

ICRAM

ISTITUTO CENTRALE PER LA RICERCA
SCIENTIFICA E TECNOLOGICA APPLICATA AL MARE

PIANO DI MONITORAGGIO
DELLE ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO E REFLUIMENTO
IN CASSA DI COLMATA
DEI SEDIMENTI DEL PORTO DI GENOVA

Gennaio 2007

PM-Pr-LI-Genova-01.10

Responsabili Scientifici del Progetto

Dott.ssa Antonella Ausili

Dott. Massimo Gabellini

Dott. Ing. Valentina Trama

Referenti tecnici

Dott. Andrea Barbanti

Dott. Geol. Sergio Cappucci

Dott.ssa Iolanda Lisi

Ing. Fabrizio Marconi

Dott. Ing. Elena Mumelter

Staff tecnico

Dott. Francesco Ciaprini

Dott. Geol. Gaël-Paolo De Angeli

Ing. Luciano De Propris

Ing. Serena Geraldini

Ing. Francesca Giaime

D.ssa Roberta Girardi

Ing. Carlo Innocenti

Francesco Loreti

Dott. Ing. Valentina Modesti

Ing. Alessandro Navach

Dott. Fulvio Onorati

D.ssa Maria Elena Piccione

Dott.ssa Elena Romano

Ing. Lorenzo Rossi

Ing. Andrea Salmeri

D.ssa Antonella Tornato

Dott. Giuseppe Trinchera

D.ssa Gabriella Zonnedda

PIANO DI MONITORAGGIO DELLE ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO E REFLUIMENTO IN CASSA DI COLMATA DEI SEDIMENTI DEL PORTO DI GENOVA

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE 4

2 STRATEGIA DEL MONITORAGGIO 6

3 ATTUAZIONE DELLA STRATEGIA DI MONITORAGGIO 10

4 MISURE CORRENTOMETRICHE 17

ALLEGATO 1 SPECIFICHE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE PER IL MONITORAGGIO AUTOMATICO

1 INTRODUZIONE

Il Porto di Genova occupa una superficie complessiva pari a circa 7 milioni di metri quadrati e si estende ininterrottamente per 20 chilometri lungo una fascia costiera, protetta da dighe foranee, che parte dal bacino del Porto Antico, in corrispondenza del centro storico della città, fino al suo estremo di ponente, in corrispondenza della delegazione di Voltri. Il Porto di Genova rappresenta una delle principali realtà portuali del Mar Mediterraneo sia per quanto riguarda i traffici marittimi, a livello europeo e intercontinentale, sia come naturale sbocco a mare della zona più industrializzata del nord Italia, trovandosi in posizione ideale per asservire l'apparato industriale ed i mercati di consumo centro-europei.
In una realtà articolata come quella portuale, l'Autorità Portuale di Genova ha in progetto, nell'ambito del Piano Regolatore del Porto, svariate attività di cantierizzazione; quelle inerenti lo specchio acqueo si esplicano principalmente in opere di banchinamento e di escavo, queste ultime ai fini del mantenimento delle profondità navigabili di darsene o di canali portuali.

In particolare, l'Autorità Portuale di Genova intende avviare:

- attività di escavo relative ai bacini di Sanpierdarena e del Porto Antico, unitamente all'area dell'imboccatura di levante fino al bacino delle Grazie, per un totale di circa 2.700.000 m^3 di sedimento da dragare;
- la realizzazione di una cassa di colmata in corrispondenza della Calata Bettolo, destinata al conferimento di quella porzione di sedimento dragato che presenterà valori di concentrazione compatibili con tale destinazione d'uso;
- il riempimento degli specchi acquei in prossimità della Calata Derna e della Calata Bengasi, ai fini della realizzazione di un banchinamento.

Nell'ambito di tale programma di attività, l'Autorità Portuale di Genova ha incaricato l'ICRAM di progettare le attività di caratterizzazione dei fondali propedeutiche ai lavori di dragaggio e di banchinamento previsti, di controllarne l'esecuzione e di elaborare i risultati di indagini ai fini della corretta gestione dei sedimenti, in funzione della loro qualità, nonché, infine, di definire il piano per il monitoraggio ambientale delle attività di movimentazione dei sedimenti.

Per le aree marine del Porto di Genova interessate dai progetti di escavo e di banchinamento l'ICRAM ha redatto uno specifico Piano di Caratterizzazione, modulando la strategia di campionamento per ciascuna area oggetto di intervento in funzione dell'eterogeneità batimetrica dei fondali, della variabilità qualitativa dei sedimenti, sulla base delle informazioni pregresse, nonché dell'articolazione strutturale interna del porto. Le attività di caratterizzazione in attuazione del piano redatto da ICRAM si sono concluse nell'ottobre 2006. I risultati di tali indagini hanno evidenziato la presenza, sia nei sedimenti da sottoporre ad escavo, sia di quelli delle aree da banchinare, di numerosi contaminanti a livelli decisamente preoccupanti per l'ambiente acquatico. In particolare, è stata riscontrata la presenza di contaminanti quali Idrocarburi C>12 e IPA, che, nei sedimenti da movimentare, sono risultati in concentrazioni finanche superiori alla colonna B dell'Allegato 5 alla Parte IV del D.Lgs. 152/2006. E' stata inoltre riscontrata nell'intera area caratterizzata una diffusa ed elevata contaminazione da composti organostannici, di grande preoccupazione poiché

altamente bioaccumulabili, tossici e persistenti. Sono state inoltre riscontrate concentrazioni elevate di metalli pesanti ed elementi in tracce (Cromo, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, Vanadio e Zinco) sia nei sedimenti da dragare sia, ancor più, nelle aree da banchinare. Infine, in alcune aree del Porto Antico e del Bacino di Evoluzione da sottoporre a dragaggio sono state riscontrate concentrazioni di Idrocarburi C>12 superiori 1000 mg/Kg s.s., limite previsto dalla normativa vigente in materia di classificazione dei rifiuti (Allegato D alla Parte IV del D.Lgs. n. 152/06).
Infine, va sottolineato che l'elevata contaminazione riscontrata è per lo più associata a sedimenti di fondo caratterizzati da granulometria fine. All'interno del bacino portuale, infatti, la granulometria prevalente varia da sabbioso pelitica a pelitico sabbiosa, e solo in limitate aree interne al Porto è stato osservato un aumento della frazione grossolana (maggiore di 2 mm); inoltre, in corrispondenza delle aree da sottoporre a dragaggio caratterizzate da granulometria grossolana (soprattutto nei pressi di calata Bettolo) si rileva una percentuale della frazione fine comunque non trascurabile.

È pertanto logico supporre che il rischio potenziale connesso alla movimentazione della frazione sedimentaria più sottile e alla diffusione e dispersione dei contaminanti ad essa associata, durante le operazioni di movimentazione dei sedimenti, non possa essere trascurato.
In considerazione, quindi, dello stato di contaminazione dei sedimenti del Porto di Genova e del potenziale rischio di diffusione e dispersione dei contaminanti, la progettazione di un adeguato sistema di controllo e monitoraggio delle attività di movimentazione dei sedimenti, risulta di particolare importanza ai fini della tutela ambientale.

Il presente documento (rif. ICRAM doc. # PM-Pr-LI-Genova-01.10) descrive quindi la strategia di monitoraggio e controllo delle attività di dragaggio e refluimento in vasca di colmata al fine di verificare l'assenza di impatto negativi sull'ambiