metodi di indagine....10
1.2.1 Struttura base della mappa....10
1.2.2 Ecosistemi ed habitat vulnerabili....12
1.2.3 Attività antropiche....13
1.2.4 Aree di interesse storico e culturale14
1.3 Risultati....15
1.3.1 Struttura base della mappa....15
1.3.2 Ecosistemi ed habitat vulnerabili....17
1.3.2.1 – Piattaforma e gradino continentale....17
1.3.2.2 – Scarpata continentale e canyon....18
1.3.2.3 – Seamount....19
1.3.2.4 – Aree di reclutamento....20
1.3.3 Attività antropiche....21
1.3.3.1 – Porti, scarichi, telecomunicazioni, monitoraggi e perforazioni....21
1.3.3.2 – Attività di pesca....22
1.3.4 Aree di interesse storico e culturale....23
1.4 Conclusioni....24
1.5 Bibliografia....26

FASE 2 – *definizione aree esclusione*....29
2.1 Selezione degli elementi sensibili....30
2.1.1 Aree di interesse naturalistico....30
2.1.2 Aree utilizzate per attività antropiche....32
2.1.3 Aree di interesse storico e culturale....32
2.2 Criteri per la definizione delle aree di buffer....33
2.3 Definizione delle aree di esclusione....34

FASE 3 - *caratterizzazione* **38**
3.1 Introduzione 39
3.2 Definizione dell'area vasta e individuazione del sito d'immersione 39
3.3 Definizione del sito d'immersione e individuazione delle aree di controllo 43
3.3.1 Modellistica 44
3.4 Caratterizzazione del sito d'immersione e delle aree di controllo 45

FASE 4 – *piano di monitoraggio* **48**
4.1 Indicazioni generali 49
4.2 Attività e fasi del monitoraggio 50

ALLEGATO ALLA FASE 3 - INDICAZIONI PER LA REDAZIONE DI UNO STUDIO MODELLISTICO INTEGRATO IN SEGUITO AD OPERAZIONI DI CONFERIMENTO DI MATERIALE DRAGATO IN MARE 57

PREMESSA

Il presente documento è stato redatto nell'ambito della Convenzione tra Regione Liguria e ARPAL per la realizzazione delle attività funzionali al secondo aggiornamento del piano di tutela delle acque del 29 Novembre 2019.
Lo studio viene inquadrato nella tematica n. 6 - Studio propedeutico di inquadramento per le aree di esclusione e di reperimento per l'immersione deliberata in mare dei materiali di escavo dei fondali marini di cui al D.M. 15 luglio 2016, n. 173.

L'attività ha avuto come finalità l'acquisizione di dati, conoscenze ed elementi di valutazione utili alla valutazione dell'impatto ambientale di tipo fisico dovuto alla eventuale immersione dei materiali di escavo di fondali marini, ad esclusione degli aspetti legati alla caratterizzazione chimica ed ecotossicologica dei materiali di escavo dei fondali marini.

Lo studio è stato articolato nelle seguenti 4 fasi.

Fase 1
Screening delle conoscenze, su tutto il territorio regionale, sulla base dei documenti bibliografici (anche letteratura grigia) e normative, sui seguenti aspetti:
a) morfologia e geologia, al massimo dettaglio disponibile
b) aspetti idrodinamici e sedimentologici, al massimo dettaglio disponibile
c) aspetti biologici, con particolare riferimento alle principali biocenosi bentoniche ed alla presenza di eventuali aree di nursery per specie di interesse commerciale, al massimo dettaglio disponibile
d) attività di pesca professionale (strascico e pesca batiale)
e) vincoli (cavi e condotte, strutture off-shore, divieti di pesca, aree archeologiche, Zone di Tutela Biologica, altri eventuali vincoli)
f) altri eventuali usi legittimi del mare.

Per lo svolgimento delle attività previste è stata avviata una convenzione con il DiSTAV dell'Università di Genova (Dott.ssa Marzia Bo, Dott. Francesco Enrichetti) che vanta una consolidata esperienza nel campo dello studio delle biocenosi marine profonde, target principale dei possibili effetti avversi di tipo fisico derivanti dall'immersione di sedimenti. In particolare, l'università ha curato la ricerca bibliografica necessaria per espletare la fase 1

del programma di lavoro ed ha fornito supporto scientifico per lo svolgimento delle successive fasi.
Nel corso della fase 1 del progetto sono state raccolte e digitalizzate le informazioni disponibili sui differenti aspetti richiesti da Regione Liguria e sono state prodotte mappe digitali recanti le impronte topografiche degli elementi censiti, come di seguito riportato.

Fase 2

Utilizzo integrato dei dati acquisiti nella fase 1 per l'individuazione delle aree ove esistano motivi di esclusione per l'attività di immersione in mare, anche sulla base dei criteri di cui al capitolo 3 dell'allegato tecnico al D.M. 173 del 2016.

Per gli aspetti relativi alla fase 1 e 2 è stata predisposta, in aggiunta alla relazione scritta, una cartografia in formato GIS per la visualizzazione ed interrogazione delle informazioni spaziali territoriali.

Fase 3

Stesura di una metodologia per la caratterizzazione a livello progettuale delle aree di reperimento per l'immersione deliberata in mare, per la rappresentazione e valutazione dei relativi risultati, anche sulla base delle indicazioni tecniche per l'individuazione delle aree marine destinate all'immersione dei materiali di escavo di cui al capitolo 3 dell'allegato tecnico al D.M. 173 del 2016.
Questa parte del documento è integrata dall'allegato contenente "Indicazioni per la redazione di uno studio modellistico integrato in seguito ad operazioni di conferimento di materiale dragato in mare".

Fase 4

Stesura di un piano di monitoraggio ambientale per le attività di immersione deliberata in mare, comprensive delle attività *pre-operam*, *in-operam* e *post-operam*, e per la rappresentazione e valutazione dei relativi risultati.

FASE 1

Screening delle conoscenze, su tutto il territorio regionale, sulla base dei documenti bibliografici (anche letteratura grigia) e normative sui seguenti aspetti: morfologia e geologia, aspetti idrodinamici e sedimentologici, aspetti biologici, con particolare riferimento alle principali biocenosi bentoniche ed alla presenza di eventuali aree di nursery per specie di interesse commerciale, attività di pesca professionale, vincoli (cavi e condotte, strutture off-shore, divieti di pesca, aree archeologiche, Zone di Tutela Biologica, altri eventuali vincoli), altri eventuali usi legittimi del mare.

1.1 Introduzione

Gli oceani profondi (>200 m di profondità; Sardà, 2004) costituiscono l'ambiente più esteso sulla Terra. I loro fondali occupano il 63% della sua superficie terrestre, mentre la colonna d'acqua sovrastante rappresenta il 98.5% del volume della biosfera. Storicamente, questi ambienti sono stati meno studiati rispetto alle loro controparti più superficiali, a causa delle numerose difficoltà legate alla loro esplorazione. Essi ospitano una moltitudine di ambienti e organismi, che costituiscono una proporzione maggioritaria delle specie presenti sul pianeta. Inoltre, il loro ruolo nel ricircolo dei nutrienti e nei cicli biogeochimici globali è essenziale per sostentamento degli oceani (Danovaro et al., 2008). I numerosi servizi forniti da questi ambienti sono indispensabili per il sostentamento dell'attuale modo di vita degli esseri umani, ed includono l'approvvigionamento di energia, metalli, risorse minerarie, cibo ed altri beni (Thurber et al., 2014).

Recentemente, numerose istituzioni nazionali ed internazionali, così come associazioni non governative, hanno sviluppato un crescente interesse nell'esplorazione degli oceani profondi e nell'identificazioni di ambienti di particolare interesse naturalistico e conservazionistico. A livello europeo, la Marine Strategy Framework Directive, rappresenta la regolamentazione comunitaria più esaustiva, che riguarda la conservazione e l'uso sostenibile delle risorse marine, incluse quelle provenienti gli ambienti profondi. La FAO (Food and Agriculture Organization) identifica gli ecosistemi marini vulnerabili (VME) come aree suscettibili all'impatto della attività umane (FAO, 2009). Queste aree possono essere identificate grazie alla presenza di alcuni gruppi di specie considerati sensibili (es. aggregazioni di spugne, reefs a coralli bianchi, foreste di ottocoralli, idrozoi, antipatari, ed altre comunità endemiche o strutturanti) o di determinate caratteristiche topografiche del fondale (es. pendii sommersi, seamounts, canyons, *hydrothermal vents* e *cold seeps*), che possono supportare la presenza delle comunità sensibili sopra menzionate. Con il termine "vulnerabile" viene fatto riferimento al fatto che tali ecosistemi possono essere facilmente distrutti o danneggiati, mentre il loro recupero risulta eccezionalmente lento (FAO, 2009). Tra le attività antropiche che maggiormente minacciano i VME occorre menzionare la pesca, le perforazioni del fondale marino per l'estrazione dei combustibili fossili e dei minerali e lo sversamento di sedimenti.

Il Mar Ligure è situato nel settore nord-occidentale del Mar Mediterraneo. Si estende dal Golfo del Leone fino alla porzione più settentrionale del Mar Tirreno ed è delimitato a sud dalla Corsica. La circolazione ciclonica delle acque superficiali è diretta verso ovest, ed è alimentata dalla corrente levantina intermedia (che percorre le coste occidentali della

Corsica) e dalle acque provenienti dal Mar Tirreno (Astraldi et al., 1994; Millot, 1999). Le coste della Liguria si sviluppano per circa 350 km, dalla città di Ventimiglia a Sarzana, e risultano fortemente urbanizzate, con 63 centri urbani principali e una popolazione residente di circa 1,26 milioni di abitanti (Enrichetti et al., 2019a). La parte profonda del Mar Ligure comprende le zone della scarpata, del rialzo continentale e della piana abissale, che raggiunge i 2600 m di profondità. La topografia del settore occidentale differisce marcatamente rispetto a quella del bacino orientale. Esso risulta infatti più profondo e presenta una scarpata ripida solcata da numerosi sistemi di canyon sottomarini. Il settore orientale risulta invece meno profondo, essendo ampiamente costituito da una scarpata a ridotta pendenza (Cattaneo-Vietti et al., 2010; Enrichetti et al., 2019a).

Come risultato, le acque territoriali della Liguria (che si estendono fino a 12 miglia nautiche dalla linea di base) sovrastano tutta la piattaforma continentale e la maggior parte della scarpata nel settore di ponente, ma non nel settore di levante.

Nonostante ad oggi l'Italia non abbia ancora dichiarato una zona economica esclusiva (ZEE) oltre il limite delle acque territoriali, con il DPR n.209 del 27 ottobre 2011 sono state istituite tre zone di protezione ecologica (ZPE) situate rispettivamente nel Mediterraneo nord-occidentale, nel Mar Tirreno e nel Mar Ligure. Quest'ultima ha una superficie di circa 10.000 km^2. All'interno di queste zone le autorità italiane sono competenti in materia di controlli, di accertamento delle violazioni e di applicazione delle sanzioni previste. Valgono le norme del diritto italiano, del diritto dell'Unione Europea e delle Convenzioni Internazionali di cui l'Italia è parte contraente in materia di prevenzione e repressione di tutti i tipi di inquinamento marino (traffico navale, piattaforme off-shore, acque di zavorra, immissione di rifiuti, attività di esplorazione e sfruttamento dei fondi marini, inquinamento di origine atmosferica). Si applicano inoltre le norme in materia di protezione dei mammiferi, della biodiversità, degli ecosistemi marini e del patrimonio archeologico e storico. Le uniche attività escluse dall'applicazione della normativa in materia di ZPE sono quelle che riguardano la pesca: l'istituzione della ZPE infatti consente allo Stato solo l'esercizio dei poteri finalizzati alla tutela dell'ambiente marino e dell'eventuale patrimonio archeologico sommerso, ma non quelli necessari per assicurare lo sfruttamento esclusivo delle risorse ittiche.

Gli ecosistemi e gli habitat bentonici superficiali del bacino ligure sono stati oggetto di numerosi studi, tanto che le principali biocenosi costiere risultano ampiamente mappate (Coppo et al., 2020). Più scarse e puntiformi risultano invece le informazioni relative alle

aree più profonde, nonostante i numerosi studi che, attraverso lo studio delle catture dei pescherecci a strascico, hanno interessato il Mar Ligure sin dalla prima metà del secolo scorso (e.g. Brian, 1931; Issel, 1932; Rossi, 1958; Fusco, 1968; Relini-Orsi & Relini, 1972). Più di recente, alcuni studi hanno evidenziato una notevole biodiversità anche in queste zone, in particolare per quello che riguarda gli ecosistemi della parte più profonda della piattaforma e del gradino continentale (Enrichetti et al., 2019b) e per quelli della scarpata e dei sistemi di canyon, con particolare riferimento alle formazioni madreporiche fossili e viventi osservate (Tunesi & Diviacco, 1997; Fanelli et al., 2017; Enrichetti et al., 2018). Particolarmente rilevanti sono risultati inoltre gli ecosistemi dei seamount liguri che, a causa delle peculiari caratteristiche topografiche e idrologiche, contribuiscono in maniera determinante nel supportare la biodiversità bentonica e pelagica in mare aperto (Bo et al., 2020).

L'obiettivo di questo studio è quello di identificare gli elementi biologici, ecologici, strutturali ed economici maggiormente sensibili agli impatti di tipo fisico dovuti all'eventuale immersione dei materiali di escavo di fondali marini ai sensi del D.M. 173/2016. A tale scopo è stata effettuata una ricerca documentale tecnico-scientifica (anche letteratura grigia) e normativa delle informazioni disponibili a livello regionale, al fine di produrre delle mappe tematiche descrittive caratterizzate dal massimo dettaglio disponibile.
I principali temi considerati per la costruzione del dataset georeferenziato riguardano:
a) la morfologia e la geologia, al massimo dettaglio disponibile;
b) gli aspetti idrodinamici e sedimentologici, al massimo dettaglio disponibile;
c) aspetti biologici, con particolare riferimento alle principali biocenosi bentoniche ed alla presenza di eventuali aree di nursery per specie di interesse commerciale, al massimo dettaglio disponibile;
d) attività di pesca professionale (strascico e pesca batiale)
e) vincoli (cavi e condotte, strutture off-shore, divieti di pesca, aree archeologiche, Zone di Tutela Biologica, altri eventuali vincoli)
f) altri eventuali usi legittimi del mare.

1.2 Metodi di indagine

Nel corso di questo studio si è cercato di focalizzare l'attenzione principalmente sulla fascia batimetrica inclusa tra i 200 ed i 500 metri di profondità, che include la parte superiore della scarpata continentale. Questo settore, in Liguria, potrebbe risultare preferibile per l'eventuale immersione dei materiali di escavo, per via del compromesso tra una distanza dalla costa accettabile e una profondità che consenta il monitoraggio del fondale marino. In ogni caso, nella creazione del database, sono state considerati anche tutti quei parametri rilevanti situati a profondità maggiori o minori, inclusi quelli costieri.

Per la creazione dell'archivio georeferenziato viene utilizzato il software QGIS (vers. 2.18.13), gratuitamente scaricabile online (https://www.qgis.org). Di seguito vengono riportati i *layers* inclusi nel progetto e la relativa fonte.

1.2.1 Struttura base della mappa

Linea di costa

https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-coastline-for-analysis-1/gis-data/europe-coastline-shapefile

Confini regionali e delle acque nazionali

Archivio UniGE

http://www.marineregions.org/downloads.php

Isobate

Modificate da https://www.emodnet-bathymetry.eu

Mappa batimetrica ad alta risoluzione

https://www.emodnet-bathymetry.eu

Corsi d'acqua

Modificato da: http://www.logis-srl.it/?page_id=81

Correnti marine

Dati di letteratura:

- Boero, F., De Leo, F., Fraschetti, S., & Ingrosso, G. (2019). The Cells of Ecosystem Functioning: Towards a holistic vision of marine space. Advances in marine biology, 129.
- Dubois-Dauphin, Q., Montagna, P., Siani, G., Douville, E., Wienberg, C., Hebbeln, D., ... & Pons-Branchu, E. (2017). Hydrological variations of the intermediate water masses of the western Mediterranean Sea during the past 20 ka inferred from neodymium isotopic composition in foraminifera and cold-water corals.
- El-Geziry, T. M., & Bryden, I. G. (2010). The circulation pattern in the Mediterranean Sea: issues for modeller consideration. Journal of Operational Oceanography, 3(2), 39-46.
- Esposito, A., & Manzella, G. (1982). Current circulation in the Ligurian Sea. In Elsevier Oceanography Series (Vol. 34, pp. 187-203). Elsevier.
- Marty, J. C., & Chiavérini, J. (2010). Hydrological changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean, DYFAMED site) during 1995-2007 and biogeochemical consequences. Biogeosciences, 7(7).
- Millot, C. (1999). Circulation in the western Mediterranean Sea. Journal of Marine Systems, 20: 423– 442.
- Picco, P., Cappelletti, A., Sparnocchia, S., Schiano, M. E., Pensieri, S., & Bozzano, R. (2010). Upper layer current variability in the Central Ligurian Sea. Ocean Science, 6(4), 825.
- Pinardi, N., Masetti, E. (2000). Variability of the large-scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 158, 153–173.
- Pinardi, N., Zavatarelli, M., Adani, M., Coppini, G., Fratianni, C., Oddo, P., ... & Bonaduce, A. (2015). Mediterranean Sea large-scale low-frequency ocean variability and water mass formation rates from 1987 to 2007: A retrospective analysis. Progress in Oceanography, 132, 318-332.
- Poulain, P. M., Gerin, R., Rixen, M., Zanasca, P., Teixeira, J., Griffa, A., ... & Pinardi, N. (2012). Aspects of the surface circulation in the Liguro-Provençal basin and Gulf of Lion as observed by satellite-tracked drifters (2007-2009). Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 53(2).
- Robinson, A. R., Leslie, W. G., Theocharis, A., & Lascaratos, A. (2001). Mediterranean sea circulation. Ocean currents, 1, 19.

1.2.2 Ecosistemi ed habitat vulnerabili

Aree di tutela: AMP, ZSC, ZPE e Santuario Pelagos

https://geoportal.regione.liguria.it

http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=ZPE

https://www.sanctuaire-pelagos.org/It/accordo-pelagos-it/area-di-competenza-e-comuni-costieri

Piattaforma e gradino continentale

Archivio ROV UniGE (campagne MATTM Red Coral 2012; ARPAL 2015; ARPAL 2017)

Scarpata continentale e canyons

Archivio ROV UniGE (campagne MATTM Red Coral 2012; ARPAL 2015; ARPAL 2017)

Dati di letteratura:

- Fanelli E, Delbono I, Ivaldi R, Pratellesi M, Cocito S, Peirano A. Cold-water coral Madrepora oculata in the eastern Ligurian Sea (NW Mediterranean): Historical and recent findings. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 2017; 27: 965–975.
- Fusco, N. (1968). Il fondo del mare da Capo di Noli a Sestri Levante con annessa carta di pesca n.7. Rome, Italy: Ministero della Marina Mercantile, Direzione Generale della Pesca Marittima.
- Tunesi, L., & Diviacco, G. (1997). Observations by submersible on the bot- toms off shore Portofino Promontory (Ligurian Sea). In M. Piccazzo (Ed.), Atti del 12° Congresso AIOL Isola di Vulcano 18-21 Settembre 1996, Genova, 1, 61–74.
- Würtz, M. (2012). Mediterranean submarine canyons: Ecology and governance. IUCN.

Seamount

Archivio ROV UniGE (campagne MATTM Red Coral 2012; BIOMOUNT 2017-18)

Dati di letteratura:

- Bo, M., Coppari, M., Betti, F., Massa, F., Gay, G., Cattaneo-Vietti, R., & Bavestrello, G. (2019). Unveiling the deep biodiversity of the Janua Seamount (Ligurian Sea): first Mediterranean sighting of the rare Atlantic bamboo coral *Chelidonisis*

aurantiaca Studer, 1890. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 103186.

- Würtz, M., & Rovere, M. (2015). Atlas of the Mediterranean seamounts and seamount-like structures. Gland, Switzerland: IUCN.

Nursery e aree di reclutamento

Dati di letteratura:

- Sbrana, M., Colloca, F., Ligas, A., Mannini, A., Mastrantonio, G., Sartor, P., & Serena, F. (2015). Abundance of blackmouth catshark, *Galeus melastomus*, in the FAO-GFCM GSA 9 (Ligurian and Northern-Central Tyrrhenian Sea) and identification of nursery grounds. Biologia Marina Mediterranea, 22(1), 182.
- Cataudella, S., & Spagnolo, M. (2011). Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali: Rome, Italy, 877.
- Mannini, A., & Sabatella, R. F. (2015). Annuario sullo stato delle risorse e sulle strutture produttive dei mari italiani. Biologia Marina Mediterranea (Italy) ita v. 22 (1, suppl.).

1.2.3. Attività antropiche

Porti

Modificato da: http://www.logis-srl.it/?page_id=81

Condotte di scarico

https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html

Cavi telecomunicazioni

https://www.emodnet-humanactivities.eu/search-results.php?dataname=Telecommunication+Cables+%28schematic+routes%29

Piattaforme off-shore

https://www.emodnet-humanactivities.eu/search-results.php?dataname=Boreholes

Boe di monitoraggio
http://srvcarto.regione.liguria.it/geoviewer2/pages/apps/ambiente-tematiche/index.html?canale=29

Siti di smaltimento conosciuti di materiale di dragaggio
https://www.emodnet-humanactivities.eu/search-results.php?dataname=Dredge+Spoil+Dumping+%28Points%29

Impianti di pesca, maricoltura e barriere di ripopolamento ittico
https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html#

Cale della pesca a strascico
Monitoraggio dei pescherecci dalla piattaforma on line Vessel Finder
https://www.vesselfinder.com/it
Dati di letteratura:

- Relini, G. (2007). La pesca batiale in Liguria. Biologia Marina Mediterranea, 14, 190–244.

1.2.4 Aree di interesse storico e culturale
Siti archeologici subacquei, relitti e relative aree di interdizione
https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html#

Archivio ROV UniGE
Questo dataset include la posizione di relitti moderni in ferro (imbarcazioni militari) ed antichi in legno (principalmente campi di anfore di epoca romana) facenti parte dell'archivio UniGE (al momento posizioni non divulgabili)

Zone dei carrelli.
Le zone dei carrelli sono aree in cui sono stati abbandonati ordigni ed altri materiali militari. I "carrelli" per l'esattezza sarebbero quelli degli aerei, sui quali venivano montate le munizioni, e che venivano lasciati cadere in mare alla fine della guerra per disfarsi del materiale non utilizzato.

Dati di letteratura:

- Fusco, N. (1968). Il fondo del mare da Capo di Noli a Sestri Levante con annessa carta di pesca n.7. Rome, Italy: Ministero della Marina Mercantile, Direzione Generale della Pesca Marittima.

Palestra subacquea di Varazze
https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html#

1.3 Risultati

I risultati ottenuti attraverso la ricerca del materiale tecnico-scientifico disponibile a livello regionale, sono stati utilizzati per creare un progetto QGIS che, insieme ai singoli *shapefiles*, sono allegati alla presente relazione. Di seguito vengono riportate otto mappe tematiche riassuntive, che permettono di mostrare i risultati in modo chiaro.

1.3.1 Struttura base della mappa

La struttura di base della mappa (Fig. 1) include la topografia dettagliata del fondale, la linea di costa ed i confini regionali e nazionali (incluso il limite delle acque territoriali). Sono stati riportati anche i principali corpi idrici della Liguria e i quattro capoluoghi di provincia. La circolazione delle principali masse d'acqua nel bacino Ligure viene mostrata in Figura 2.

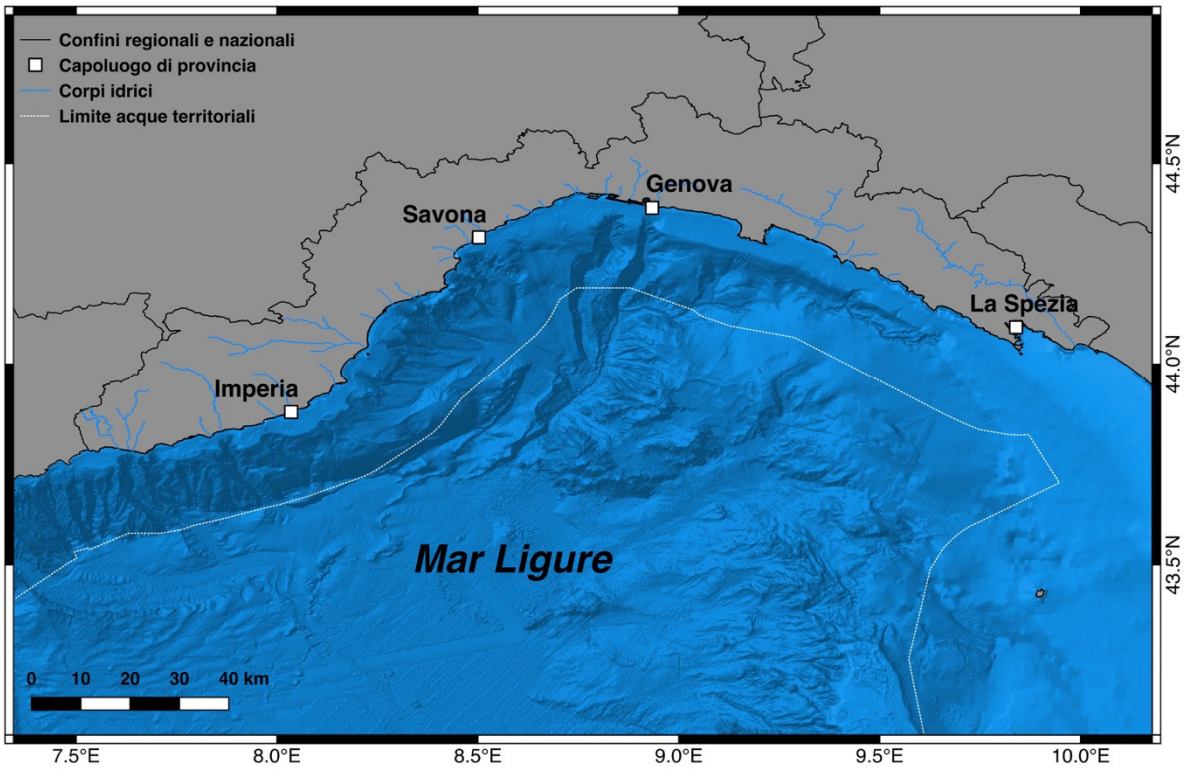


Figura 1 – Struttura di base della mappa

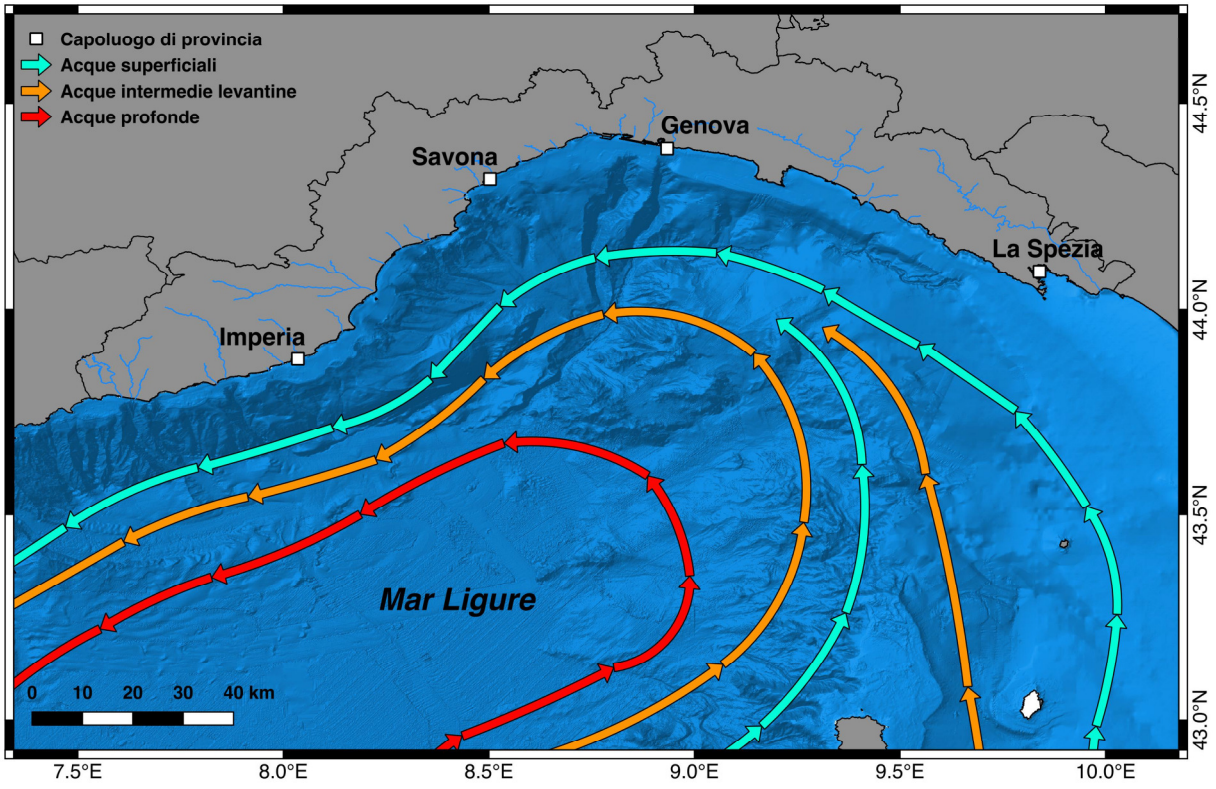


Figura 2 – Circolazione delle principali masse d'acqua nel Mar Ligure

1.3.2 Ecosistemi ed habitat vulnerabili

1.3.2.1 – Piattaforma e gradino continentale

Lungo le coste liguri sono presenti cinque aree marine protette (due regionali e tre nazionali) e 27 zone speciali di conservazione. Tutti questi siti sono situati a ridotta distanza dalla costa e possono essere considerati superficiali (si estendono al massimo fino all'isobata dei 50 m) (Fig. 3).

I siti esplorati con veicolo filoguidato a profondità mesofotiche lungo l'intero arco Ligure sono 103. Molti di questi siti sono rappresentati da formazioni coralligene profonde e ospitano una notevole ricchezza di fauna bentonica. Queste zone sono oggetto della piccola pesca demersale costiera (professionale e ricreativa).

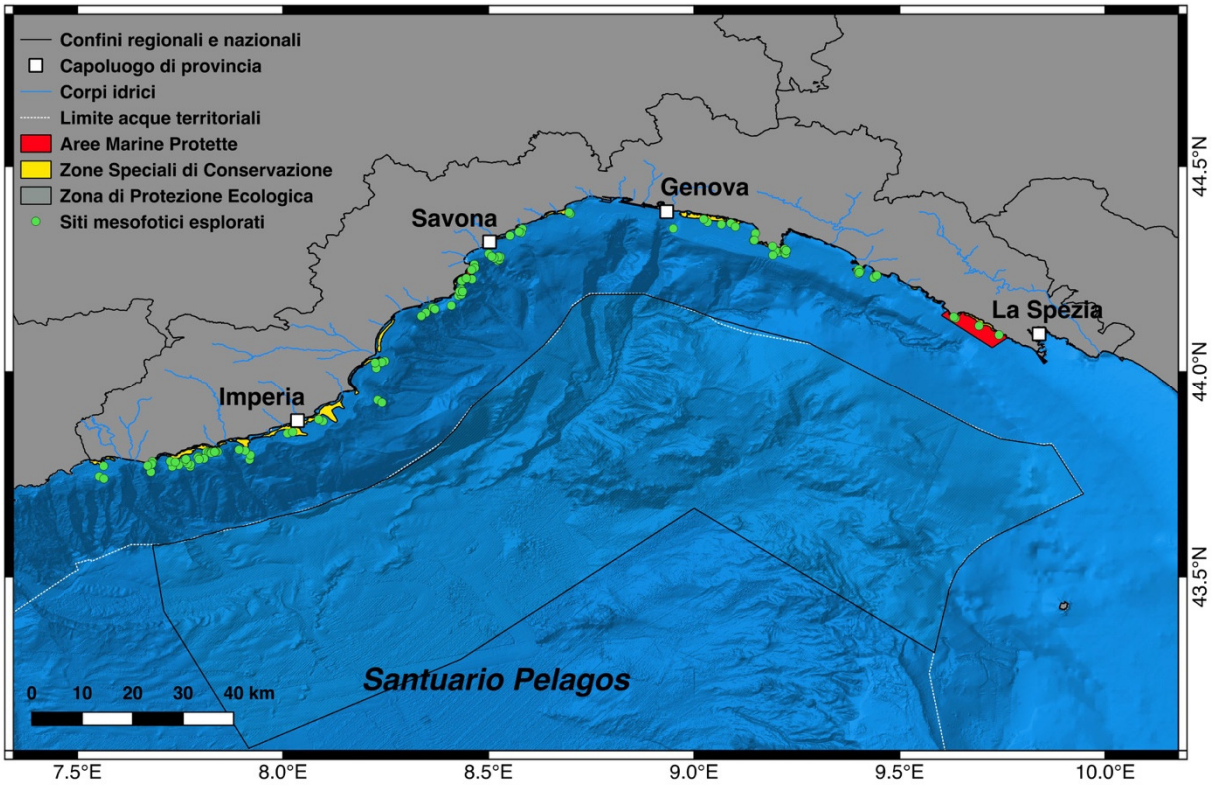


Figura 3 – Ecosistemi ed habitat vulnerabili della piattaforma continentale e della scarpata

1.3.2.2 – Scarpata continentale e canyon

La scarpata continentale ligure risulta particolarmente ripida nel settore di ponente, mentre a levante digrada molto dolcemente. I sistemi di canyon di conseguenza risultano molto più sviluppati nel settore occidentale e centrale che non in quello orientale. Nove sistemi principali di canyon sono presenti nella porzione più occidentale e altrettanti se ne contano nel medio ponente (provincia di Savona). Nella zona centrale sono situati i due sistemi di canyon maggiormente sviluppati: quelli del Bisagno e del Polcevera. Infine, la zona più a levante è interessata da un unico sistema principale di canyon noto come "Canyon di Levante" (Fig. 4).

L'archivio ROV UniGE annovera in questo caso 16 esplorazioni, effettuate sulla bocca di sette canyon. Lungo l'intero arco ligure sono noti, tra i 600 ed i 750 metri di profondità, dei reef a coralli bianchi costituiti principalmente da tanatocenosi fossili, ma nell'area di levante sono stati recentemente osservati dei reef viventi. Queste zone sono parzialmente soggette alla pesca a strascico profonda.

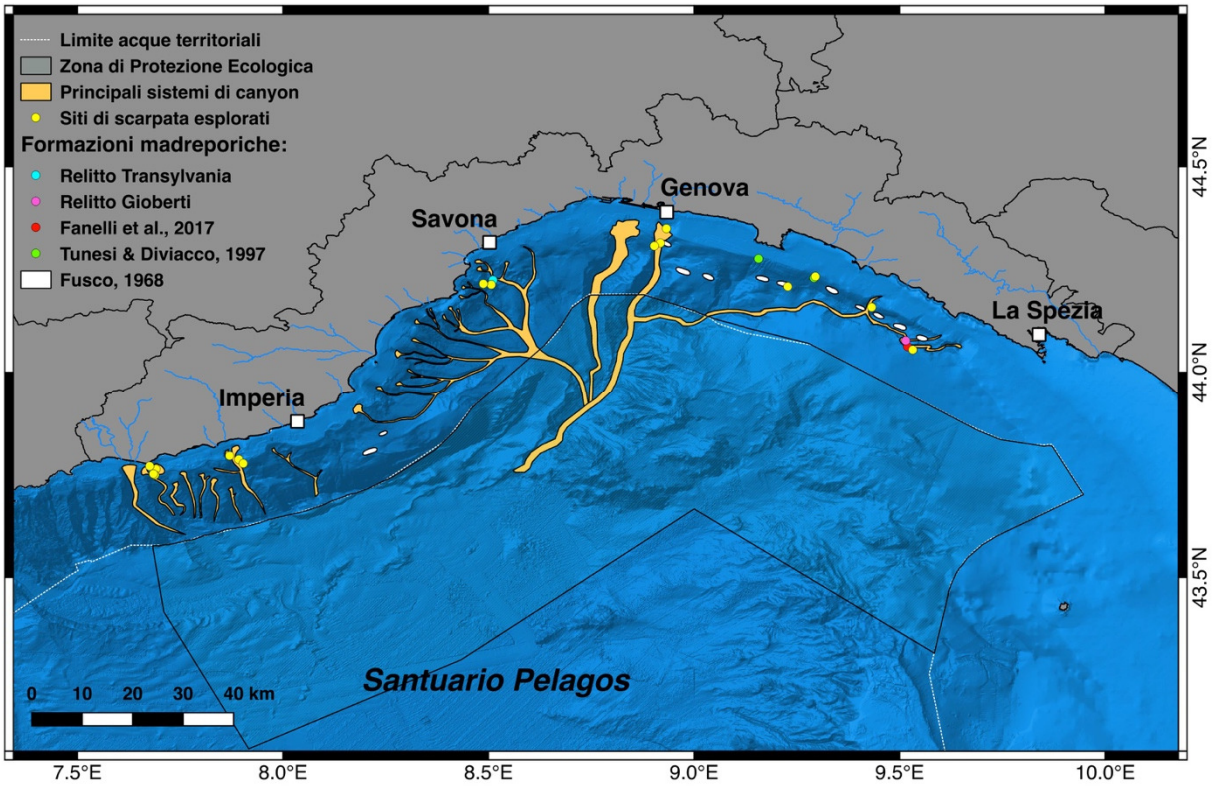


Figura 4 - Ecosistemi ed habitat vulnerabili della scarpata continentale e dei canyons

1.3.2.3 – Seamount

Nel Mar Ligure sono noti sei montagne sottomarine principali. Questi sono rappresentati dalla “triade genovese” (con i monti Ulisse, Penelope e Janua, localizzati poco a levante del canyon del Bisagno), dal Santa Lucia, dal monte Occhiali e dallo sperone Spinola (Fig. 5). Tutte queste formazioni ricadono all’interno della ZPE italiana, ad eccezione del monte Spinola (all’interno della ZPE francese). In totale, sono state effettuate 23 immersioni ROV sulla sommità di questi seamount, permettendo di osservare ricche biocenosi batiali e alcune specie ritenute rare nel bacino mediterraneo. Queste zone sono siti di pesca prevalentemente ricreativa.

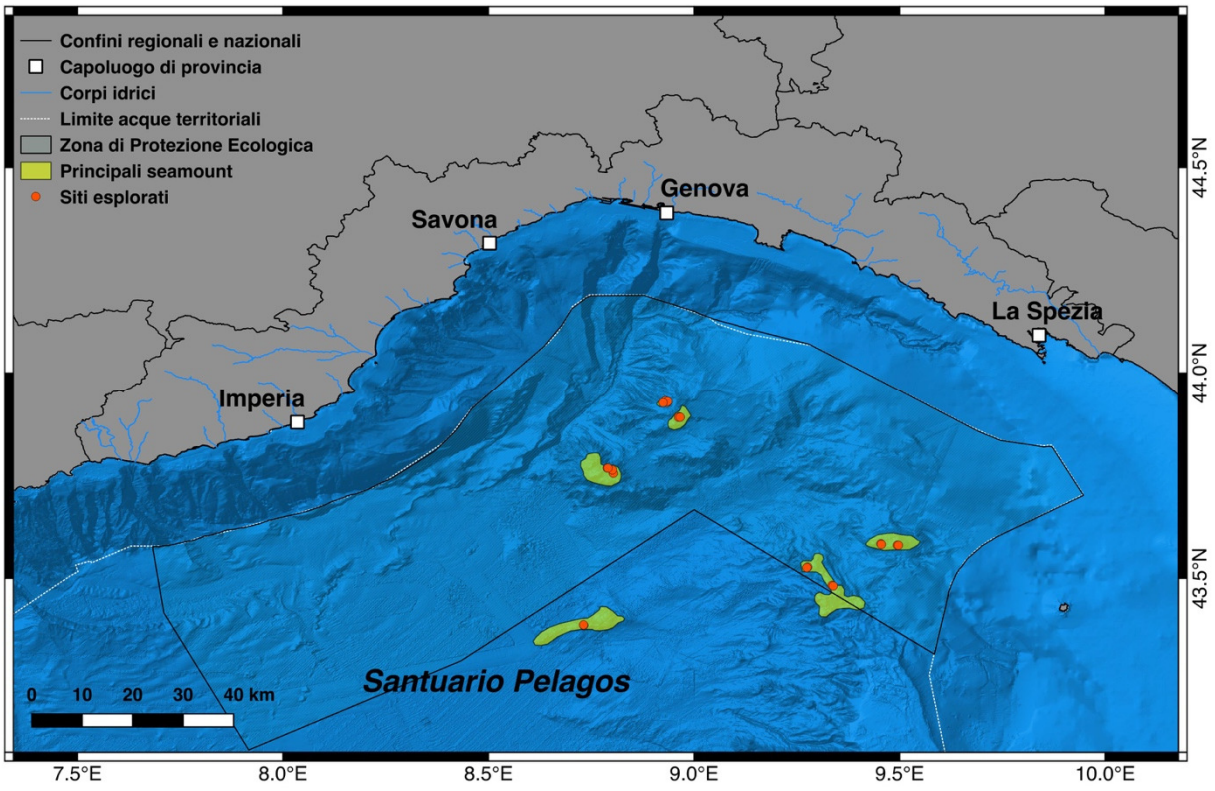


Figura 5 - Ecosistemi ed habitat vulnerabili dei seamount liguri

1.3.2.4 – Aree di reclutamento

L'analisi bibliografica ha permesso di localizzare le principali aree di reclutamento di alcune importanti specie ittiche e di invertebrati per il Mar Ligure. Queste aree risultano maggiormente concentrate nel settore di levante del bacino (Fig. 6).

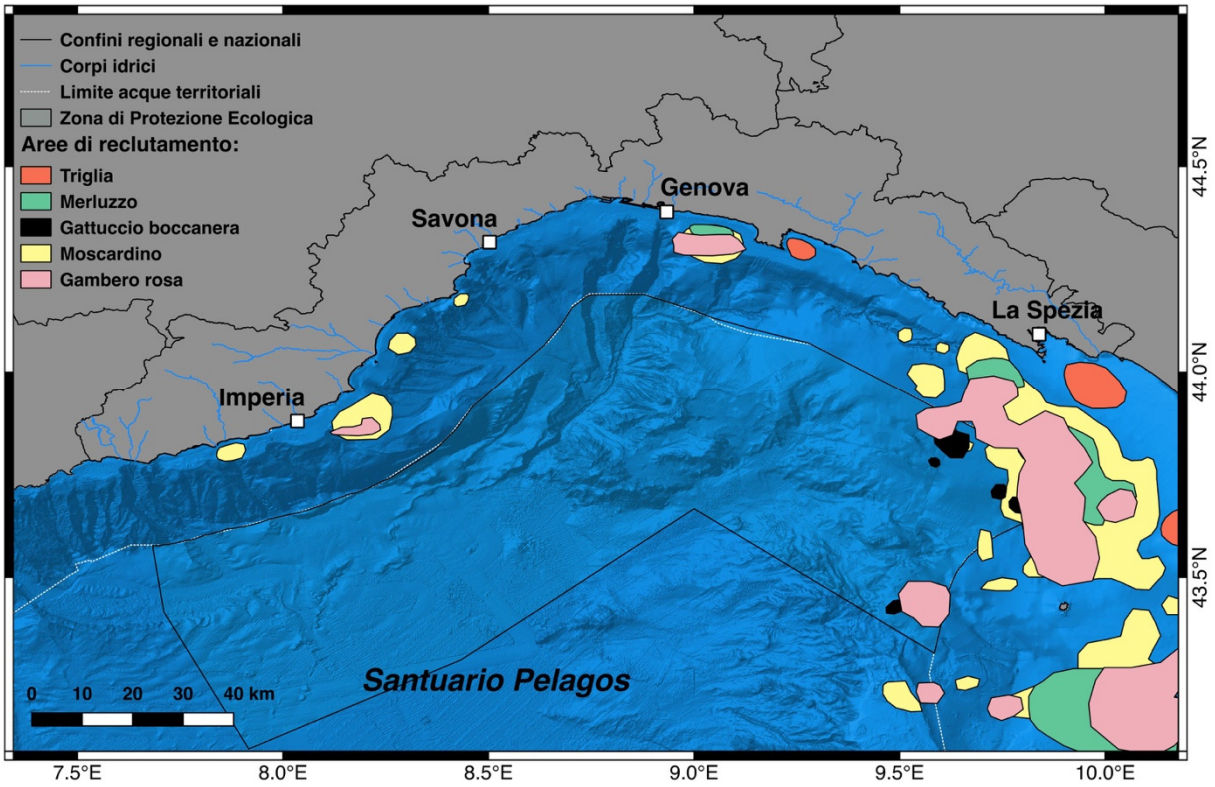


Figura 6 – Principali aree di reclutamento

1.3.3 Attività antropiche

1.3.3.1 – Porti, scarichi, telecomunicazioni, monitoraggi e perforazioni

Nella seguente mappa sono riportate varie tipologie di attività antropiche. Queste includono i 35 porti principali della regione (inclusi i cinque capoluoghi di provincia), le condotte di scarico dei principali centri urbani, i cavi sottomarini per le telecomunicazioni e le boe per i monitoraggi ambientali (Fig. 7). Attualmente non sono attivi siti di estrazione di idrocarburi nel Mar Ligure, ma sul portale Emodnet viene segnalata la presenza di un sito di trivellazione abbandonato di proprietà della AGIP (Maria001) al largo delle coste toscane, tra la Capraia e la Gorgona. Sempre sulla piattaforma Emodnet sono evidenziati anche dei siti pregressi di scarico di sedimenti dragati. La maggior parte di questi siti si trova nella zona di mare prospiciente la Toscana e solo uno di essi ricade certamente in acque liguri, essendo situato di fronte a Genova, ad una distanza di 2899 m dalla costa. Questo sito è identificato con il codice LIG02A.

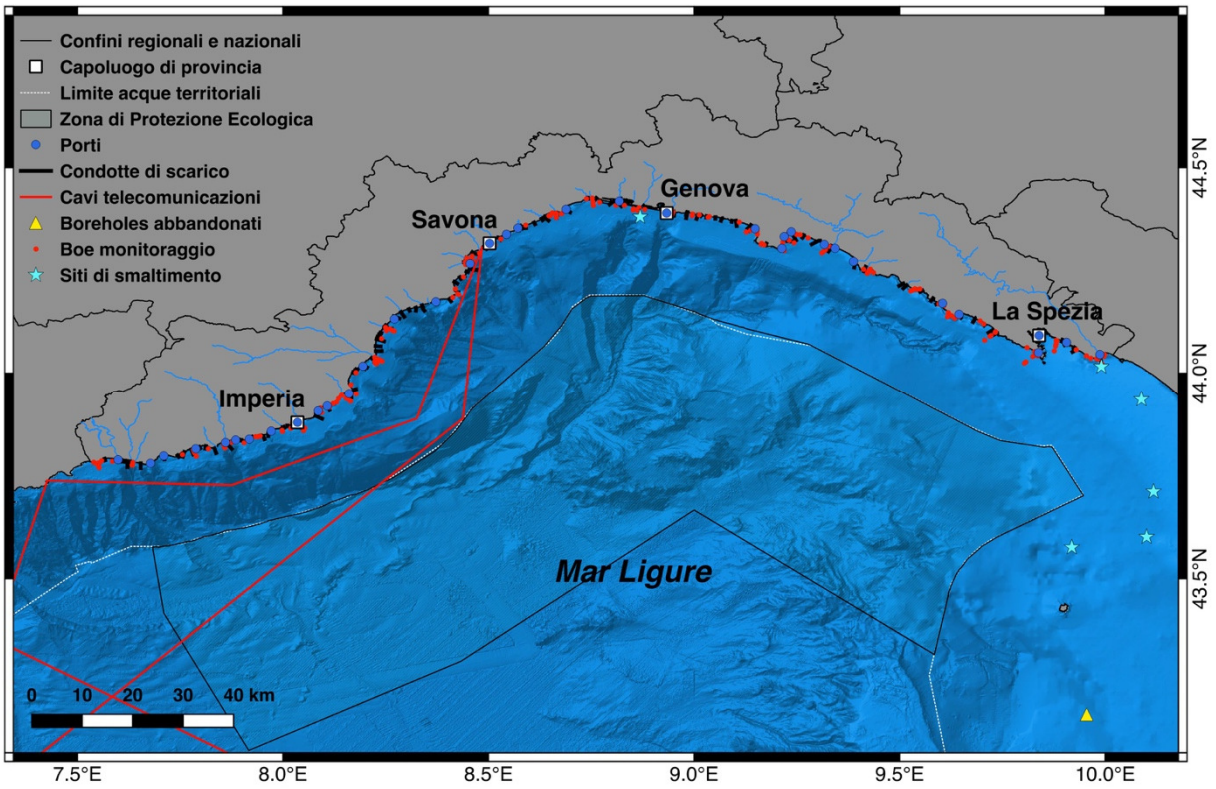


Figura 7 – Attività antropiche non legate alla pesca

1.3.3.2 – Attività di pesca

Per quello che riguarda le attività di pesca, numerose informazioni sono state raccolte attraverso il monitoraggio dei pescherecci sulla piattaforma online Vessel Finder. Tale monitoraggio ha permesso di identificare 15 macro-aree che rappresentano i principali fondi strascicati del Mar Ligure. Viene evidenziato che la porzione più profonda di queste aree corrisponde solo parzialmente con le aree storiche di pesca batiale al gambero rosso (Relini, 2007) (Fig. 8).

Sono state inoltre mappate le barriere di ripopolamento ittico, e gli impianti di maricoltura, mitilicoltura e di pesca fissa, tutte situate lungo la costa.

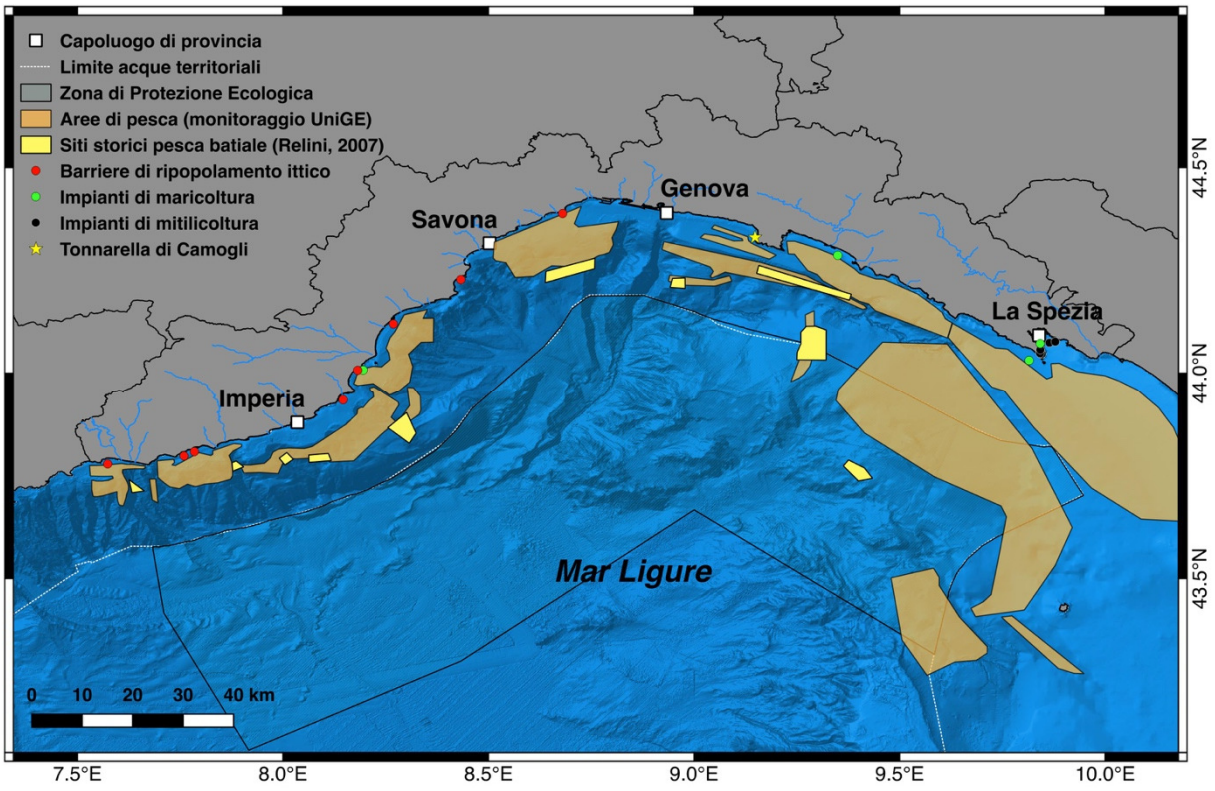


Figura 8 – Attività di pesca

1.3.4. Aree di interesse storico e culturale

Il geoportale della regione Liguria identifica i beni archeologici sommersi del Mar Ligure utilizzando le coordinate geografiche indicate dalle ordinanze con le relative aree di interdizione (Fig. 9). Questo dataset è stato qui arricchito e ampliato utilizzando dati privati (non divulgabili al momento) dell'Università di Genova relativi a relitti di imbarcazioni antiche (epoca romana) e moderne in ferro. Infine sono stati inclusi dati di letteratura che riguardano le aree dei carrelli, che identificano zone in cui sono stati abbandonati materiali militari (Fusco, 1968), ed il sito di Varazze denominato "palestra dei subacquei".

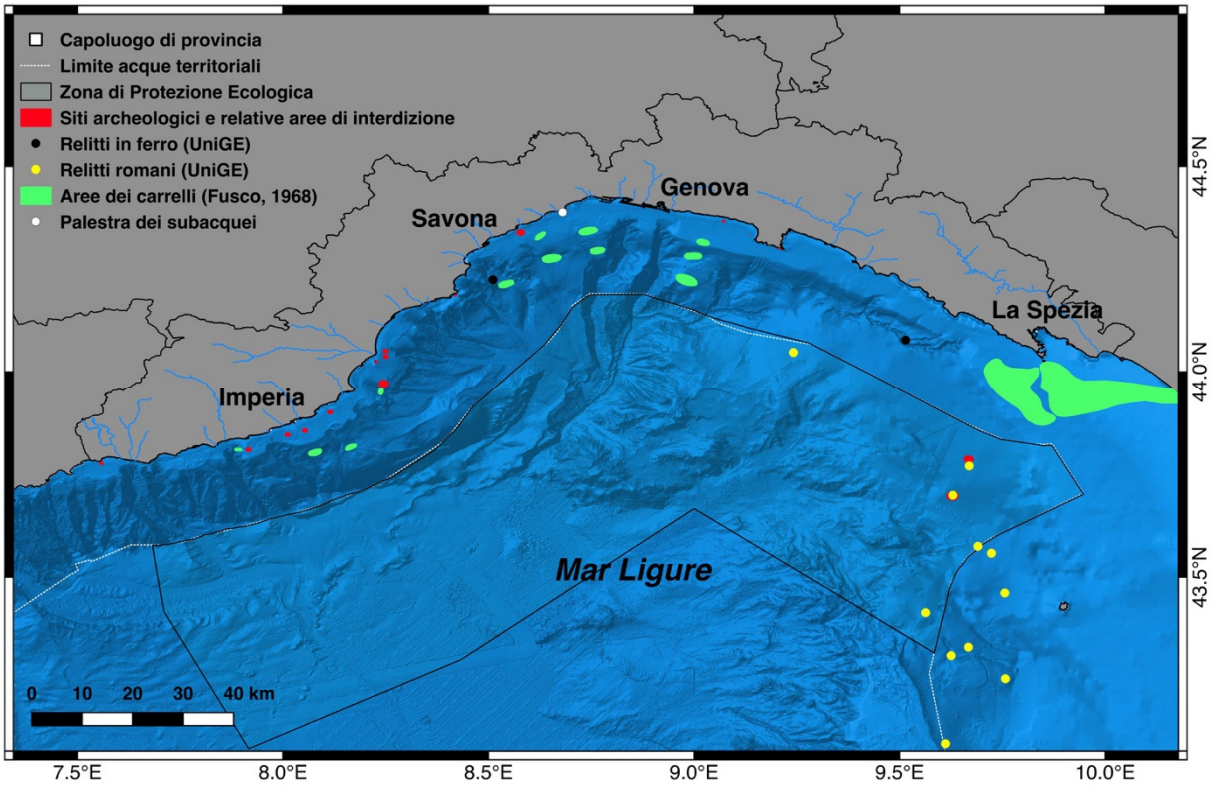


Figura 9 – Aree di interesse storico e culturale

1.4 Conclusioni

Il lavoro di ricerca documentale effettuato nel corso di questo studio ha permesso di identificare una complessa rete di siti di interesse naturalistico, conservazionistico, culturale ed economico nel Mar Ligure. Molti di questi siti potrebbero essere sensibili agli impatti di tipo fisico dovuti all'eventuale immersione dei materiali di escavo di fondali marini (D.M. 173/2016). Per quello che riguarda la morfologia e la geologia dei fondali marini, i siti maggiormente vulnerabili sono quelli caratterizzati da una complessa topografia: secche rocciose del largo, canyon, gradino e scarpata continentale, seamount. Queste aree, come testimoniato da alcuni studi di letteratura, sono note per ospitare ricche e peculiari biocenosi bentoniche (foreste di gorgonie, reef di coralli, aggregazioni di spugne, bivalvi, briozoi ed altri invertebrati sessili), particolarmente importanti perché grazie al loro sviluppo tridimensionale richiamano una ricca fauna associata che qui trova riparo, cibo ed un luogo adatto per la riproduzione e l'accrescimento delle fasi giovanili. Infatti, sebbene in Figura 6 le aree di reclutamento siano mostrate come zone molto ampie, è noto che, su una scala di osservazione più piccola, numerosi organismi necessitano di questo tipo di habitat biologico strutturato per la riproduzione. Questi siti potrebbero quindi risultare particolarmente sensibili agli effetti di un'immissione di materiale esogeno e pertanto devono essere evitati.

Per quello che riguarda gli aspetti idrodinamici e sedimentologici che interessano il Mar Ligure in profondità, non sono state ottenute informazioni particolarmente dettagliate. È noto che, a causa della circolazione ciclonica, la corrente superficiale del Mar Ligure si muove verso ovest, lambendo le coste italiane e quindi quelle francesi (Cattaneo-Vietti et al., 2010). Le acque intermedie levantine e le acque profonde entrano nel bacino ligure sia dal Mar Tirreno (attraversando l'arcipelago toscano) che lungo le coste occidentali della Corsica, seguendo un simile percorso ciclonico (e.g. Astraldi et al., 1994; Millot, 1999; Pinardi et al., 2000). Per un'analisi più dettagliata delle variazioni delle correnti superficiali nel corso dell'anno si rimanda all'atlante delle correnti superficiali dell'Istituto Idrografico della Marina (1982). Una presentazione generale degli aspetti sedimentari del Mar Ligure è offerta da Cattaneo-Vietti et al. (2010), mentre interessanti informazioni su correnti di fondo, distribuzione dei sedimenti, fenomeni gravitativi e correnti di torbida sono riportate da Cattaneo A. et al. (2011; 2017). Come da protocollo, si rimanda ad uno studio di dettaglio della condizione idrodinamica e sedimentologica al fine di caratterizzare l'area selezionata per il possibile sversamento.

Il Mar Ligure è noto per essere uno dei bacini maggiormente antropizzati del Mar Mediterraneo. Il presente studio conferma questa visione, evidenziando le numerose attività antropiche attuate in questa area (sin dall'antichità). È opportuno notare però che la maggior parte di queste attività viene effettuata ad una distanza dalla costa ridotta (Fig. 7), mentre le attività di pesca a strascico (Fig. 8) possono spingersi anche molto al largo, arrivando a penetrare, nel settore di levante, all'interno della ZPE. I pescherecci a strascico operano dalla batimetrica dei 50 fino a 800 metri di profondità, andando ad interessare la quasi totalità della piattaforma continentale e buona parte della scarpata. In tal senso, le aree non interessate da queste attività risultano particolarmente limitate e sono spesso legate a particolari condizioni topografiche o a limiti imposti da altre attività antropiche (e.g. davanti ai porti di Genova, Savona e Vado Ligure). Non tracciabile invece è l'attività di pesca offshore sui seamount.

Infine, è opportuno sottolineare che l'archivio georeferenziato ottenuto nel corso di questo studio, non solo consente di identificare quali aree del Mar Ligure potrebbero risultare particolarmente sensibili ad un eventuale immersione di materiali di escavo, ma rappresenta anche un importante strumento pratico per la tutela delle zone sensibili off-shore.

1.5 Bibliografia

- Astraldi, M., Gasparini, G.P., Sparnocchia, S. (1994). The seasonal and interannual variability in the Ligurian-Pro- venc¸al Basin. In: La Violette PE, editor. Seasonal and interannual variability of the Western Mediterra- nean Sea. Coastal and Estuarine Studies. Washington DC, American Geophysical Union, pp. 93–113.
- Bo, M., Coppari, M., Betti, F., Massa, F., Gay, G., Cattaneo-Vietti, R., & Bavestrello, G. (2020). Unveiling the deep biodiversity of the Janua Seamount (Ligurian Sea): first Mediterranean sighting of the rare Atlantic bamboo coral Chelidonisis aurantiaca Studer, 1890. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 156, 103186.
- Boero, F., De Leo, F., Fraschetti, S., & Ingrosso, G. (2019). The Cells of Ecosystem Functioning: Towards a holistic vision of marine space. Advances in marine biology, 129.
- Cataudella, S., & Spagnolo, M. (2011). Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali: Rome, Italy, 877.
- Cattaneo-Vietti R, Albertelli G, Aliani S, Bava S, Bavestrello G, Benedetti Cecchi L, et al. (2010). The Ligurian Sea: present status, problems and perspectives. Chemistry & Ecology, 26: 319–340.
- Coppo, S., Diviacco, G., Montepagano, E. (2020). Nuovo atlante degli habitat marini della Liguria: cartografia delle praterie di *Posidonia oceanica* e dei principali popolamenti marini costieri. Regione Liguria.
- Danovaro, R., Gambi, C., Dell'Anno, A., Corinaldesi, C., Fraschetti, S., Vanreusel, A., ... & Gooday, A. J. (2008). Exponential decline of deep-sea ecosystem functioning linked to benthic biodiversity loss. Current Biology, 18(1), 1-8.
- Dubois-Dauphin, Q., Montagna, P., Siani, G., Douville, E., Wienberg, C., Hebbeln, D., ... & Pons-Branchu, E. (2017). Hydrological variations of the intermediate water masses of the western Mediterranean Sea during the past 20 ka inferred from neodymium isotopic composition in foraminifera and cold-water corals.
- El-Geziry, T. M., & Bryden, I. G. (2010). The circulation pattern in the Mediterranean Sea: issues for modeller consideration. Journal of Operational Oceanography, 3(2), 39-46.

- Enrichetti, F., Bo, M., Morri, C., Montefalcone, M., Toma, M., Bavestrello, G., ... & Bertolotto, R. M. (2019a). Assessing the environmental status of temperate mesophotic reefs: A new, integrated methodological approach. Ecological indicators, 102, 218-229.
- Enrichetti, F., Dominguez-Carrió, C., Toma, M., Bavestrello, G., Betti, F., Canese, S., & Bo, M. (2019b). Megabenthic communities of the Ligurian deep continental shelf and shelf break (NW Mediterranean Sea). PloS one, 14(10).
- Enrichetti, F., Bavestrello, G., Coppari, M., Betti, F., & Bo, M. (2018). *Placogorgia coronata* first documented record in Italian waters: Use of trawl bycatch to unveil vulnerable deep-sea ecosystems. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 28(5), 1123-1138.
- Esposito, A., & Manzella, G. (1982). Current circulation in the Ligurian Sea. In Elsevier Oceanography Series (Vol. 34, pp. 187-203). Elsevier.
- Fanelli E, Delbono I, Ivaldi R, Pratellesi M, Cocito S, Peirano A. Cold-water coral Madrepora oculata in the eastern Ligurian Sea (NW Mediterranean): Historical and recent findings. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 2017; 27: 965–975
- FAO, 2009. International Guidelines for the Management of Deep-Sea Fisheries in the High Seas. Rome, 73 pp.
- Fusco, N. (1968). Il fondo del mare da Capo di Noli a Sestri Levante con annessa carta di pesca n.7. Rome, Italy: Ministero della Marina Mercantile, Direzione Generale della Pesca Marittima.
- Istituto Idrografico della Marina. (1982). Atlante delle correnti superficiali dei mari italiani. Genova.
- Mannini, A., & Sabatella, R. F. (2015). Annuario sullo stato delle risorse e sulle strutture produttive dei mari italiani. Biologia Marina Mediterranea (Italy) ita v. 22 (1, suppl.).
- Marty, J. C., & Chiavérini, J. (2010). Hydrological changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean, DYFAMED site) during 1995-2007 and biogeochemical consequences. Biogeosciences, 7(7).
- Millot, C. (1999). Circulation in the western Mediterranean Sea. Journal of Marine Systems, 20: 423– 442.

- Picco, P., Cappelletti, A., Sparnocchia, S., Schiano, M. E., Pensieri, S., & Bozzano, R. (2010). Upper layer current variability in the Central Ligurian Sea. Ocean Science, 6(4), 825.
- Pinardi, N., Masetti, E. (2000). Variability of the large-scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 158, 153–173.
- Pinardi, N., Zavatarelli, M., Adani, M., Coppini, G., Fratianni, C., Oddo, P., ... & Bonaduce, A. (2015). Mediterranean Sea large-scale low-frequency ocean variability and water mass formation rates from 1987 to 2007: A retrospective analysis. Progress in Oceanography, 132, 318-332.
- Poulain, P. M., Gerin, R., Rixen, M., Zanasca, P., Teixeira, J., Griffa, A., ... & Pinardi, N. (2012). Aspects of the surface circulation in the Liguro-Provençal basin and Gulf of Lion as observed by satellite-tracked drifters (2007-2009). Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 53(2).
- Robinson, A. R., Leslie, W. G., Theocharis, A., & Lascaratos, A. (2001). Mediterranean Sea circulation. Ocean currents, 1, 19.
- Sardà, F., Calafat, A., Flexas, M. M., Tselepides, A., Canals, M., Espino, M., & Tursi, A. (2004). An introduction to Mediterranean deep-sea biology. Scientia Marina, 68(S3), 7-38.
- Sbrana, M., Colloca, F., Ligas, A., Mannini, A., Mastrantonio, G., Sartor, P., & Serena, F. (2015). Abundance of blackmouth catshark, *Galeus melastomus*, in the FAO-GFCM GSA 9 (Ligurian and Northern-Central Tyrrhenian Sea) and identification of nursery grounds. Biologia Marina Mediterranea, 22(1), 182.
- Thurber, A. R., Sweetman, A. K., Narayanaswamy, B. E., Jones, D. O., Ingels, J., & Hansman, R. L. (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. Biogeosciences, 11(14), 3941-3963.
- Tunesi, L., & Diviacco, G. (1997). Observations by submersible on the bot- toms off shore Portofino Promontory (Ligurian Sea). In M. Piccazzo (Ed.), Atti del 12° Congresso AIOL Isola di Vulcano 18-21 Settembre 1996, Genova, 1, 61–74.
- Würtz, M. (2012). Mediterranean submarine canyons: Ecology and governance. IUCN.
- Würtz, M., & Rovere, M. (2015). Atlas of the Mediterranean seamounts and seamount-like structures. Gland, Switzerland: IUCN.

FASE 2

Utilizzo integrato dei dati acquisiti nella fase 1 per l'individuazione delle aree ove esistano motivi di esclusione per l'attività di immersione in mare, anche sulla base dei criteri di cui al capitolo 3 dell'allegato tecnico al D.M. 173 del 2016.

2.1 Selezione degli elementi sensibili

Lo studio propedeutico all'individuazione delle aree di esclusione per l'immersione in mare dei materiali di escavo dei fondali marini ai sensi del D.M. 173 del 2016 (ARPAL-DISTAV, 2020) ha permesso di individuare una complessa rete di siti di interesse nel Mar Ligure che ricadono all'interno di tre raggruppamenti principali, distinti in base alla presenza di specifiche caratteristiche o specifici usi:

1) Aree di interesse naturalistico
2) Aree utilizzate per attività antropiche
3) Aree di interesse storico e culturale.

I siti identificati all'interno dei tre raggruppamenti presentano diversi livelli di sensibilità in base ai parametri topografici, biologici ed ecologici e di intensità di sfruttamento che li contraddistinguono e per questo motivo si è ritenuto necessario valutare quali siano quelli potenzialmente più sensibili e per i quali è prioritario garantire l'assenza di impatti dovuti alle attività di immissione in mare dei sedimenti.

Di seguito viene riportato in maniera sintetica quanto emerso da questa seconda fase di indagine.

2.1.1 Aree di interesse naturalistico

Queste aree includono una vasta gamma di siti naturalistici che spaziano dai posidonieti costieri, alle Aree Marine Protette, alle formazioni di coralligeno, fino agli ambienti più profondi o di alto mare. In considerazione dei requisiti tecnici legati alle attività in oggetto (zone comprese tra batimetrica dei 200 m o distanza da costa di 3 mn e batimetrica dei 500 m di profondità), sono stati individuati tre ambienti potenzialmente interessati dalle attività di refluimento: il gradino continentale (in Liguria situato approssimativamente tra i 100 m ed i 200 m), la scarpata continentale (dal gradino fino a circa 1000 m) ed i seamount (in Liguria 5 edifici situati offshore, con cime che si trovano tra 150 m e 500 m).

Tutti i siti individuati all'interno delle prime due aree (rocce del largo e canyon) rappresentano siti altamente sensibili con massima priorità di conservazione. Le cime dei seamount liguri, caratterizzate dalle medesime condizioni ecologiche osservate per gli altri due ambienti, sono localizzate tra 27 e 40 miglia nautiche di distanza dai principali porti liguri pertanto, per gli scopi di questa indagine, sono considerate troppo distanti per eventuali attività di refluimento e pertanto meno interessate da questo tipo di impatto.

Le motivazioni che sostengono la priorità di tutela per i siti individuati includono in primo luogo la complessa topografia ed il regime idrodinamico turbolento che caratterizza queste

zone che a loro volta favoriscono lo sviluppo di ricche biocenosi bentoniche (es. foreste di cnidari arborescenti, fondi a spugne, biocostruzioni di coralli bianchi). L'importanza ecologica di questi ecosistemi deriva dal fatto che le specie dominanti che le costituiscono, grazie al loro sviluppo tridimensionale o alla produzione di imponenti biocostruzioni, agiscono come polo di attrazione per una ricca fauna associata (sia di invertebrati che pesci) che qui trova riparo, cibo o un luogo adatto per la riproduzione e l'accrescimento. La presenza di questi ecosistemi ha importanti ricadute anche sui cicli biogeochimici di questi ambienti e generalmente sostiene un forte pelagic-benthic coupling nelle zone di mare aperto che si traduce anche in una maggiore produzione secondaria e reti trofiche pelagiche più complesse. Queste biocenosi sono dominate da organismi sessili caratterizzati da lunghi tempi di accrescimento che risultano quindi poco resilienti agli impatti meccanici delle attività antropiche. Inoltre, queste biocenosi sono dominate da organismi filtratori che rispondono al fenomeno del clogging causato da alti livelli di sedimentazione (ovvero l'ostruzione delle strutture deputate alla filtrazione dell'acqua) con la necrosi dei tessuti che può aumentare la mortalità delle popolazioni. Infine, la progressiva diminuzione di fondi duri con la profondità, porta ad una distribuzione generalmente sparsa di questi ambienti che agiscono quindi come stepping stones per la colonizzazione su ampia scala. Simili biocenosi strutturate sono note anche per i fondi incoerenti dominati da detrito organogeno o fango, con specie altrettanto longeve e sensibili, tuttavia la loro distribuzione attualmente è fortemente controllata dalle attività di pesca a strascico. Questi ecosistemi sono riconosciuti a livello internazionale come vulnerabili (VME, Vulnerable Marine Ecosystems) (FAO, 2009) e pertanto numerose iniziative sono state dedicate alla loro conservazione. Attualmente, non vi è nessuna zona di tutela bentonica in Liguria compresa in questo intervallo batimetrico, né in zona costiera né in zona offshore. Tra i siti individuati spiccano per estensione e complessità tridimensionale le foreste mesofotiche di gorgonie del savonese, le tanatocenosi di coralli bianchi localizzate lungo l'intero arco ligure (Fusco et al., 1968; Enrichetti et al., 2018) ed i reef madreporici viventi situati nel canyon di Levante (Fanelli et al., 2017).

Nel precedente studio, sono state incluse tra le aree di interesse naturalistico e conservazionistico, anche le zone di reclutamento, o aree nursery, di specie ittiche e di invertebrati, al fine di considerare il possibile impatto della refluimento di materiali di escavo (es. disturbo, cambio di granulometria, modifiche nel contenuto organico, apporti di cisti, clogging). Tuttavia, la valutazione della sensibilità di queste aree è risultata particolarmente difficile per vari motivi. In primo luogo, le aree di reclutamento vengono

identificate sulla base di monitoraggi pluriennali della pesca a strascico (MEDITS, GRUND), e pertanto ricadono all'interno di aree in cui l'integrità del substrato è già stata compromessa dalle attività di pesca stesse. Queste aree risultano inoltre particolarmente ampie (in particolar modio nella zona antistanti La Spezia), ed è quindi possibile che al loro interno siano presenti situazioni diverse, caratterizzate a loro volta da diversi livelli di sensibilità. Nelle mappature queste aree corrispondono generalmente ad ampie zone sabbiose o fangose della piattaforma e della scarpata, caratterizzate da una scarsa complessità topografica. Sono popolate da organismi vagili che potrebbero allontanarsi in caso di disturbo, mentre la componente sessile risulta già fortemente danneggiata dall'impatto meccanico delle reti a strascico. Per questa ragione, è stato assegnato alle aree di reclutamento un valore di sensibilità più basso, rimandando volta per volta ad indagini sito-specifiche.

2.1.2 Aree utilizzate per attività antropiche

Tra le numerose attività antropiche che caratterizzano i fondali del Mar Ligure è opportuno notare che la maggior parte di esse viene effettuata ad una distanza dalla costa ridotta, rimanendo al di sopra del range batimetrico considerato. Soltanto le attività di pesca a strascico possono spingersi in profondità ed al largo, arrivando a lambire la batimetrica degli 800 metri di profondità. Le aree interessate dalla pesca a strascico sono numerose (15 macro-aree identificate) e sono caratterizzate da una ampia estensione, come si evince dalla prima indagine. Come riportato nel punto precedente, all'interno di queste aree, l'integrità del substrato e delle comunità bentoniche risulta già fortemente danneggiata dall'impatto meccanico delle reti a strascico. Per questo motivo, viene assegnato anche in questo caso un valore di sensibilità più basso, rimandando volta per volta ad indagini sito-specifiche.

2.1.3 Aree di interesse storico e culturale

Le aree di interesse storico e culturale comprendono numerosi siti che identificano la presenza di relitti di epoche differenti. Molte di queste aree risultano già tutelate da specifiche ordinanze e aree di interdizione (es. 500 m di interdizione alla pesca attorno ai relitti). Unitamente al valore archeologico e culturale di queste aree, viene fatto presente che, similmente alle rocce del largo, questi substrati duri artificiali agiscono come poli di attrazione per la fauna bentonica e demersale, diventando siti ad alta biodiversità.

Tutti i siti individuati, tutelati e non, sono considerati sensibili alla refluimento di sedimenti che porterebbe ad un insabbiamento delle strutture.

2.2 Criteri per la definizione delle aree di buffer

Gli elementi sensibili sono individuati sulla cartografia con un'impronta topografica (figura 1), tuttavia per garantirne la tutela è necessario definire un'area di buffer che tenga conto del complesso fenomeno di dispersione che i sedimenti subiscono durante il refluimento in mare.

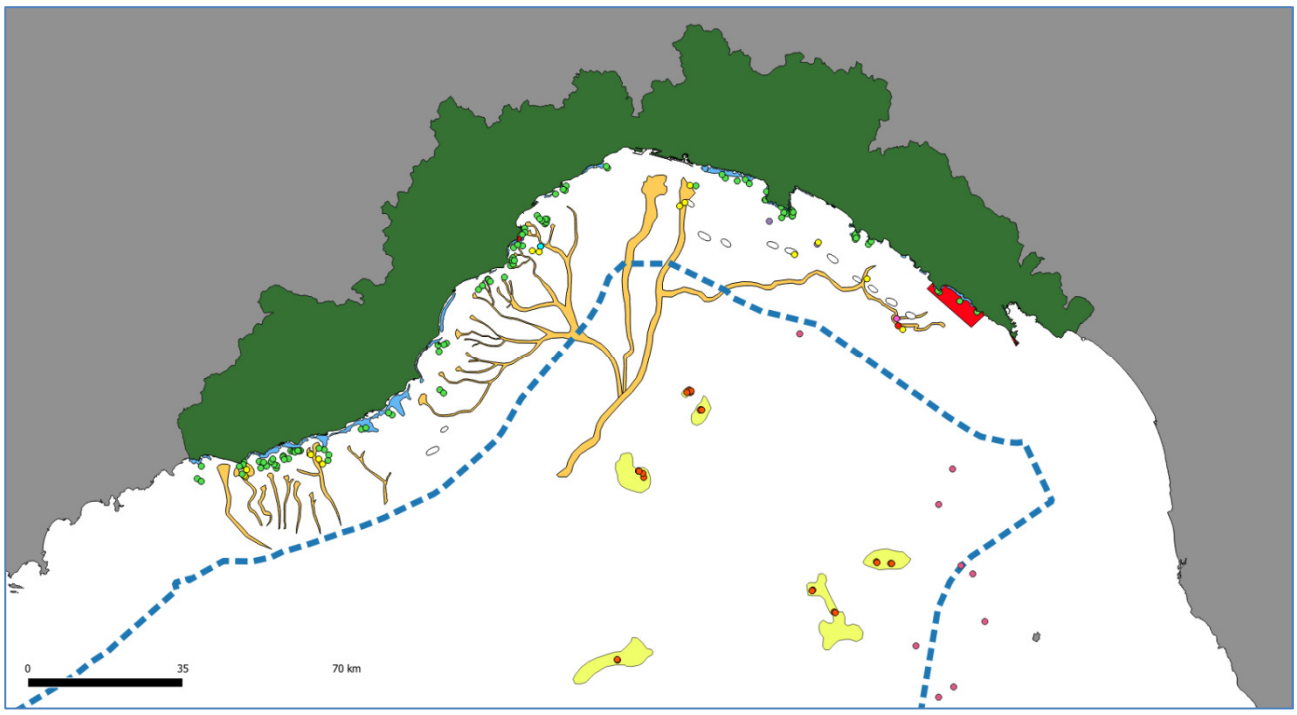


Figura 10. Elementi sensibili selezionati per la definizione delle aree di esclusione. (Linea tratteggiata azzurra: limite 12 mn).

I fattori che determinano il cono di dispersione del materiale sono molteplici: granulometria del sedimento, regime correntometrico, profondità del fondale, modalità di refluimento ed eventuali variazioni di densità o condizioni di stratificazione della colonna d'acqua, e rendono complesso determinare, su scala regionale, un'area univoca di buffer che risulti sempre e comunque cautelativa anche in condizioni favorevoli alla dispersione del sedimento refluito.

Ciò considerato, si propone di applicare un'area di buffer di 3 miglia nautiche nell'intorno dell'impronta topografica degli elementi sensibili da preservare, in analogia a quanto

indicato dal legislatore nell'allegato tecnico al D.M. 173/2016 che stabilisce una distanza minima dalla costa di 3 miglia nautiche per il refluimento in mare dei sedimenti.

2.3 Definizione delle aree di esclusione

Applicando i criteri sopra esposti alle impronte topografiche degli elementi sensibili censiti lungo la fascia costiera ligure è possibile definire le aree di esclusione per il refluimento in mare dei sedimenti dragati. Il risultato, riportato nella figura 2, mostra come la fascia di interesse definita dai criteri regionali (limite 3 miglia nautiche dalla costa e batimetrica compresa tra 200 e 500 metri) risulti quasi completamente saturata dalle aree di buffer applicate agli elementi sensibili considerati.

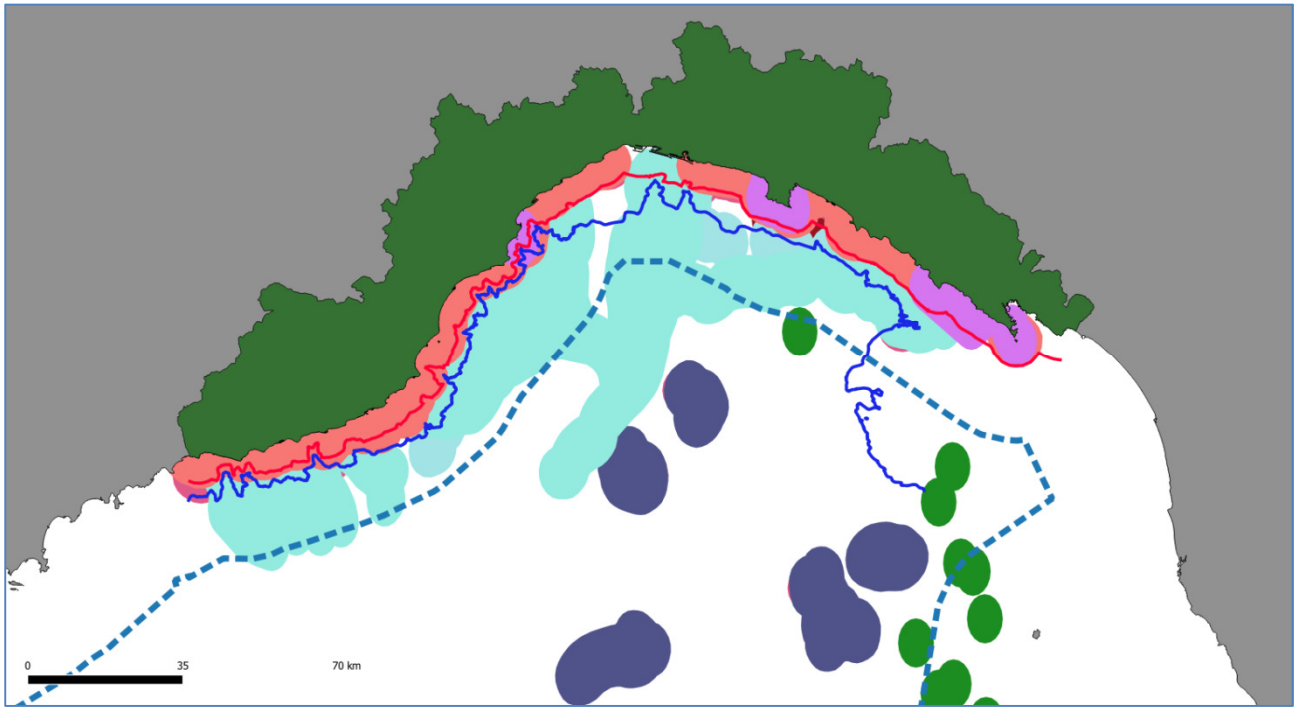


Figura 11. Aree di buffer intorno agli elementi sensibili selezionati per la definizione delle aree di esclusione. Linea rossa: limite costiero previsto dal D.M. 173/2016 (i.e. distanza di 3 mn dalla costa o batimetrica dei 22 metri); linea blu: batimetrica 500 metri.

Non rientrano negli ambiti di esclusione le 3 aree di seguito descritte.

Ubicazione	Estensione	Range batimetrico
Area A Compresa tra il comune di Cogoleto (SV) e Genova Voltri	Circa 54 km^2	130-500 m
Area B Compresa tra Genova Quarto e il comune di Camogli (GE)	Circa 25 km^2	110-500 m
Area C Compresa tra i comuni di Levanto (SP) e Luni (SP)	Circa 1055 km^2 (di cui 530 all'interno della linea delle 12 miglia corrispondente al limite delle acque territoriali)	20-500 m

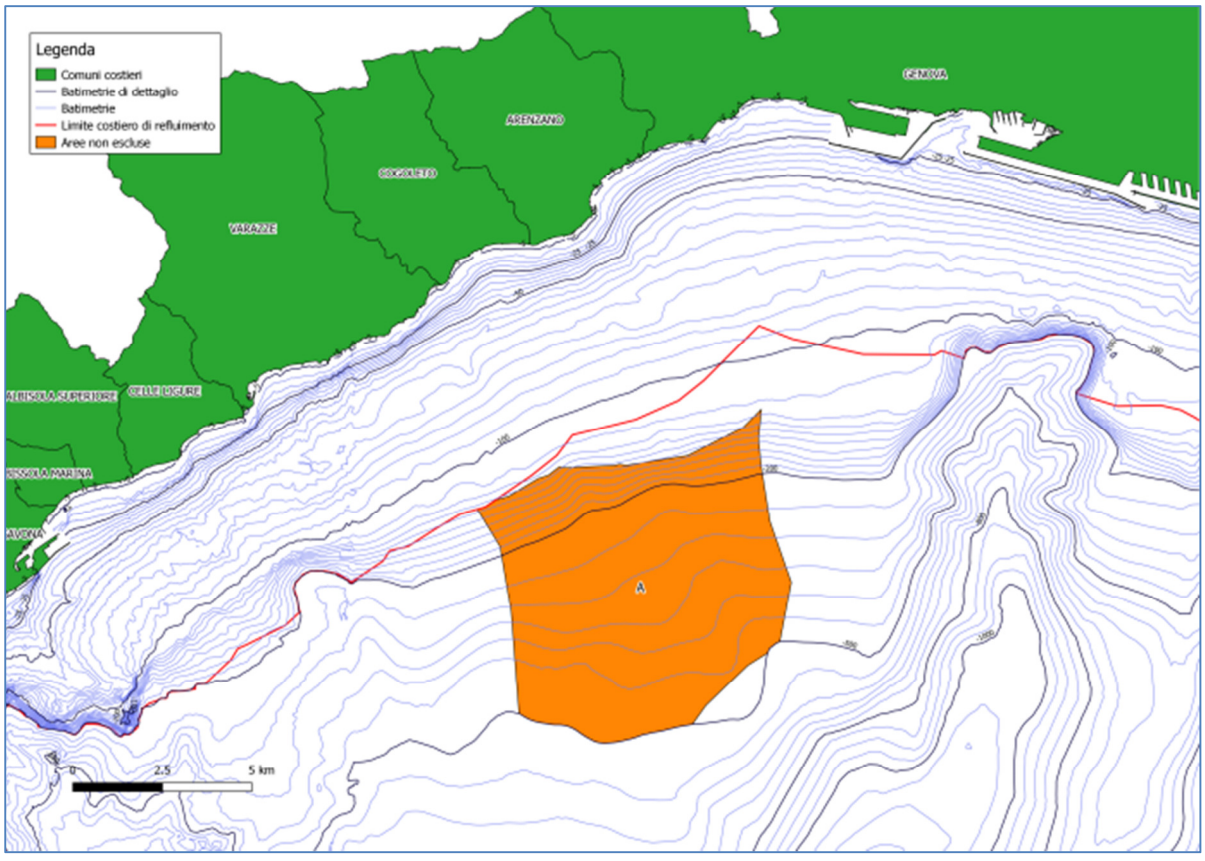


Figura 12 Area A – Compresa tra Cogoleto (SV) e Genova Voltri.

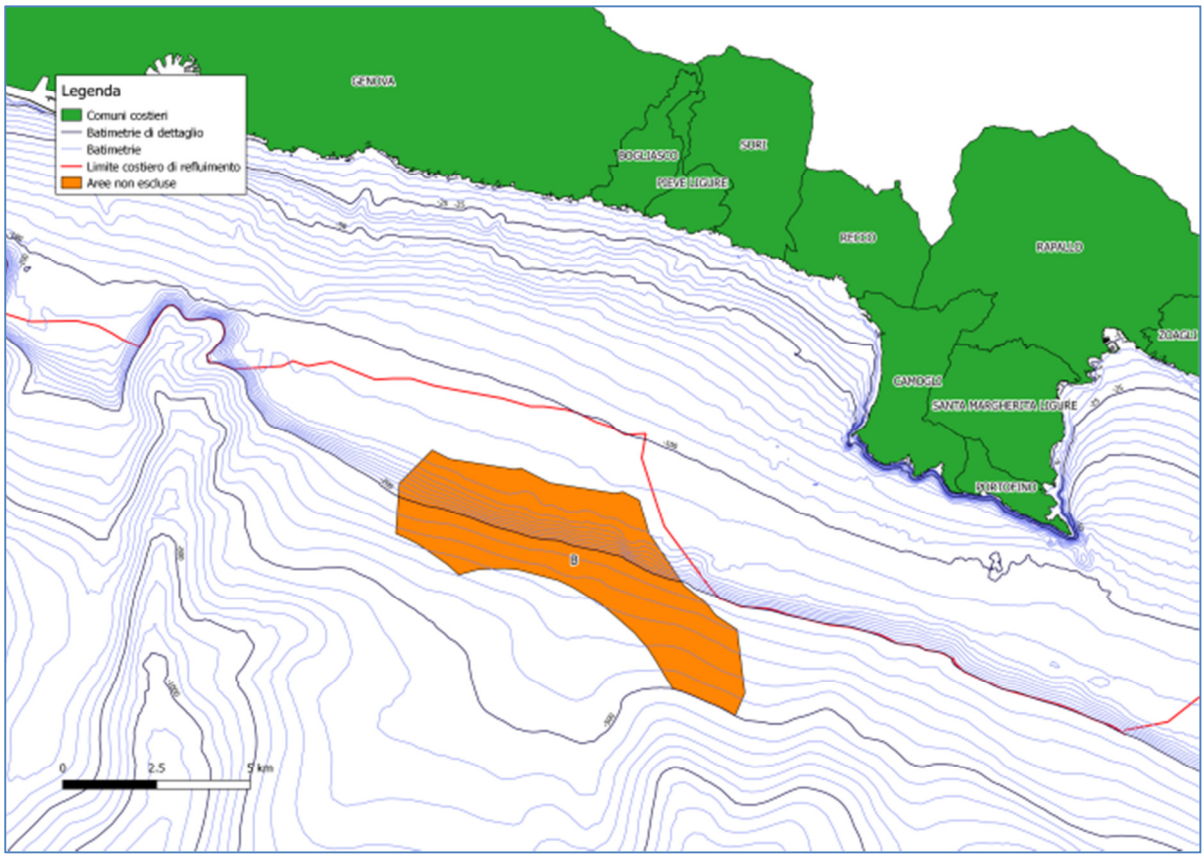


Figura 13 Area B – Compresa tra Genova Quarto e Camogli (GE).

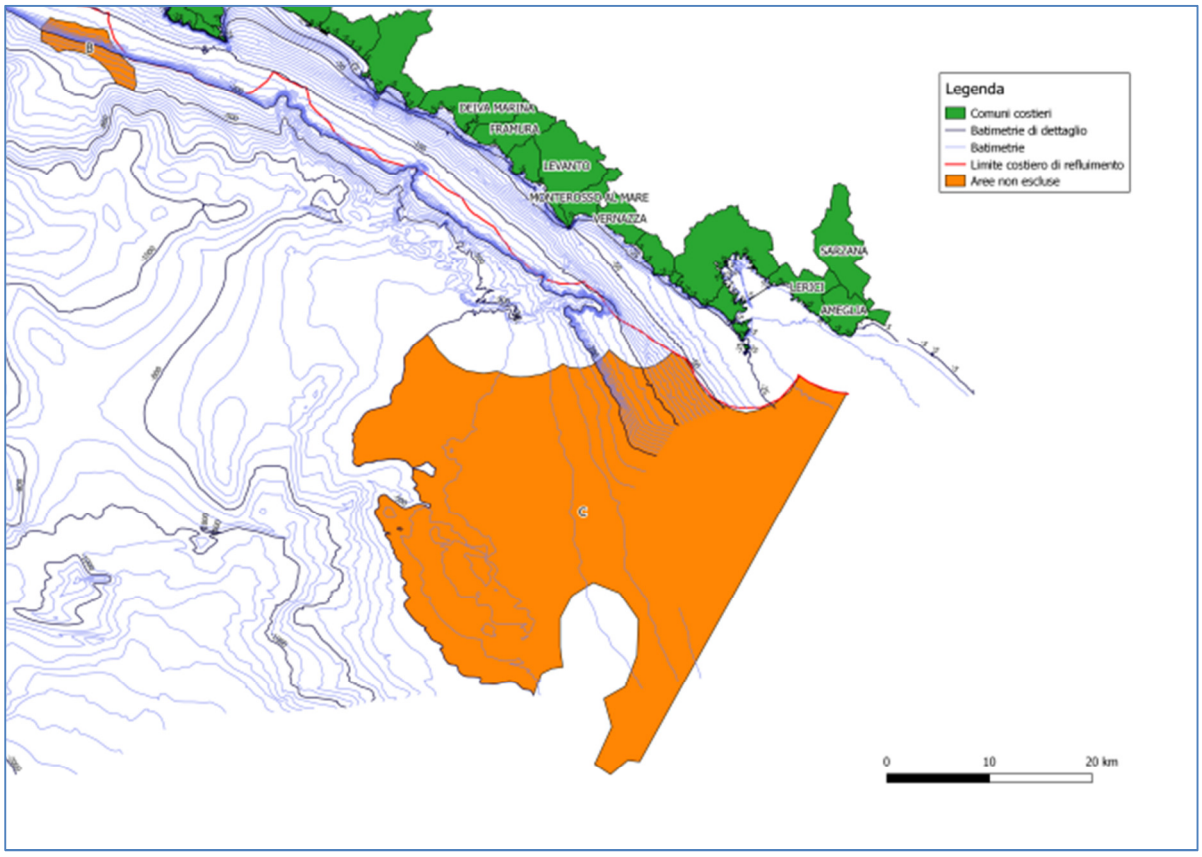


Figura 14 Area C – Compresa tra Levanto (SP) e Luni (SP).

Le aree così definite, sulla base delle informazioni reperite e ad oggi disponibili, potranno essere considerate per il refluimento in mare di sedimenti dragati a valle di una caratterizzazione sito specifica, come previsto dall'allegato tecnico al D.M. 173/2016, che consideri anche le eventuali potenziali interferenze con le attività di pesca professionale.

FASE 3

Stesura di una metodologia per la caratterizzazione a livello progettuale delle aree di reperimento per l'immersione deliberata in mare, per la rappresentazione e valutazione dei relativi risultati, anche sulla base delle indicazioni tecniche per l'individuazione delle aree marine destinate all'immersione dei materiali di escavo di cui al capitolo 3 dell'allegato tecnico al D.M. 173 del 2016.

3.1 Introduzione

Gli elementi tecnici e le valutazioni di merito emersi in seno al gruppo di lavoro ARPAL che ha redatto il presente documento sono stati integrati con il dettato normativo dell'allegato tecnico al D.M. 173/2016 e in particolare con il paragrafo 3.1 che riporta le "Indicazioni tecniche per l'individuazione e la caratterizzazione dell'area destinata all'immersione dei materiali di escavo".

Con le fasi 1 e 2 del presente studio sono state individuate le aree di mare prospiciente la costa ligure per le quali non esistono, allo stato attuale delle conoscenze tecnico-scientifiche, motivi per escluderle tout-court quali siti di destinazione per il refluimento di sedimenti di dragaggio. La caratterizzazione di seguito proposta deve pertanto essere considerata quale strumento conoscitivo per consentire all'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione di definire con ragionevole sicurezza la rispondenza di tali aree ai dettami previsti dalla norma e di poter integrare e implementare le informazioni acquisite con quanto già presente nelle banche dati regionali e di Agenzia.

3.2 Definizione dell'area vasta e individuazione del sito d'immersione

La ricerca del sito di immersione dove collocare i materiali dragati deve tener conto delle caratteristiche di un'area vasta all'interno della quale poter disporre di differenti alternative finalizzate alla scelta della soluzione a minore impatto.

I siti di immersione in mare dei materiali dragati devono essere pertanto ricompresi in aree più grandi di cui è necessario conoscere almeno a macroscala le caratteristiche fisiche e dinamiche della colonna d'acqua, quelle morfologiche e fisiche dei fondali e le principali biocenosi bentoniche che caratterizzano i fondali.

Come da allegato tecnico al D.M. 173/2016, tali aree vaste devono aver dimensioni da poter ricomprendere più di un possibile sito di immersione e le aree di controllo da 1 mn2.

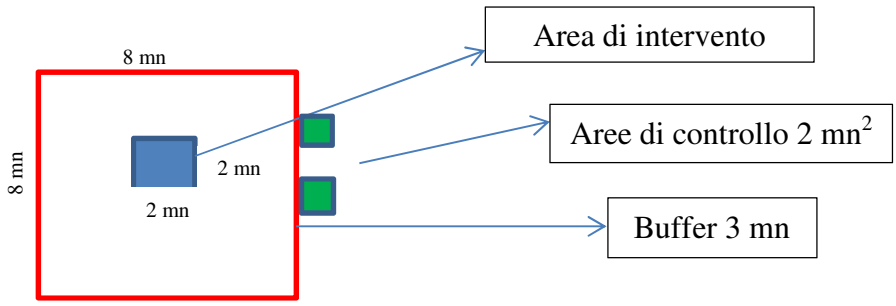
Di seguito si riporta un criterio cautelativo da adottare per dimensionare le aree vaste.

L'area vasta dovrebbe avere una superficie minima tale da comprendere la superficie dell'area di intervento per il refluimento, più un buffer di 3 miglia nautiche a corona, più la superficie pari a 2 mn2 relativa alle due aree di controllo.

ESEMPIO NUMERICO:

Considero un'area di intervento di 4 mn2 (corrisponde ad una capacità di refluimento di circa 686000 m3, considerando uno spessore medio di 5 cm).

L'Area vasta avrà dimensioni 4 mn2 + 3 mn per lato (buffer di interferenza), per una superficie complessiva di 8x8mn=64mn2 a cui aggiungere 2 mn2 per le 2 aree di controllo per un totale di 66 mn2.



L'esempio illustrato è puramente teorico e deve essere contestualizzato all'area di intervento considerando la distanza dalla costa e la batimetria; il dimensionamento dell'area vasta può essere meglio dettagliato a valle di uno studio modellistico che consideri le condizioni sito-specifiche.

L'area vasta dovrà essere individuata con la definizione delle coordinate dei vertici, proiettate UTM WGS84 fuso 32/33 e restituita su base cartografica corrispondente a carta nautica prodotta dall'Istituto Idrografico della Marina (IIM) in scala opportuna. Dovranno inoltre essere riportate distanza minima e massima dalla costa (in miglia nautiche) e la profondità minima e massima (in metri).

Le informazioni necessarie per la caratterizzazione dell'area vasta possono essere suddivise in due gruppi:

<u>dati desumibili dalla bibliografia</u>:

- caratteristiche dinamiche della massa d'acqua;
- individuazione e descrizione dei vincoli e degli usi del mare: altri siti di immersione autorizzati, Aree Marine Protette, Parchi Nazionali, Siti Rete Natura 2000, Aree Archeologiche Marine, Zone di Tutela Biologica (ZTB), grandi infrastrutture (strutture offshore, cavi, condotte, oleodotti, rigassificatori), attività antropiche (acquacoltura), poligoni militari, aree di divieto di ancoraggio e pesca.

dati da determinare con indagini sito specifiche:

- caratteristiche del fondale (morfologia, batimetria) e dei sedimenti superficiali (granulometria);
- verifica delle caratteristiche chimiche e fisiche della colonna d'acqua al fine di integrare e verificare i dati bibliografici disponibili;
- verifica della presenza/distribuzione di habitat e specie di interesse conservazionistico, qualora le informazioni reperite in bibliografia non risultino sufficienti ed esaustive nel caratterizzare l'area vasta.

I dati morfobatimetrici sulla natura e la conformazione del substrato potranno essere reperiti mediante rilievo con ecoscandaglio multifascio (multibeam echosounder-MB) e mediante sonar a scansione laterale (Side Scan Sonar – SSS).

I rilievi con MB sono funzionali a generare un modello digitale del terreno (Digital Terrain Model- DTM) per l'area vasta al fine di verificare l'eventuale presenza di substrati duri, adatti ad ospitare habitat e specie di interesse conservazionistico. Per questo scopo è necessario che il rilievo abbia una risoluzione minima pari a 1 x 1 m. Qualora, a causa del range batimetrico dell'area di indagine, non fosse possibile raggiungere con MB la risoluzione richiesta per l'intera area vasta, allora sarà necessario effettuare dei rilievi aggiuntivi con SSS ad alta risoluzione nelle aree corrispondenti alle anomalie nel segnale acustico del MB. Il rilievo morfobatimetrico con MB dovrà comunque consentire di generare un DTM a risoluzione minima di 5 x 5 metri.

I rilievi con SSS sono utili anche per acquisire informazioni sulla natura del substrato nell'area di refluimento: a tal fine saranno prelevati, se necessario, alcuni campioni (minimo 5) per le analisi granulometriche del sedimento, come validazione dei profili ottenuti mediante le prospezioni geofisiche.

I dati acustici delle indagini con MB (inclusi i dati di backscatter) e SSS dovranno essere restituiti sia come file RAW originali acquisiti dallo strumento sia come ASCII GRID, indicando il sistema di riferimento e il formato delle coordinate.

Al fine di garantire la massima attendibilità dei rilievi acustici è necessario che il mezzo nautico utilizzato sia equipaggiato con GPS con correzione differenziale e che vengano acquisiti almeno 3 profili SVP nell'arco di ogni giornata di rilievo. Inoltre si raccomanda che i rilievi siano condotti con condizioni del mare ottimali (altezza d'onda inferiore a 20 cm), governando il mezzo nautico ad una velocità non superiore a 5 kn e garantendo una sovrapposizione delle linee di acquisizione di almeno il 20%.

Infine, è necessario che vengano restituiti le rotte di navigazione, in formato shapefile, i dati mareografici acquisiti da mareografi entro 100 km dal sito di indagine, in formato tabellare e i profili SVP in formato tabellare con indicazione dei valori rilevati e delle coordinate dei punti di rilievo.

Per valutare la presenza e l'estensione dei fondi duri potenzialmente adatti ad ospitare habitat e specie di interesse conservazionistico a partire dai dati acustici, è utile costruire dal DTM tematismi relativi a pendenza del fondale, rugosità e valore dell'indice BPI (bathymetric position index): questi tre parametri possono infatti fornire indicazioni utili sulla presenza di fondi duri. Tuttavia, le analisi ed elaborazioni dei dati morfobatimetrici devono essere incrociate con i dati di backscatter (o eventualmente con i dati SSS) per delimitare le aree di potenziale presenza di substrato duro, che dovranno essere restituite in formato vettoriale (shape file).

Qualora dai rilievi acustici condotti nell'area vasta emerga la presenza di substrati potenzialmente adatti ad ospitare habitat e specie di interesse conservazionistico, è necessario riperimetrare l'area vasta escludendo la superficie ottenuta applicando un buffer di 3 mn all'impronta topografica del potenziale habitat ottenuta con i rilievi acustici. In alternativa è necessario verificare l'effettiva presenza dell'habitat e delle specie di interesse conservazionistico attraverso riprese con veicoli sottomarini pilotati da remoto (Remotely Operated Vehicle – ROV). Nel caso questi studi dimostrino l'assenza di habitat e specie di interesse conservazionistico, l'area vasta definita in partenza può essere mantenuta inalterata.

I rilievi mediante ROV devono essere eseguiti con idonea imbarcazione di appoggio su cui sia presente una consolle per il controllo remoto di tutti i sistemi (motori, luci, manipolatore, strumentazione), che sia munita di monitor per il controllo e la registrazione in tempo reale delle immagini, delle informazioni di profondità, della rotta e dei tempi di percorrenza.

Inoltre, occorre prevedere che il ROV sia dotato della seguente strumentazione:

sistema di posizionamento geografico acustico subacqueo (USBL), bussola, videocamera con sensore HD, fari per l'illuminazione.

I percorsi esplorativi del ROV devono essere pianificati in accordo con l'autorità competente in funzione delle caratteristiche morfologiche del fondale e delle elaborazioni dei dati acustici, in modo da permettere una copertura significativa di tutte le tipologie di substrato presenti all'interno dell'area identificata. Tale indagine ha lo scopo di verificare l'effettiva assenza di habitat e specie di interesse conservazionistico. Il ROV dovrà procedere, quanto più possibile ad una distanza costante dal fondale, ad un'altezza di

circa 1,5 m dallo stesso, ed a velocità costante, massimo 1 kn o comunque tale da consentire un'adeguata analisi delle immagini acquisite. Le coordinate dell'intero percorso dovranno essere registrate nel datum WGS84 (espresse in gradi sessadecimali al quinto decimale: GG,GGGGG°) e restituite in formato vettoriale (shape file). I video dovranno quindi essere analizzati per determinare la lista dei taxa eventualmente presenti nell'area di indagine, con particolare riferimento alle specie di interesse conservazionistico, da restituire in formato tabellare con indicazione delle coordinate di rilevazione degli esemplari. I file video associati ai transetti prodotti mediante ROV dovranno essere restituiti in formato mp4 compresso in file .zip.
Tutte le informazioni reperite (sia bibliografiche che sito specifiche) dovranno essere rese disponibili su sistemi G.I.S. per permettere elaborazioni e valutazioni mediante tecniche di overlay mapping.

3.3 Definizione del sito d'immersione e individuazione delle aree di controllo

Il sito d'immersione deve essere dimensionato in funzione dei volumi di materiale da immergere (ricoprimento teorico medio massimo pari a 5 cm), in considerazione anche dell'eventualità di ulteriori immersioni da ripetere periodicamente, secondo la programmazione di gestione dei materiali di cui alla Scheda di inquadramento dell'area (Capitolo 1 dell'allegato tecnico al D.M. 173/2016).
La forma del sito di immersione deve essere definita secondo geometrie regolari suddivisibili in Subaree Unitarie di superficie pari a 1 miglio nautico (mn) x 1 miglio nautico (mn), nelle quali differenziare temporalmente i volumi di materiale da immergere.
La norma prevede due possibili casi in funzione della localizzazione del sito:

<u>siti ubicati entro la batimetrica dei 200 m (su piattaforma continentale)</u>
devono essere individuate almeno due aree di controllo con superficie di almeno 1 mn2 ciascuna, che abbiano le stesse caratteristiche del sito di immersione e relativamente prive di impatto di origine antropica e, presumibilmente, non influenzabili dalle attività di scarico.
<u>siti ubicati oltre la batimetrica dei 200 m</u>
devono essere individuate almeno tre stazioni di controllo prospicienti le zone costiere potenzialmente influenzate dallo scarico o altre aree da attenzionare per eventuali e potenziali vulnerabilità ambientali, tenendo conto dell'idrodinamismo locale prevalente.

In entrambi i casi l'individuazione delle aree di controllo deve essere effettuata secondo i criteri e con gli strumenti modellistici di seguito riportati.

3.3.1 Modellistica

In fase di caratterizzazione del sito individuato per l'immersione, l'impiego di modelli matematici permette di:

- ottenere stime dell'estensione dell'area influenzata dalle attività di rilascio dei sedimenti;
- confrontare gli effetti di diverse tecniche operative (quali, a titolo di esempio, quantità di sedimenti sversati per area, velocità di sversamento);
- confrontare gli impatti in diverse aree indentificate per l'immersione;
- localizzare le aree di controllo;
- definire limiti operativi in relazione alle condizioni meteomarine.

La fase di modellistica deve essere preceduta da una fase conoscitiva di acquisizione delle informazioni e delle serie storiche necessarie all'impostazione degli scenari modellistici quali: onde, correnti, temperatura, salinità ricavate, ad esempio, da modelli di circolazione di larga scala disponibili nell'ambito del Servizio CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service). È necessaria la pianificazione e realizzazione di campagne di misura ad hoc per verificare che i dati disponibili siano adeguati a rappresentare le dinamiche del sito di interesse. Tali campagne di misura dovranno riguardare: profilo correntometrico, profili verticali di temperatura e salinità a profondità tali da permettere in particolare di caratterizzare il picnoclino. Le misure dovranno essere realizzate per un numero di campagne sufficienti a definire i differenti scenari di condizioni idrodinamiche e meteomarine individuate quali idonee alle attività.

Il modello di circolazione utilizzato come base per le valutazioni di impatto ambientale delle attività di sversamento al largo deve essere in grado di rappresentare correttamente il campo tridimensionale di corrente locale. Inoltre, dovranno essere considerati tutti gli scenari ritenuti rappresentativi, quali, ad esempio: condizioni statisticamente più ricorrenti, condizioni stagionali, condizioni estreme, condizioni climatiche sfavorevoli ancorché non estreme.

Il modello di trasporto e deposizione dei sedimenti, per la quantificazione delle alterazioni significative dei parametri di interesse (solidi sospesi e deposizione al fondo) in funzione delle tecniche operative impiegate, deve essere in grado di riprodurre i processi di generazione e sviluppo dei pennacchi di torbida superficiali e di fondo. Gli scenari di

dispersione di sedimenti devono fornire le informazioni sugli effetti attesi, in termini di estensione del plume di torbida e deposizione al fondo. I risultati dovranno essere restituiti attraverso mappe che permettano l'identificazione delle aree influenzate.

Per dettagli sull'impostazione degli studi modellistici si rimanda al documento LL.GG. ISPRA "La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino costiere" - Lisi I., Feola A., Bruschi A., Di Risio M., Pedroncini A., Pasquali D., Romano E. (2017), di cui si riporta in allegato un estratto per le sole attività di sversamento a largo.

3.4 Caratterizzazione del sito d'immersione e delle aree di controllo

Premesso che sulla base delle fasi 1 e 2 del presente studio sono state escluse dalla possibilità di essere utilizzate quali aree di refluimento quelle ad una distanza inferiore alle 3 Mn dalla costa, si prevede un'unica tipologia di caratterizzazione come di seguito descritto.

Nel sito d'immersione e nelle aree di controllo, il piano di indagine e campionamento di sedimenti superficiali deve prevedere:

- il posizionamento di un numero di stazioni non inferiore a 3 per siti di immersione con superficie minore di 2 mn^2;
- il posizionamento di un numero di stazioni non inferiore a 2 per ogni mn^2 per siti di immersione con superficie maggiore di 2 mn^2;
- il posizionamento di un numero di stazioni non inferiore a 3 per ogni mn^2 nelle aree di controllo.

È richiesta altresì la produzione cartografica di rilievi morfologici del sito di immersione e delle aree di controllo, attraverso indagini acustiche (es. Multibeam, Side Scan Sonar) in scala adeguata.

Nell'area di refluimento è necessario raccogliere dati acustici con SSS con risoluzione minima 1 x 1 m per ottenere informazioni puntuali sulla natura del fondale, da confermare, se necessario, con l'analisi granulometrica. Questo approfondimento da effettuare nell'area di refluimento complementa la caratterizzazione morfobatimetrica con MB già effettuata nello studio sull'area vasta.

Le indicazioni relative alle modalità di esecuzione dei rilievi e di restituzione degli elaborati riportati in precedenza per i rilievi acustici sull'area vasta sono validi anche per i rilievi sull'area di refluimento.

L'allegato tecnico al D.M. 173/2016 prevede che i campioni di sedimento superficiale prelevati debbano essere sottoposti ad una approfondita serie di indagini:

analisi chimiche, fisiche del sedimento, secondo quanto indicato al Capitolo 2 (Caratterizzazione e classificazione dei materiali dell'area di escavo di fondali marini); queste ultime devono essere eseguite solo qualora siano presenti impianti di acquacoltura nel raggio di 5 mn;

Il GdL di ARPAL ritiene che un approfondimento di questo tipo implichi l'impiego di significative risorse a fronte di una restituzione di dati che non costituirebbero uno strumento utile alla caratterizzazione dell'area del refluimento a mare. Pertanto, si ritiene di poter soprassedere in questa fase alle analisi di cui alla tab. 2.5 dell'allegato tecnico al D.M. 173/2016.

Si propone altresì di valutare la caratterizzazione chimico-fisica quale elemento da proporsi in fase di monitoraggio ante-operam (che verrà più esaustivamente trattato nella fase 4 dello studio) finalizzato alla possibilità di confronto delle concentrazioni dei parametri chimici di cui alla tab. 2.5 con quelle che verranno rilevate al termine delle operazioni di refluimento (monitoraggio post-operam).

Analisi della composizione e della struttura delle comunità macrozoobentoniche di fondo mobile: campionamento da effettuarsi seguendo quanto indicato dalle Metodologie analitiche di riferimento (ICRAM, 2001) e dalle successive linee guida tecniche ufficiali. Per ciascun punto di campionamento dovranno essere raccolti campioni in triplicato sui quali verranno effettuate le determinazioni tassonomiche a livello di specie, ove possibile. Inoltre saranno analizzati TOC e granulometria. I dati da restituire saranno la lista tassonomica dei taxa rilevati e delle relative abbondanze e la determinazione di indici ecologici descrittivi della struttura della comunità.

Si ritiene sufficiente indagare la comunità dei macroinvertebrati dei fondi mobili in quanto, seguendo i criteri di esclusione sviluppati nella fase 2, la presenza degli altri habitat citati nella norma (praterie di fanerogame marine, coralligeno, beach rock, …) comporterebbe l'esclusione dell'area per il refluimento in mare dei sedimenti di dragaggio.

analisi ecotossicologiche secondo i criteri di cui al Capitolo 2 dell'Allegato tecnico;

In analogia con quanto espresso in merito alla caratterizzazione chimico fisica dei sedimenti del fondale si ritiene non necessario in questa fase effettuare le analisi ecotossicologiche.

Le indagini devono essere condotte da Enti e/o Istituti Pubblici di comprovata esperienza, oppure da laboratori privati accreditati da organismi riconosciuti ai sensi della norma UNI CEI EN 17011/05 per le specifiche prove previste, inseriti in circuiti di intercalibrazione nazionali e/o internazionali ove esistenti.

FASE 4

Stesura di un piano di monitoraggio ambientale per le attività di immersione deliberata in mare, comprensive delle attività *pre-operam*, *in-operam* e *post-operam*, e per la rappresentazione e valutazione dei relativi risultati.

4.1 Indicazioni generali

Anche in questo caso, come nelle precedenti fasi dello studio, il Gruppo di Lavoro ARPAL ha elaborato i seguenti indirizzi tecnici partendo dal dettato normativo dell'allegato tecnico al D.M. 173/2016 e in particolare in questo caso dal paragrafo 3.3 Attività di monitoraggio ambientale, integrandolo e modulandolo alle realtà sito specifiche regionali.

Il paragrafo 3.3 dell'Allegato Tecnico si riferisce a tutte le fasi previste in un dragaggio, quindi descrive il monitoraggio durante lo scavo, durante il trasporto e infine durante il refluimento.

Nello specifico questo elaborato illustra, come richiesto nel quesito di fase 4, le attività di monitoraggio da eseguire nel caso di immersione di sedimenti in mare oltre le 3 Mn.

Lo scopo del monitoraggio, come detto nell'Allegato Tecnico, è quello di " verificare l'ipotesi di impatto, ovvero l'entità degli effetti sul comparto abiotico e biotico e verificare la tendenza al ripristino delle condizioni precedenti le attività di movimentazione, ponendo particolare attenzione alla variazione della biodisponibilità di sostanze potenzialmente tossiche, alla comparsa di modificazioni "precoci" (biomarker) nei sistemi biologici indicatori e di effetti tossici a breve o più lungo termine, nonché alle alterazioni a carico delle biocenosi, soprattutto di habitat e specie di interesse conservazionistico". La sua progettazione deve essere realizzata secondo il principio di gradualità, secondo cui "il numero delle stazioni, i parametri da monitorare nella colonna d'acqua, nel sedimento superficiale e nel biota devono essere commisurati alla qualità e alla quantità dei materiali da sottoporre a movimentazione, alla durata e alle modalità operative relative alla localizzazione degli specifici interventi".

Sulla base di questi principi è stato redatto il presente documento, ma anche in questo caso, come per la fase 3 dello studio, avendo escluso la possibilità di utilizzare quali aree di refluimento quelle ad una distanza inferiore alle 3 Mn dalla costa, si prevede un'unica tipologia di monitoraggio come di seguito descritto.

Il Piano di Monitoraggio elaborato secondo i criteri riportati nei successivi paragrafi dovrà essere parte integrante della documentazione tecnica necessaria ai fini dell'autorizzazione.

4.2 Attività e fasi del monitoraggio

Come indicato nell'Allegato Tecnico del D.M.173/16 le attività di monitoraggio per il refluimento in mare si sviluppano in 3 fasi: ante operam, corso d'opera, post operam durante le quali devono essere effettuate specifiche attività d'indagine.

Il GdL ARPAL ha fatto proprio lo schema operativo riportato in Tab.3.1 dell'Allegato Tecnico, rimodulandolo in relazione alle attività già previste nella fase 3 di questo studio.

Nella Tabella di seguito ripotata sono indicate le attività da eseguire nelle varie fasi del refluimento. Nei paragrafi successivi sono dettagliate ed esplicitate le modalità operative delle varie attività previste nelle tre fasi esecutive.

TIPOLOGIA DI INDAGINE	ANTE OPERAM	IN CORSO D'OPERA	POST OPERAM
A. MORFOLOGIA E BATIMETRIA DEL SITO			
B. CHIMICO-FISICA DELLA COLONNA D'ACQUA (SST, profilo batimetrico di Torbidità, Temperatura, Ossigeno disciolto ed altri parametri previsti dal Piano di monitoraggio)			
C. CHIMICA, FISICA, ECOTOSSICOLOGIA E MICROBIOLOGIA DEI SEDIMENTI DI FONDO			
D. COMUNITÀ BENTONICHE			
E. BIOACCUMULO E/O BIOMARKER E/O ALTRE VALUTAZIONI ECOTOSSICOLOGICHE RELATIVE AD ORGANISMI STANZIALI CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIE ITTICHE DI INTERESSE COMMERCIALE	Da valutare in caso di presenza di sostanze con valori superiori a L2 nel materiale sversato		Da valutare in caso di presenza di sostanze con valori superiori a L2 nel materiale sversato

A – Morfologia e batimetria del sito

La morfologia e batimetria del fondale dovranno essere oggetto del monitoraggio unicamente per la fase post-operam e limitatamente al sito d'immersione. Le specifiche tecniche da osservare saranno quelle già dettagliate nella precedente fase 3 dello studio.

B - Monitoraggio chimico fisico della colonna d'acqua

In premessa va evidenziato che il monitoraggio della colonna d'acqua nella zona di refluimento, a differenza dell'analogo previsto nelle aree di dragaggio durante le attività di escavo, potrà essere realizzato senza l'utilizzo di stazioni fisse per le oggettive ed evidenti difficoltà tecniche di messa in opera e manutenzione delle suddette stazioni, stante la considerevole distanza dalla costa, le condizioni di mare aperto e le significative batimetrie che caratterizzeranno il sito.

Ricordando, come già detto nel paragrafo delle indicazioni generali, che la progettazione del piano di monitoraggio dovrà essere presentata e valutata nella fase autorizzativa dell'intervento di dragaggio, nei successivi paragrafi sono descritte le caratteristiche che deve avere un piano strutturato nella modalità di rilievi di profili verticali su punti georeferenziati. La definizione delle specifiche tecniche per questa soluzione progettuale non esclude la proposta di altre soluzioni equipollenti, come ad esempio l'uso in alternativa o in supporto di tecnologie in grado di effettuare rilievi tomografici che verranno comunque valutate in sede di autorizzazione dell'intervento.

Dimensionamento e ubicazione rete di monitoraggio

La rete di monitoraggio dovrà essere definita nel numero e nell'ubicazione dei punti sulla base delle risultanze dello studio modellistico, in riferimento all'estensione massima dell'area potenzialmente impattata dalle attività e dovrà tener conto dell'eventuale presenza di siti sensibili esterni all'area di refluimento, rilevati durante la fase di caratterizzazione. Al fine di ottimizzare le attività di monitoraggio, sarà possibile fare riferimento ai risultati modellistici per individuare le stazioni interessate dagli effetti delle operazioni in relazione alle condizioni meteomarine previste e osservate durante le operazioni.

I punti dovranno essere riportati e resi disponibili su carta nautica a scala adeguata e georiferiti con le stesse modalità già adottate nella fase di caratterizzazione dell'area vasta e quella di refluimento.

Profili verticali e parametri da determinare

Su tutti i punti di monitoraggio dovranno essere effettuati dei profili verticali mediante uso di sonda multiparametrica per la misurazione di almeno i parametri di torbidità, conducibilità, temperatura, densità.

L'intervallo di misura lungo la verticale dei profili dovrà essere di un metro.

I profili dovranno essere eseguiti fino ad un metro dal fondale per batimetrie inferiori a 150 m, per profondità maggiori sarà sufficiente fermarsi alla profondità di 150 m. I dati così rilevati dovranno essere resi disponibili sia in forma grafica sia tabellare e comunque editabili.

Su almeno il 30% dei punti, da valutare comunque in fase di progettazione, dovranno essere effettuati prelievi di acqua per la determinazione dei Solidi Sospesi. I campionamenti dovranno essere effettuati mediante campionatori tipo "Niskin" a profondità prestabilite.

I campioni dovranno essere un minimo di 6 per profilo, così distribuiti:

-0,5 m dalla superficie

-2 m dalla superficie

- 10 m dalla superficie

immediatamente al di sopra del picnoclino

immediatamente al di sotto del picnoclino

1 m dal fondale

Nel caso vengano rilevate altre variazioni significative nel profilo di densità o di torbidità dovranno essere raccolti campioni aggiuntivi in corrispondenza delle stesse.

Periodicità

La frequenza delle misure durante le varie fasi sarà commisurata all'entità dei volumi di sedimento refluito e ai tempi di realizzo, applicando il principio di gradualità citato in premessa e ripreso dall'Allegato Tecnico del Decreto.

Ante Operam

Se la durata delle operazioni di refluimento è compresa in un periodo inferiore o uguale ad un intervallo meteoclimatico stagionale, sarà sufficiente iniziare le attività di monitoraggio due mesi prima, effettuando un numero di campagne in grado di definire almeno tre scenari differenti di condizioni idrodinamiche e meteoclimatiche.

Nel caso si tratti di un intervento più consistente e di lunga durata la fase di Ante Operam dovrà iniziare almeno sei mesi prima, effettuando un numero di campagne tali da definire le diverse condizioni marine che si possono verificare durante un anno solare.
Come per il monitoraggio durante le attività di escavo e indicato nel paragrafo 3.3.1. dell'Allegato Tecnico del D.M. 173/16, il monitoraggio "ante operam" servirà a "individuare un valore di riferimento relativo alla torbidità e/o concentrazione dei solidi sospesi nella colonna d'acqua, corrispondente al 90° percentile del set di misure sufficientemente ampio da risultare rappresentativo della variabilità dell'area", che sarà poi utilizzato come valore di riferimento durante le attività in corso d'opera per definire delle soglie di allerta. Tali soglie saranno quindi funzionali alla pianificazione dei lavori e alla messa in opera di eventuali misure mitigatorie nel caso venissero superate.

Corso d'Opera

Il numero di misurazioni, sempre applicando il principio di gradualità, dovrà essere modulato in fase di progettazione, in funzione del numero e dell'ubicazione degli scarichi previsti giornalmente o settimanalmente e delle risultanze modellistiche.
La fase di corso d'opera deve prevedere procedure in tempo reale di valutazione dei risultati dei valori di torbidità tali da innescare processi di alert (con verifiche immediate delle condizioni di allerta e delle loro cause) e a seguire, le necessarie azioni di mitigazione, fino allo stop dei lavori.
Pertanto la definizione di tali processi e delle conseguenti azioni di mitigazione dovrà essere esplicitata nel piano di monitoraggio presentato all'autorità competente.
Si propone come principio guida generale la seguente modalità operativa.
Nel caso risultasse, dagli esiti delle campagne di monitoraggio relative a torbidità e solidi sospesi, il superamento per oltre il 50% dei valori soglia definiti in "ante operam" in almeno il 30% dei dati misurati, le operazioni di refluimento dovranno essere interrotte fino al ripristino delle condizioni sopraccitate. A tal fine i dati relativi a torbidità e solidi sospesi devono essere resi disponibili il più rapidamente possibile.

Post Operam

Sarà sufficiente effettuare una campagna dopo dieci giorni dalla fine delle operazioni di refluimento per accertare il ripristino delle condizioni ante operam, nel caso dopo tale periodo non si fossero ancora ripristinate sarà necessario effettuare dopo altri dieci giorni un'ulteriore campagna. Questi dati sono importanti per capire i tempi di abbattimento delle

perturbazioni in funzione dei sedimenti sversati e del periodo stagionale in cui si svolgono tali operazioni, informazioni che potrebbero tornare utili per la progettazione di successivi refluimenti.

C - CHIMICA, FISICA, ECOTOSSICOLOGIA E MICROBIOLOGIA DEI SEDIMENTI DI FONDO

Come anticipato nella fase 3 del presente studio, la caratterizzazione chimico-fisica dei sedimenti marini del sito su cui verrà refluito il sedimento di escavo portuale non sembra poter arricchire di informazioni significative la documentazione utile e necessaria all'autorizzazione dell'intervento.

Tuttavia le indicazioni tecniche dell'allegato tecnico al D.M. 173/2016 prevedono che tali indagini vengano realizzate dal proponente sia in fase di caratterizzazione sia in fase di monitoraggio. Si ravvisa comunque una certa utilità nel poter disporre di dati di qualità chimico-fisica dei sedimenti ante e post operam, nell'ottica di poter dare risposte oggettive in caso emergessero controversie sugli effetti dell'operazione di refluimento.

Tutto ciò premesso, riferendosi all'allegato tecnico al DM 173/16, viene prescritto che i campioni di sedimento superficiale devono essere prelevati mediante benna di tipo Van Veen, con l'ausilio di box corer e/o carotiere a seconda della tipologia di analisi.

Le analisi richieste sono schematizzate nelle tabb. 2.5 e 2.6 dell'allegato tecnico; il piano di monitoraggio dovrà essere concordato con l'Autorità competente in fase autorizzativa.

Le stazioni di prelievo identificate dovranno essere georefernziate in modo tale da poter garantire un corretto controllo tra i dati ante e post refluimento.

Non si ritiene utile l'effettuazione di campagne di monitoraggio annuali dopo quella post operam come indicato dalla norma tecnica.

D – COMUNITA' BENTONICHE

L'approccio da considerare per il monitoraggio delle comunità bentoniche è lo stesso espresso per le caratteristiche del fondale e pertanto si concentrerà unicamente nella fase post-operam e limitatamente al sito d'immersione. Le specifiche tecniche da osservare saranno quelle già dettagliate nella precedente fase 3 dello studio. Il monitoraggio dovrà essere effettuato al termine delle operazioni di refluimento e reiterato con frequenza semestrale fino al raggiungimento della stabilità nella comunità macrozoobentonica.

E - BIOACCUMULO E/O BIOMARKER E/O ALTRE VALUTAZIONI ECOTOSSICOLOGICHE RELATIVE AD ORGANISMI STANZIALI CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIE ITTICHE DI INTERESSE COMMERCIALE

Queste indagini potrebbero produrre dati di difficile interpretazione sia per quanto riguarda l'identificazione di livelli ante operam robusti che per la definizione di scostamenti significativi imputabili alle operazioni di refluimento. Risulta altresì difficilmente prevedibile la messa in campo di misure di intervento adeguate. Qualora si riscontrassero valori di concentrazione di analiti superiori ai livelli L2 in fase di caratterizzazione, si ritiene necessario, nell'ottica di rispondere ai contenuti della norma, di effettuare gli eventuali approfondimenti da concordarsi preventivamente con l'autorità competente.

ALLEGATO ALLA FASE 3

INDICAZIONI PER LA REDAZIONE DI UNO STUDIO MODELLISTICO INTEGRATO IN SEGUITO AD OPERAZIONI DI CONFERIMENTO DI MATERIALE DRAGATO IN MARE

Sommario

INTRODUZIONE 58

MECCANISMI DI RILASCIO DEI SEDIMENTI E LORO IMPATTO 58

INDICAZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'APPROCCIO MODELLISTICO INTEGRATO 61

1. Definizione degli scenari di modellazione 64
2. Simulazione idrodinamica 69
3. Definizione del termine sorgente 70

ANALISI DEI RISULTATI 78

INTRODUZIONE

È ormai prassi consolidata che l'esecuzione di interventi che comportano la movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere sia preceduta da studi specialistici volti a prevedere e verificare i potenziali effetti sull'ambiente riconducibili alla formazione di pennacchi di torbida. In tale ambito, l'impiego di modelli matematici per stimare le perdite e il trasporto dei sedimenti a diverse distanze dalle aree di intervento è considerato un valido strumento a supporto delle diverse fasi di progettazione e gestione dell'intero ciclo della movimentazione dei sedimenti, dall'escavo (o dragaggio) allo sversamento.

Sulla base delle LL.GG. ISPRA "La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino costiere" (Lisi I., Feola A., Bruschi A., Di Risio M., Pedroncini A., Pasquali D., Romano E. (2017), vengono di seguito riportate le linee di indirizzo per la redazione di uno studio modellistico volto alla valutazione dell'area di potenziale impatto dell'attività di sversamento in mare dei sedimenti dragati, al fine di assicurare che tale area non comprenda zone sensibili e di pregio.

Il citato Manuale mette a sistema informazioni provenienti dalla raccolta di studi di settore, al fine di disporre di un quadro il più possibile completo ed organico cui gli operatori e gli enti territorialmente competenti al controllo possano riferirsi per la scelta e l'impostazione degli studi modellistici, prevedendo livelli di accuratezza e di dettaglio crescenti in relazione alla presenza e alla tipologia delle criticità ambientali rilevate. Il Manuale fornisce indicazioni sulle modalità di implementazione di un Approccio Modellistico Integrato (AMI) finalizzato a stimare la quantità dei sedimenti rilasciati durante l'intero ciclo della movimentazione (dall'escavo allo sversamento) e a prevederne la variabilità nello spazio e nel tempo a diverse distanze dal sito di intervento in relazione all'idrodinamica e alla configurazione batimetrica locale.

Nel presente documento sono ripresi i criteri relativi alla fase di immersione in mare, nelle aree a largo.

MECCANISMI DI RILASCIO DEI SEDIMENTI E LORO IMPATTO

Sversamento mediante aperture dello scafo (dumping) (par. 2.3.2 delle LLGG ISPRA)

Lo sversamento del materiale effettuato con apertura dello scafo viene detto dumping. Le modalità di rilascio del materiale possono variare in relazione alla configurazione delle aperture presenti nello scafo. In particolare, lo scafo può essere costituito da portelloni

scorrevoli o del tipo “a valvola”, posizionati lateralmente o al fondo, oppure da sistemi di apertura totale o parziale in senso longitudinale (split barge), con meccanismi di apertura e chiusura generalmente gestiti da un impianto idraulico di cui è dotato il mezzo.

Un’operazione di sversamento di sedimento mediante dumping determina un rilascio di sedimento lungo la colonna d’acqua e in corrispondenza dello strato prossimo al fondo, laddove la massa di sedimento rilasciata impatta il fondale, per la contestuale messa in sospensione del sedimento costituente il fondale originale. L’incremento della concentrazione di sedimento in colonna d’acqua dipende significativamente dalla granulometria del sedimento sversato, dalla composizione del fondale, dalla geometria dell’apertura dello scafo e dalla rapidità dello sversamento.

Il problema della valutazione dell’impatto ambientale del rilascio deliberato di sedimenti consiste nella capacità di valutare la distribuzione spaziale e temporale del materiale sversato in mare. Il comportamento dei sedimenti dipende dal profilo tridimensionale dalla corrente, dalla stratificazione del profilo di densità, e dalla profondità. Le caratteristiche del sedimento influenzano inoltre la velocità di sedimentazione, e posso includere una parte solubile. Questi ed altri fattori contribuiscono alla complessità della modellazione del fenomeno di dumping.

Generazione e sviluppo dei pennacchi di torbida durante lo sversamento

Generalmente, nel caso possa essere ragionevolmente accettata l’ipotesi di rilascio puntuale e istantaneo (es. quando il volume di sedimento è grande), la dinamica del flusso dei sedimenti sversati è considerata differenziabile in tre fasi distinte (schematizzate in Figura 1): la fase convettiva discendente, la fase di collasso dinamico, quando i sedimenti impattano il fondo, e la dispersione passiva.

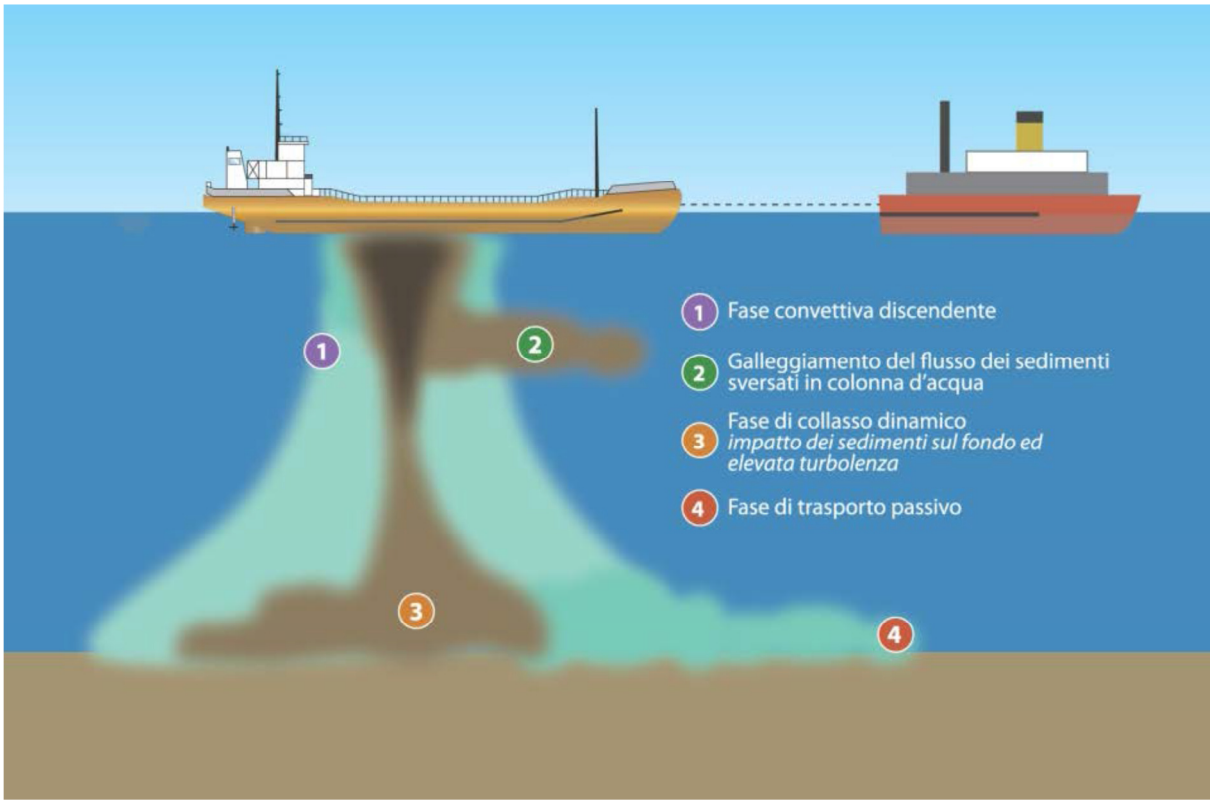


Figura 1. Schema qualitativo delle fasi dello sviluppo del pennacchio nel near field dei sedimenti sversati (LLGG ISPRA, 2017)

La fase iniziale, convettiva discendente, è influenzata principalmente dai parametri operativi e dalla forza di gravità (es. effetti di galleggiamento del flusso). Al crescere della distanza dal punto di rilascio i sedimenti, che inizialmente si muovono verso il fondo come un corpo fluido guidato dalla differenza di densità, tendono a risentire sempre più della circolazione interna e dei processi di sedimentazione in base alla velocità di sedimentazione (fase dispersiva). In seguito all'impatto dei sedimenti sversati sul fondo si ha la fase di collasso dinamico, caratterizzata da alta turbolenza e dall'inizio dei processi di dispersione e diffusione dei sedimenti lungo l'orizzontale. Si ha infine la fase di trasporto passivo, che definisce il passaggio dal campo vicino al campo lontano, dove il trasporto dei sedimenti risente maggiormente delle correnti locali.

La corretta impostazione degli studi ambientali richiede, pertanto, di prevedere e quantificare la variabilità degli incrementi della concentrazione dei sedimenti sospesi e dei tassi di sedimentazione, nel tempo e nello spazio, tramite un opportuno approccio modellistico (CEDA/IADC, 2018).

Un modello per lo studio dello sversamento di sedimenti in ambiente al largo richiede lo studio e rappresentazione dei due fenomeni principali che devono essere modellati: il

pennacchio dei sedimenti sversati in mare aperto nel campo vicino (near filed) e la dispersione passiva.

INDICAZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'APPROCCIO MODELLISTICO INTEGRATO

Studi internazionali raccomandano di dotarsi, in fase di progetto e gestione degli interventi, di modelli matematici in grado di riprodurre i processi di generazione e sviluppo dei pennacchi di torbida (superficiali e di fondo) laddove si riconosca l'insorgenza di possibili criticità ambientali. Tali modelli devono permettere di riprodurre la dinamica dei sedimenti risospesi a partire dall'analisi delle interazioni tra fattori operativi (tipo di draga, velocità e produttività del ciclo di dragaggio/sversamento, volumi complessivi da movimentare, ecc.) e ambientali (composizione e granulometria dei sedimenti da movimentare, caratteristiche idrodinamiche e morfo-batimetriche, ecc.) che condizionano i processi di trasporto (dispersione, diffusione e deposizione) a differenti profondità e distanze dal sito di intervento.

I modelli matematici, calibrati e validati attraverso l'utilizzo di dati di letteratura e di campo, sono un valido strumento di supporto nelle diverse fasi di progettazione e gestione di un intervento di movimentazione dei sedimenti. In particolare, laddove si riconoscano possibili criticità ambientali, possono supportare la scelta comparata delle modalità tecnico-operative in grado di minimizzare gli effetti sull'ambiente conseguenti al trasporto e alla deposizione dei sedimenti fini rilasciati durante l'intero ciclo di movimentazione. Per una stima attendibile dei processi fisici che caratterizzano la dinamica dei sedimenti (rilascio, dispersione, diffusione, deposizione e talvolta risospensione dal fondo) a diverse distanze dal sito di intervento è opportuno che la selezione dei modelli matematici, da implementare nell'ambito di un Approccio Modellistico Integrato, sia effettuata in relazione al contesto ambientale dell'intervento (aree costiere, bacini semichiusi e aree al largo) e operativo (fasi di rimozione e sversamento), ma anche in relazione alle finalità degli studi progettuali e ambientali, nonché alla tipologia di risultato desiderata e/o richiesta (Figura 3.1).

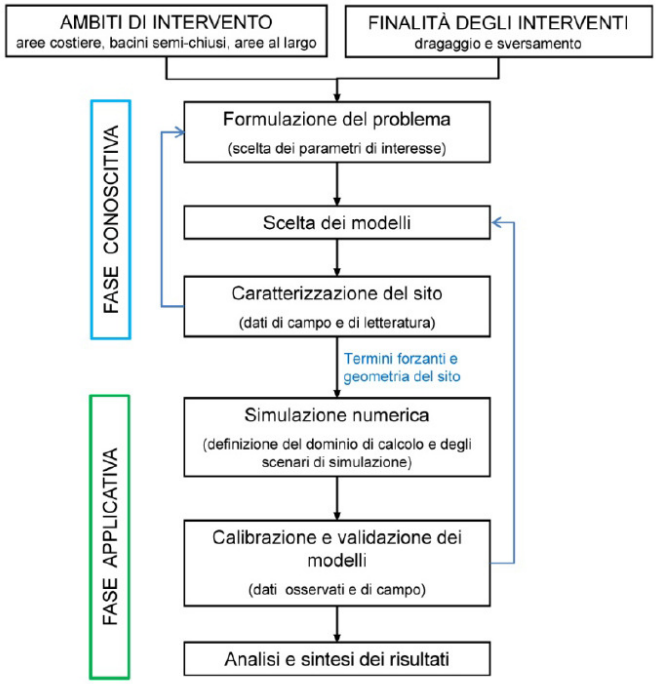


Figura 3.1 - *Diagramma di flusso dell'approccio modellistico.*

Pertanto, l'accuratezza della stima quantitativa dipende, ovviamente, dall'approccio modellistico utilizzato, subordinato a sua volta dal dettaglio richiesto dai risultati attesi. Vi sono modelli che, a fronte di forti semplificazioni, permettono rapide stime di massima dell'estensione dell'area influenzata dalle attività di movimentazione. Per contro, vi sono modelli che permettono valutazioni dettagliate anche in condizioni molto complesse. Dal livello di dettaglio del modello dipende anche il dettaglio che devono avere i dati che descrivono i termini forzanti e la geometria del sito (dati di input).

Nelle fasi iniziali della progettazione, l'analisi modellistica preliminare prevede l'implementazione di scenari multipli mediante l'uso di modelli semplificati (a ridotto onere computazionale ed economico) che permettono di stimare in prima approssimazione l'estensione dell'area interessata da alterazioni significative dei parametri di interesse (es. SSC e DEP).

Qualora la fase modellistica preliminare confermi l'insorgere di criticità ambientali si procederà all'implementazione della fase modellistica di dettaglio volta a fornire un'analisi accurata degli effetti ambientali attesi e ad approfondire ulteriormente, con maggiore accuratezza, specifiche condizioni (ambientali e progettuali) identificate come critiche (o ad alto rischio) nell'ambito della fase modellistica preliminare.

Uno studio modellistico per la valutazione degli effetti delle attività di sversamento a largo dei sedimenti dragati, si articola in 4 diverse fasi, di seguito descritte:

1 - Definizione degli scenari di modellazione

2 - Simulazione idrodinamica

3 - Formulazione per la stima del termine sorgente

4 - Simulazione del trasporto e della deposizione dei sedimenti

Il modulo di idrodinamica include i modelli di propagazione del moto ondoso e di circolazione; il modulo per la stima del termine sorgente include modelli (parametrici ed empirici) differenziati in relazione alle diverse fasi operative; il modulo di trasporto include i modelli per lo studio dei fenomeni di dispersione, diffusione e deposizione dei sedimenti che alimentano il pennacchio di torbida nel campo lontano.

Particolare rilevanza veste infine la fase di analisi e intesi dei risultati per una chiara ed immediata valutazione della significatività degli effetti in relazione al superamento di livelli di riferimento per i parametri di interesse, da stabilire, sulla base di dati bibliografici di campo, in relazione alle specifiche peculiarità ambientali del sito e progettuali dell'intervento.

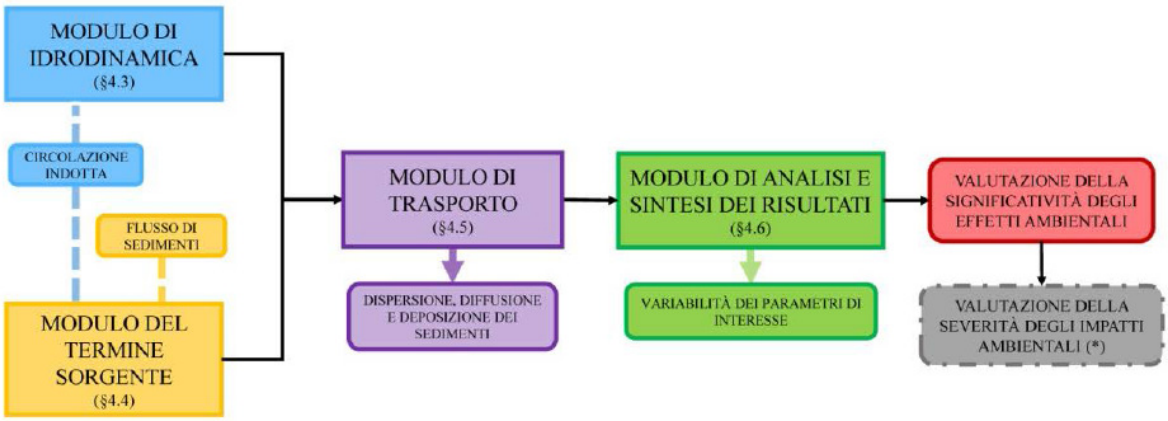
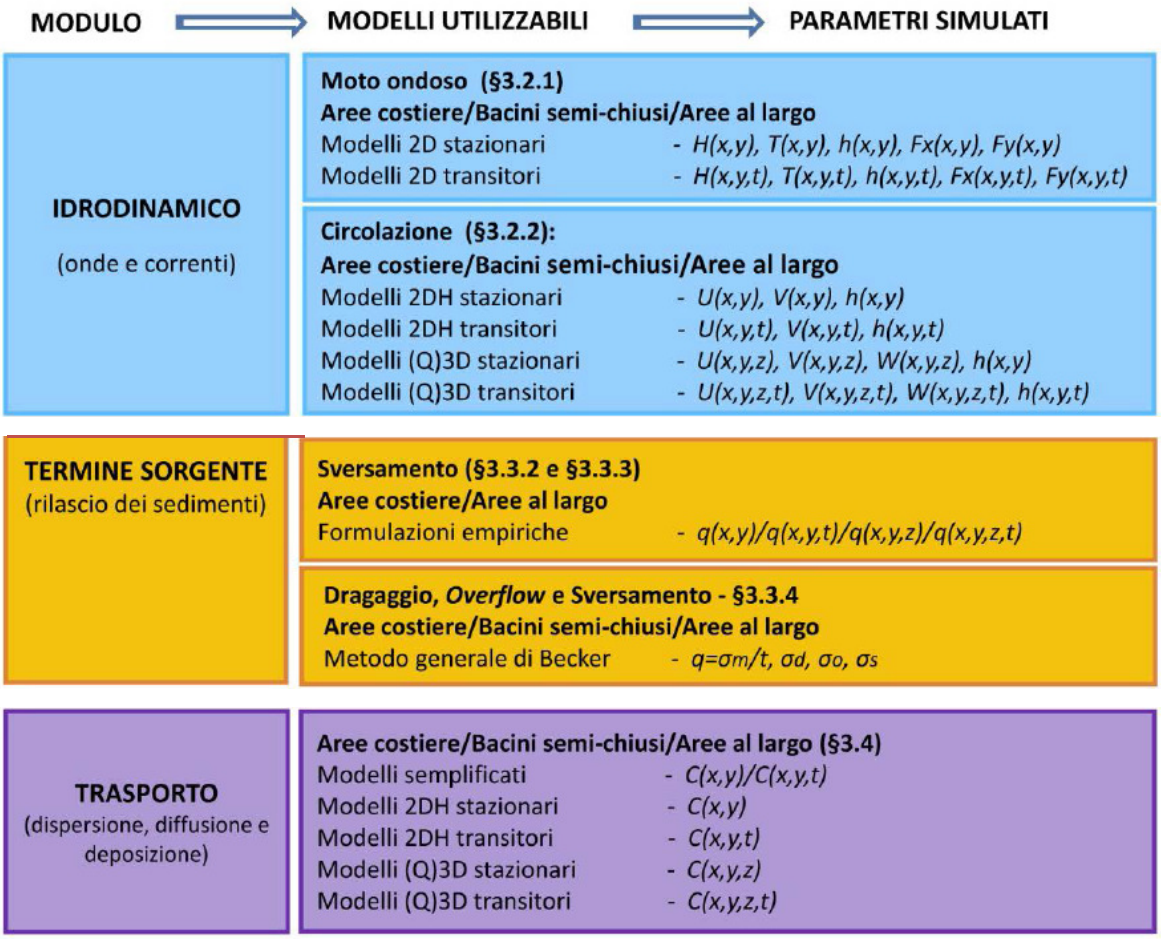


Figura 4.1: *Schema concettuale dell'Approccio Modellistico Integrato (AMI). Il campo contrassegnato da (*) non è oggetto del presente Manuale.*



Legenda
Variabili spaziali (x, y, z) – variabili temporali (t) - Componenti della velocità di corrente (U, V, W) - Altezza d'onda (H) - Periodo d'onda(T) – profondità dell'acqua (h) – Componenti orizzontali del *radiation stress* (F_x, F_y) - Flusso di sedimenti (q) - Concentrazione (C) – Parametri empirici associati alle fasi operative di dragaggio (σ_d), *overflow* (σ_o) e sversamento (σ_s).

Definizione degli scenari di modellazione

La definizione degli scenari di modellazione dipende dalle finalità dello studio. La valutazione degli effetti ambientali delle attività di movimentazione può riguardare conseguenze (Becker et al., 2015):

- nel breve periodo, durante la realizzazione degli interventi;
- nel medio periodo, dovute al susseguirsi di operazioni ripetute nel tempo;
- nel lungo periodo, legate alla configurazione finale di progetto.

Inoltre, lo strumento modellistico può essere utilizzato:

- a supporto dell'ottimizzazione degli interventi, indirizzando la scelta delle modalità tecniche e operative (e di eventuali misure di mitigazione) più idonee per limitare i potenziali effetti ambientali attesi in seguito alla risospensione/rilascio e al trasporto dei sedimenti a diverse distanze dai siti di escavo/sversamento;

- per individuare le potenziali criticità ambientali (di breve e lungo periodo) imputabili allo svolgimento delle operazioni di movimentazione e gli scenari più sfavorevoli (o scenari critici) in relazione ai criteri operativi selezionati e alle caratteristiche ambientali locali (es. idrodinamica e tipologia dei sedimenti da movimentare);
- come strumento di supporto operativo in corso d'opera, per supportare l'interpretazione dei dati acquisiti durante le attività di monitoraggio condotte per verificare la rispondenza ambientale dei criteri operativi (e delle eventuali misure di mitigazione) selezionati;
- come strumento di supporto per gli Enti preposti al controllo, nelle diverse fasi di progettazione e gestione degli interventi, nelle procedure di valutazione e verifica della fattibilità e della compatibilità ambientale degli interventi.

Le metodologie di approccio per la definizione degli scenari di modellazione di possibile adozione nell'AMI sono raggruppate in quattro categorie generali, definite in relazione ai vari obiettivi degli studi:

- Approccio climatologico;
- Approccio realistico a scenari;
- Approccio realistico di lungo periodo;
- Approccio in modalità previsionale-operativa.

Approccio climatologico

L'approccio climatologico, utilizzabile prevalentemente nella fase modellistica preliminare, è un approccio di tipo sintetico. Esso è basato su forzanti di carattere statistico che sintetizzano le condizioni rappresentative di un dataset (composto da dati osservati o ricostruiti) relativo ad uno specifico intervallo temporale. Per tale motivo, è adatto alla definizione di scenari rappresentativi di specifiche condizioni dello stato del mare, ad esempio quelle statisticamente più ricorrenti (scenario più frequente), quelle stagionali (scenari invernale, primaverile, estivo, autunnale) o quelle relative a condizioni estreme (es. mareggiate, intensi apporti fluviali).

Questo approccio, inoltre, è utile per analizzare (sia nella fase preliminare che in quella di dettaglio) specifiche condizioni per cui si prevedono particolari situazioni ambientali sfavorevoli o critiche, anche se queste non sono corrispondenti ad eventi presenti nel dataset dei dati disponibili. Ad esempio, il verificarsi di eventi estremi o di condizioni non estreme, ma comunque sfavorevoli (es. forzanti che inducono correnti in uscita dalle imboccature portuali o dirette verso ricettori sensibili). È evidente che un approccio di

questo genere non consente la riproduzione delle interazioni di tutti i fenomeni che concorrono alla dinamica. Ciò può essere particolarmente limitante per l'analisi degli effetti dovuti all'interazione tra le forzanti, in quanto ognuna di esse è selezionata sulla base di caratteristiche statistiche e non in relazione alla loro effettiva contemporaneità e sequenzialità durante l'evento. Non è possibile rappresentare o ricostruire eventi realistici con specifiche combinazioni di eventi atmosferici e condizioni idrodinamiche. In conseguenza di ciò, tale approccio non permette neanche la possibilità di calibrare/validare il modello con dati di campo. Nell'adottare questo metodo occorre calcolare, sulla base di un'adeguata disponibilità di dati, valori statisticamente rappresentativi per:

- forzanti atmosferiche;
- dati idrodinamici al contorno aperto del domino di calcolo del modello (in continuo);
- condizioni idrodinamiche iniziali sul dominio di calcolo del modello (una tantum, all'inizio di ciascuna finestra temporale simulata).

Il modello idrodinamico così implementato viene poi integrato per periodi di durata variabile, a seconda delle scale temporali tipiche del problema da investigare.

Approccio realistico a scenari

A differenza di quello climatologico, questo approccio si basa su dati osservati o ricostruiti tramite database modellistici. Esso permette quindi di riprodurre attraverso la modellazione matematica le condizioni meteo-marine di specifici periodi o eventi di interesse. Come per l'approccio climatologico, anche questa tipologia di scenari può essere utilizzata approfondire lo studio di specifiche situazioni in cui si prevedono particolari condizioni sfavorevoli o scenari critici. Tuttavia, in questo caso è possibile una riproduzione più realistica dell'interazione tra le diverse forzanti fisiche, basata su dati reali. D'altra parte, non sempre è possibile reperire dati realistici corrispondenti a particolari situazioni di interesse (es. eventi estremi con particolari tempi di ritorno) ed è proprio in tali casi che si ricorre all'approccio climatologico. In questo caso il modello recepisce in input i seguenti dati realistici, provenienti da osservazioni o da modelli, relativi a:

- forzanti atmosferiche;
- condizioni idrodinamiche al contorno aperto del domino di calcolo (in continuo);
- condizioni iniziali idrodinamiche (una tantum all'inizio di ciascuna finestra temporale simulata).

Si evidenzia, infine, che nella scelta delle finestre temporali da simulare sono da privilegiare i periodi per i quali siano disponibili anche osservazioni utilizzabili per calibrare e validare il modello.

Questo approccio, volto ad approfondire solo specifiche condizioni considerate sfavorevoli, ossia che possono indurre situazioni di criticità (scenari critici), è indicato nella fase di modellistica preliminare.

Approccio realistico di lungo periodo

In questo approccio, indicato nell'ambito di studi modellistici di dettaglio, il modello viene integrato per lunghi periodi, così da rappresentare la variabilità intra-annuale e, nel caso di simulazioni pluriennali, inter-annuale. È opinione oramai condivisa a livello internazionale (SKM, 2013) che, almeno in termini generali, la modellistica applicativa preveda un approccio di tipo realistico. La migliore pratica consiglia simulazioni di durata non inferiore a un anno per una corretta comprensione della variabilità naturale del sistema. Ovviamente è necessario verificare che le forzanti corrispondenti al periodo scelto siano sufficientemente rappresentative della variabilità climatica del sito, sia in termini di condizioni medie che estreme.

Approccio in modalità previsionale-operativa

L'utilizzo di dati di input provenienti da modelli a larga scala utilizzati in modalità previsionale consente un approccio operativo della modellistica, utile per ottimizzare l'intervento e per ridurre il rischio di potenziali impatti conseguenti alla movimentazione di sedimenti. Infatti, i risultati ottenuti in modalità previsionale permettono di intervenire tempestivamente sulle modalità operative selezionate al fine di evitare i rischi associati alle condizioni ambientali ritenute avverse (es. adozione tempestiva di accorgimenti tecnico-operativi o interruzione delle operazioni di movimentazione) e di ottimizzare le attività di monitoraggio pianificate per il controllo degli effetti attesi (es. posizionamento e numerosità delle stazioni di monitoraggio).

Tabella 4.1 - *Schema di confronto delle principali caratteristiche degli approcci modellistici descritti*

APPROCCIO MODELLISTICO	FINALITÀ DI UTILIZZO	CONDIZIONI E LIMITI DI APPLICABILITÀ	DATI NECESSARI
Climatologico	Scenari specifici rappresentativi di condizioni da analizzare in maniera più dettagliata, ad esempio: - condizioni statisticamente più ricorrenti; - condizioni stagionali; - condizioni estreme (es. mareggiate, intensi apporti fluviali); - condizioni climatiche non estreme, ma comunque sfavorevoli (ad esempio, forzanti che inducono correnti in uscita dalle imboccature portuali, o dirette verso recettori sensibili).	Non riproduce fedelmente gli effetti dovuti all'interazione tra le forzanti, in quanto ognuna di esse è selezionata sulla base di caratteristiche statistiche e non della loro effettiva contemporaneità. Non permette la possibilità di calibrare/validare il modello con dati di campo. Utilizzabile prevalentemente nella fase modellistica preliminare ed eventualmente nella fase di dettaglio per approfondimenti specifici	Statistiche per: - forzanti atmosferiche; - forzanti idrodinamiche
Realistico a scenari	Scenari rappresentativi di: - condizioni statisticamente più ricorrenti; - condizioni stagionali; - condizioni estreme (es. mareggiate, intensi apporti fluviali); - condizioni climatiche non estreme, ma comunque sfavorevoli (ad esempio, forzanti che inducono correnti in uscita dalle imboccature portuali, o dirette verso ricettori sensibili). Rispetto allo scenario climatologico permette una riproduzione più realistica dell'interazione tra le diverse forzanti fisiche, basata su dati reali. Inoltre, permette il riscontro dei risultati modellistici con i dati di campo.	Non sempre è possibile reperire dati realistici corrispondenti a particolari situazioni di interesse (es. eventi estremi con particolari tempi di ritorno). Indicato nella fase modellistica preliminare per valutazioni speditive d'insieme e nella modellazione di dettaglio per approfondimenti specifici	Dati osservati o ricostruiti tramite database modellistici
Realistico di lungo periodo	Riproduce situazioni realistiche per lunghi periodi, così da rappresentare la variabilità intra-annuale, e, nel caso di simulazioni pluriennali, inter-annuale. Permette di riprodurre la completa variabilità fisica dei processi idrodinamici e di condurre una analisi dei risultati di carattere statistico, ad esempio - il tempo e la frequenza di superamento di determinati livelli di riferimento per le variabili di interesse; - le intensità massime raggiunte dalle variabili su un periodo rappresentativo; - l'evoluzione spazio-temporale delle variabili simulate, fornendo utili informazioni sui periodi più o meno indicati nel corso dell'anno per le attività di dragaggio.	È necessario verificare che le forzanti corrispondenti al periodo scelto siano rappresentative della variabilità climatica del sito, sia in termini di condizioni medie che estreme. Indicato nell'ambito di studi di dettaglio.	Dati osservati o ricostruiti tramite database modellistici
Previsionale-operativo	Previsione in corso d'opera delle condizioni meteo-marine, idrodinamiche e di trasporto per intervenire tempestivamente in caso di condizioni ambientali ritenute particolarmente avverse in relazione alle modalità operative selezionate e stabilire se e quando adottare accorgimenti operativi al fine di evitare i rischi evidenziati nella fase di progettazione.	L'adozione di tale approccio richiede una adeguata pianificazione delle attività modellistiche in corso d'opera per rendere fruibili i risultati in tempi compatibili con lo svolgimento delle operazioni di movimentazione.	Dati previsionali da modelli di larga scala

Simulazione idrodinamica

Per la definizione degli scenari, così come degli strumenti modellistici da adottare, si deve innanzitutto stabilire quali fenomenologie fisiche sia strettamente necessario considerare per una realistica rappresentazione delle condizioni locali e quali possano essere ritenute secondarie. Tali considerazioni derivano, in particolare, da aspetti legati a:

• caratteristiche locali (es. meteo-marine, morfobatimetriche e idrodinamiche) e distanza dalla costa;

• scale spazio-temporali (dipendenti sia dai fenomeni fisici che caratterizzano il sito, che dai parametri operativi e ambientali dell'intervento).

In ogni caso, la selezione dei processi fisici ritenuti significativi nella definizione degli scenari deve essere sempre e comunque supportata da evidenze analitiche che ne giustifichino la scelta.

In generale, il livello di dettaglio fornito dai modelli matematici ne aumenta il grado di aderenza alla realtà, ma deve essere valutato caso per caso, anche in relazione all'identificazione di eventuali criticità ambientali nell'ambito delle fasi conoscitiva e modellistica preliminari, cercando il giusto bilanciamento tra la capacità del modello di essere aderente alla realtà e le risorse necessarie.

La definizione degli scenari da simulare deve tener conto degli ambiti in cui avviene la movimentazione del sedimento (aree costiere, bacini semichiusi e aree al largo), al fine di impostare correttamente le forzanti e le condizioni al contorno (vento, onde, maree, batimetria, parametri idrologici, ecc.) che principalmente influenzano la circolazione ed il trasporto del pennacchio dei sedimenti nel campo lontano.

È necessario considerare che la componente di dispersione e trasporto dei sedimenti legata al moto ondoso assume una rilevanza maggiore proporzionalmente alla vicinanza alla costa; la caratterizzazione della componente idrodinamica non deve mai prescindere dalla valutazione della circolazione generale di larga scala, salvo casi particolari (es. bacini semichiusi, aree di ripascimento), per i quali l'eventuale disconnessione tra circolazione al largo e circolazione di piccola scala deve comunque essere adeguatamente motivata.

Affinché il sistema di equazioni che governa il problema sia risolto numericamente è necessario fornire le condizioni iniziali delle variabili considerate e le condizioni al contorno del dominio di calcolo.

Modellazione idrodinamica in aree al largo

Nelle aree al largo il regime idrodinamico è influenzato principalmente dalla circolazione di grande scala e dalle modalità con cui quest'ultima si modifica localmente, sia per effetto della batimetria sia per l'insorgenza di processi di sub-mesoscala (es. vortici di piccola scala). Le forzanti che maggiormente influenzano la circolazione nelle aree di largo sono:

- vento;
- circolazione termoalina di larga scala dovuta ai gradienti di temperatura e salinità;
- effetto della rotazione terrestre (la forza di Coriolis determina, insieme all'azione della gravità, moti inerziali);
- marea;
- effetti di eventuali apporti fluviali sulla circolazione (se significativi).

Si rende dunque necessario l'utilizzo di una forzante atmosferica adeguata dal punto di vista della risoluzione spazio-temporale, che permetta di risolvere i processi legati ai flussi di quantità di moto e calore, includendo così le dinamiche da vento e, a meno degli apporti di acqua dolce al contorno del domino di calcolo, quelle termoaline.

Per quanto riguarda le componenti di marea astronomica e gli apporti di acqua fluviale esse sono tanto più influenti sulla circolazione quanto più vicino a costa è collocato il dominio di interesse. È comunque sempre maggiormente diffusa la consapevolezza che il contenuto energetico connesso alla marea sia dello stesso ordine di grandezza rispetto a quello legato ai venti, quindi tutt'altro che trascurabile anche in zone a largo (Guarnieri et al., 2013). Essa, inoltre, agisce anche in maniera indiretta sulle dinamiche marine inducendo, attraverso onde interne, una re-distribuzione di calore e salinità e influenzando, quindi, la circolazione generale.

È importante sottolineare che la maggior parte dei processi fisici che caratterizzano le aree di largo agiscono su scale spaziali e temporali abbastanza ampie. Si deve, quindi, fare riferimento ad un modello idrodinamico di larga scala per riprodurre correttamente l'evoluzione di tali processi fisici.

Durante questo processo i prodotti di larga scala esistenti o di relativi servizi di downstreaming, possono essere utilizzati come valido supporto alla scelta ottimale del dominio del modello a più alta risoluzione.

Definizione del termine sorgente

Le operazioni di sversamento sono schematizzate come una sorgente di rilascio di sedimenti.

La definizione del termine sorgente richiede l'adeguata quantificazione del flusso di rilascio di sedimento fine (kg/s) che, partendo dal campo vicino, alimenta il trasporto di sedimenti nel campo lontano. Sull'accuratezza della stima del termine sorgente, però, incidono la complessità degli effetti dinamici nel campo vicino. Il termine sorgente, in particolare, dipende dalle modalità tecniche e operative impiegate, dalle caratteristiche idrodinamiche e ambientali nelle immediate vicinanze del mezzo (campo vicino) e dal volume e dalle caratteristiche del sedimento movimentato (es. densità, distribuzione, granulometrica, percentuale di frazione fine).

Dalla stima del termine sorgente, ossia dell'intensità del flusso (q) della massa di sedimenti fini sospesi nell'unità di tempo (kg/s) che entra nel dominio di calcolo, dipende la quantità di sedimento effettivamente disponibile per la successiva dispersione nel campo lontano.

Essa si basa sull'analisi dei seguenti parametri:

- la concentrazione (Cr, kg/m3) del sedimento risospeso e/o rilasciato in prossimità del mezzo;
- la geometria (forma e dimensione) della sorgente;
- la velocità della corrente (v, m/s) in prossimità della sorgente;
- la velocità di caduta dei sedimenti;
- la percentuale di sedimento fine contenuta nel sedimento complessivo;
- la frazione di sedimento fine che abbandona la sorgente, eventualmente scomponibile nelle diverse fasi in cui l'azione di movimentazione si sviluppa.

Il termine sorgente è difficile da modellare a causa dell'intima correlazione con il campo vicino. anche l'accuratezza della stima del termine sorgente dipende dal livello di dettaglio del modello utilizzato. I modelli di più semplice e comune utilizzo per lo studio della dinamica dei pennacchi di torbida su larghe scale spaziali e temporali sono modelli cosiddetti di campo lontano (far-field models). Tali modelli forniscono la stima del sedimento che rimane disponibile per il trasporto nel campo lontano (dove la dinamica del pennacchio è di tipo passivo), ma non forniscono la stima dei sedimenti rilasciati direttamente dalla draga (dredging zone) e non modellano la fase dinamica del pennacchio di torbida nel campo vicino (nearfield zone). Pertanto è tipica la stima dell'intensità, durata e localizzazione del rilascio dei sedimenti tramite l'utilizzo di metodi empirici (Becker et al., 2015) che utilizzano misure di campo relative a interventi similari.

Nel seguito si propongono delle linee di riferimento metodologico per la definizione del termine sorgente in fase di sversamento al largo. Le linee di riferimento vogliono delineare

una procedura uniforme e replicabile per le diverse modalità tecniche e operative, per rendere confrontabili i risultati ottenuti nelle diverse fasi di progettazione e gestione di un intervento, o nell'ambito di diversi progetti.

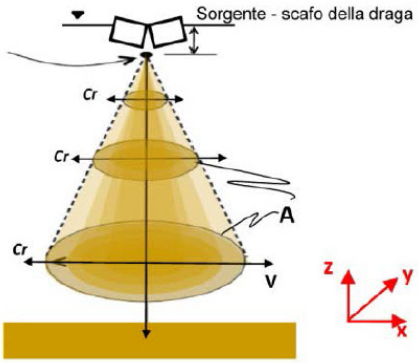


Figura 2. Schema concettuale del fenomeno di rilascio di sedimenti durante l'operazione di dumping

In estrema sintesi, per la definizione del termine sorgente devono essere considerati tre aspetti fondamentali:

- Analisi delle modalità di lavoro per la definizione di tipologia di sorgente
- Quantificazione del volume totale di sedimento fine disponibile
- Frazionamento del sedimento fine disponibile al campo lontano
- Termine sorgente per attività di sversamento al largo (par. 3.3.3 e 3.3.4 delle LLGG ISPRA)

New Barged Sediments Disposal Model (BSDM)

Er et al. (2016) hanno proposto un modello, denominato New Barged Sediments Disposal Model (BSDM), per fornire una rappresentazione nel campo vicino (near field) del pennacchio dei sedimenti sversati con modalità assimilabili al dumping, in funzione delle dimensioni del natante utilizzato per lo sversamento e delle caratteristiche della nuvola di sedimenti che raggiunge il fondo. Il metodo tiene conto del fatto che lo sversamento di grandi quantità di sedimento può indurre sorgenti di rilascio in alcuni casi di tipo "continuo" ed in altri di tipo "puntuale e istantaneo". La tipologia di sorgente, in particolare, dipende dalla relazione tra il volume dei sedimenti, il tempo necessario al completo svuotamento dello scafo ed il tempo che impiegano i sedimenti a raggiungere il fondo (dipendente dalla velocità di caduta). L'ipotesi di sorgente di rilascio di tipo continuo, ad esempio, è considerata realistica quando il tempo necessario allo svuotamento dello scafo e quello necessario ai sedimenti per attraversare la colonna d'acqua sono dello stesso ordine di

grandezza. Inoltre, con tale metodo si vuole superare la limitazione derivante dall'assunzione, non sempre realistica, che nell'ipotesi di rilascio puntuale e istantaneo il sedimento sversato possa essere discretizzato come una sequenza di eventi di rilascio tridimensionali (3D) (Koh & Chang, 1973; Johnson & Fong, 1995; Howlett, 2003; Bailey et al., 2004)16. Infatti, nella realtà, la fase iniziale discendente della nube di sedimento può essere assimilata ad un corpo bidimensionale (2D) e solo successivamente subire i processi 3D che generalmente caratterizzano la dinamica del pennacchio nel campo vicino, in maniera dipendente sia dai volumi sversati sia dalla geometria dello scafo.

Nel BSDM la schematizzazione del pennacchio è basata sulla relazione tra i principali parametri fisici rappresentativi delle lunghezze del pennacchio di torbida (Figura 3):

- ze, la profondità dove si ha il passaggio del pennacchio da continuo a termico, ossia quando il flusso di corrente inizia a penetrare nella massa di sedimento sversato;
- zt, la profondità dove si ha il passaggio da un regime di flusso 2D a 3D;
- zd, la profondità dove il pennacchio diviene dispersivo e il sedimento inizia a depositare al fondo in funzione della velocità di sedimentazione (Rahimipour & Wilkinson, 1992);
- h, la profondità dell'acqua utilizzata per riferire la posizione di ciascun parametro lungo la colonna d'acqua.

In particolare, il modello si basa sull'analisi dimensionale delle grandezze di interesse che si traduce in una serie di formulazioni empiriche calibrate sulla base di osservazioni sperimentali a piccola scala.

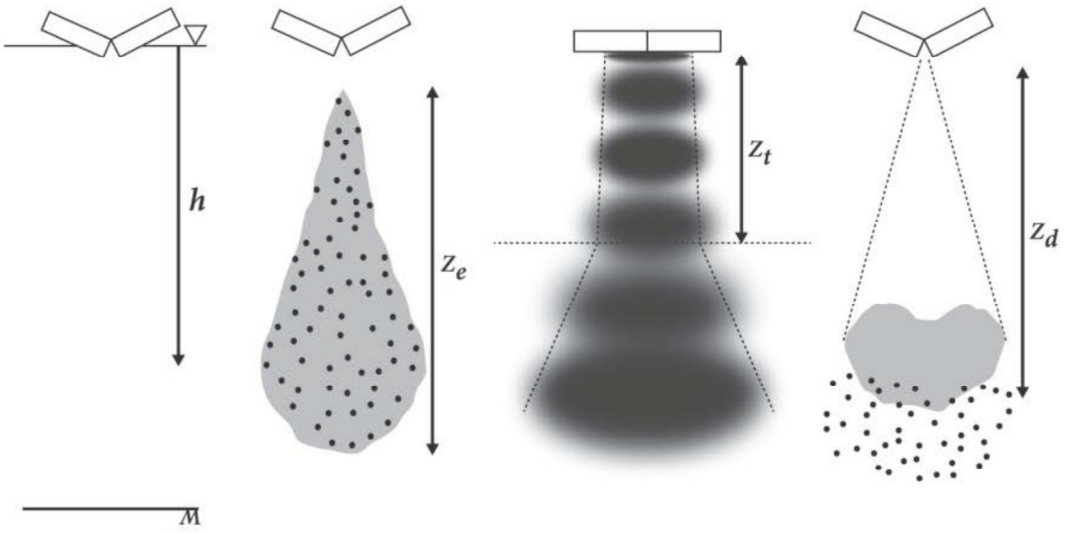


Figura 3. Parametri fisici rappresentativi delle lunghezze della nuvola di torbida (tratto da Er et al. 2016)

Nel dettaglio, il modello proposto da Er et al. (2016) definisce una relazione per la stima quantitativa di zd a partire dall'analisi dimensionale. Le variabili indipendenti utilizzate per l'analisi dimensionale includono: il volume (Vo) di sedimento sversato; il diametro mediano delle particelle (d50), la densità e la velocità di caduta dei sedimenti (ρs e ωs), la densità dell'acqua (ρa), la lunghezza e la larghezza dell'apertura dello scafo (L e W). Il metodo SBDM richiede la conoscenza del tempo necessario affinché il carico nello scafo sia completamente sversato (te).

Da un punto di vista qualitativo, quanto sopra riportato è utile per la scelta del valore dei parametri empirici definiti nell'ambito del metodo proposto da Becker et al. (2015), cfr. par. 3.3.4. Infatti, se la nuvola di sedimenti sversata raggiunge il fondo con un regime termico, allora la frazione di sedimento fine reso disponibile al campo lontano è piuttosto limitata e il parametro empirico σs può essere valutato considerando i valori più piccoli suggeriti in Tabella 3.4

Il metodo generale di Becker et al. (2015)

Recentemente, Becker et al. (2015) hanno proposto un metodo generale, valido per ogni modalità tecnico-operativa, per stimare la sorgente di sedimento (kg/s) disponibile al campo lontano ed inserirlo adeguatamente nel dominio di calcolo. L'obiettivo del metodo, totalmente in accordo con la metodologia descritta in questo Manuale, è quello di pervenire a stime attendibili e il più possibile realistiche, senza avvalersi (almeno inizialmente) di modelli più complessi.

Il metodo nasce dalla combinazione dei diversi approcci noti nella bibliografia di settore (John et al., 2000). In particolare, la metodologia è articolata nei seguenti passaggi:

1. l'analisi delle modalità di lavoro per la definizione della tipologia di sorgente;
2. la stima del volume totale di sedimento fine disponibile per il trasporto nel campo lontano;
3. la distribuzione del sedimento fine disponibile (frazionamento del termine sorgente) in base alle modalità ed alle tempistiche delle operazioni;
4. l'adeguato inserimento del termine sorgente nel dominio di calcolo (nel tempo e nello spazio) nell'ambito della modellazione numerica.

La stima della massa totale di sedimento fine (mt, in kg di peso secco) potenzialmente disponibile al trasporto nel campo lontano può essere espressa, in prima approssimazione, in relazione al volume totale del sedimento da movimentare:

$$m_t = (1-n)\rho_s V_{tot} f_{63\mu m}$$

dove n è la porosità, ρs è la densità del grano, Vtot è il volume totale di sedimento movimentato (dragato o ricollocato) e f63μm è la frazione di sedimento fine (inferiore al diametro caratteristico pari a 63 μm).

Si osserva, però, che soltanto una frazione di Vtot è effettivamente rilasciata nel campo lontano. Pertanto, con un approccio del tutto empirico è possibile esprimere la massa totale di sedimento fine effettivamente (non potenzialmente) disponibile al trasporto nel campo lontano così come segue:

$$m_{eq} = \sigma_{eq} m_t$$

nella quale il coefficiente σeq costituisce un parametro empirico, da specificare in funzione delle scelte progettuali. Si riconosce in questo approccio il concetto di fattore di risospensione, riferito alla massa di sedimento fine disponibile (meq, invece che alla massa totale di sedimento movimentato, mt). Il termine sorgente, caratterizzato da un flusso di sedimenti, può essere definito identificando la durata (Δt) di ciascuna fase del ciclo di lavoro e valutandone un valore medio:

$$q = \frac{m_{eq}}{\Delta t}$$

nella quale q è la funzione sorgente relativa alla generica fase di lavoro di durata (Δt) per la quale vi è una massa di fine disponibile pari a meq.

Della frazione rilasciata in fase di sversamento (ms), una parte raggiunge il fondo nell'ambito di un processo dinamico (msd):

$$m_{sd} = (1 - \sigma_s)\, m_s$$

mentre una parte va ad alimentare il pennacchio passivo nel campo lontano:

$$m_{sp} = \sigma_s\, m_s$$

Si osserva che la corretta definizione dei parametri empirici (σs, σeq) riveste un ruolo cruciale nella corretta applicazione del metodo.

La Tabella 3.4 riporta l'ordine di grandezza dei parametri □s , tratti da Becker et al. (2015).

Tabella 3.4 - *Intervallo di variazione dei parametri empirici associati alle diverse fasi operative (dragaggio: σ_d; overflow: σ_o; sversamento: σ_s). Da Becker et al., (2015).*

FASE OPERATIVA	VALORI CARATTERISTICI
Dragaggio/escavo (σ_d)	0,00 – 0,03
Coefficiente di sedimentazione (f_{sed})	0,00 – 1,00
Coefficiente di intrappolamento (f_{trap})	0,01 – 0,05
Testa dragante con disgregatore (σ_d)	0,01 – 0,05
Draga meccanica a grappo o benna (σ_d, σ_b)	0,00 – 0,04
Overflow (σ_o)	0,00 – 0,20
Sversamento (dragaggio idraulico, σ_s)	0,00 – 0,10
Sversamento (dragaggio meccanico, σ_s)	0,00 – 0,05

Alcune inconsistenze nelle stime possono derivare dal fatto che:

- la definizione della dimensione dei grani per la componente fine non è univocamente definita: gli autori si riferiscono al limite di 63 μm nel rispetto della scala Wentworth, ma molte formulazioni relative alla fase di dragaggio utilizzano il limite di 74 μm definito nell'ambito della classificazione USCS (Unified Soil Classification System);
- l'equazione per m può essere utilizzata per stimare la massa di sedimento appartenente a diverse classi granulometriche sostituendo la frazione f63μm con la frazione relativa alle classi desiderate, ma la definizione del numero di classi granulometriche è tipicamente arbitraria;
- la sorgente di rilascio è espressa in relazione alla percentuale di fine presente nel volume totale del sedimento da movimentare in condizioni indisturbate (Vsitu), ma non considera il possibile incremento della percentuale di fine derivante dall'azione meccanica dei mezzi di lavoro (soprattutto in fase di escavo) e il possibile decremento causato dalla formazione di agglomerati sedimentari che favoriscono la sedimentazione del sedimento sospeso.

Modelli di trasporto dei sedimenti

I modelli per simulare i fenomeni di trasporto (dispersione, diffusione e deposizione) richiedono la conoscenza del campo idrodinamico e le caratteristiche del termine sorgente al fine di disporre dei necessari parametri di input necessari per pervenire a stime attendibili della variabilità spazio-temporale dei sedimenti in sospensione (e della eventuale contaminazione associata).

Analogamente al caso delle simulazioni idrodinamiche, l'approccio numerico per la soluzione delle equazioni che governano i fenomeni di trasporto influenza l'onere in termini di risorse e tempi di calcolo e di dati di input necessari. Pertanto, da un punto di vista squisitamente pratico, è utile avere uno strumento di basso onere computazionale che possa essere utilizzato per una selezione degli scenari più critici e delle tecniche operative più indicate per il contemporaneo raggiungimento degli obiettivi progettuali e degli obiettivi ambientali. È ovvio che al basso onere computazionale di tale strumento consegue un'inevitabile semplificazione delle equazioni costitutive del modello. Quindi, alla prima fase di ottimizzazione segue di solito una seconda fase di dettaglio nell'ambito della quale vengono utilizzati modelli più raffinati per riprodurre scenari selezionati nell'ambito della prima fase.

È auspicabile la riproduzione di molteplici scenari di simulazione che tengano conto della stagionalità delle condizioni ambientali e aventi una durata sufficiente alla valutazione della sedimentazione della gran parte dei sedimenti risospesi a causa delle attività di movimentazione.

Per la corretta definizione degli scenari di modellazione deve essere ipotizzata una durata realistica delle operazioni di sversamento. Per consentire una valutazione dei processi di trasporto e deposizione conseguenti allo sviluppo di un pennacchio di torbida, la durata degli scenari di simulazione deve comprendere sia la durata dello svolgimento delle operazioni di sversamento, sia un intervallo successivo al completamento delle operazioni di movimentazione sufficientemente lungo da garantire il raggiungimento di una condizione stabile.

Gli aspetti da considerare per la modellazione del termine sorgente e, quindi, dei fenomeni di trasporto dei sedimenti rilasciati/risospesi nel campo lontano sono molteplici, così come dettagliato nel seguito.

- La durata del passo temporale di calcolo, che deve essere selezionata con attenzione per evitare l'introduzione di SSC irrealistiche in alcuni istanti temporali e in alcuni punti della griglia di calcolo, che possono influenzare i livelli di concentrazione simulati dal modello.
- la risoluzione spaziale della griglia di calcolo, che deve essere scelta in modo da caratterizzare adeguatamente i processi di dispersione, diffusione e sedimentazione del pennacchio generato. In particolare, se le celle della griglia sono troppo larghe, si può generare un termine artificiale di diffusione numerica, mentre nel caso in cui siano troppo piccole, potrebbero crearsi zone con livelli di concentrazione irrealistici (soprattutto per sorgenti fisse e continue).
- L'eventuale movimento della sorgente all'interno dell'area di lavoro.

Anche la torbidità naturale del sito deve essere opportunamente considerata, soprattutto qualora specifiche indagini preliminari (bibliografiche o di campo) evidenzino l'utilità di comparare la variabilità della torbidità indotta dalle operazioni di movimentazione con quella indotta da altre cause naturali.

Si riepilogano di seguito i dati necessari per l'impostazione del modello di trasporto:

ESEMPIO DI SCHEDA INFORMATIVA	
Caratteristiche sedimento sversato	
Descrizione	Simbolo
Diametro medio delle particelle	d50
Frazione fine in situ	f63
Densità dei grani	ρs
Volume di sedimento sversato	Vo
Velocità di caduta dei sedimenti	ωs
Densità secca	ρd
Densità del sedimento movimentato	ρd
Massa di sedimento fine disponibile durante la fase di sversamento	ms
Massa di sedimento fine disponibile al campo lontano durante la fase di sversamento	msv
Parametri operativi	
Tipologia mezzo	
lunghezza dell'apertura dello scafo	L
Larghezza dell'apertura dello scafo	W
tempo necessario affinché il carico nello scafo sia completamente sversato	te

ANALISI DEI RISULTATI

La letteratura di settore evidenzia l'importanza di tecniche di analisi, sintesi e rappresentazione dei risultati modellistici standardizzate che agevolino l'individuazione e il confronto delle aree esposte ai fenomeni di sviluppo e trasporto dei pennacchi di torbida. Si raccomanda l'elaborazione di mappe di sintesi dei valori massimi e medi della concentrazione dei sedimenti sospesi calcolati in colonna d'acqua, oltre che dei tassi di deposizione (g/m2) al fondo.

In SKM (2013), inoltre, si suggerisce l'utilizzo di mappe di sintesi rappresentative dell'estensione delle aree interessate dal pennacchio di torbida per singoli istanti di uno specifico scenario di modellazione, immediatamente al termine dell'azione di

movimentazione, o per un certo intervallo di tempo successivo, per facilitarne l'analisi e il confronto dei risultati.

In linea generale, per la corretta valutazione degli effetti è importante stimare la durata (o tempo di permanenza) dei superamenti delle concentrazioni di sedimento sospeso oltre un valore (o una serie di valori) predefinito (IMDC, 2012; Savioli et al., 2013). In alcuni casi ci si riferisce anche alla percentuale di finestre temporali durante le quali tali concentrazioni sono superiori ad un valore predefinito per più di 12 ore su un periodo di 24 ore (Fitzpatrick et al., 2009). In questi casi, oltre all'elaborazione di mappe di sintesi, è opportuna la definizione di indici statistici di immediata interpretazione che facilitino la lettura integrata delle informazioni ottenute in termini di intensità, durata e probabilità di superamento dei livelli (o delle soglie) di riferimento individuati come rappresentativi della variabilità sito-specifica dei parametri di interesse in condizioni indisturbate (es. prima dell'inizio delle operazioni di movimentazione o, successivamente, in aree 'disturbate' solo da fattori estranei ai lavori stessi).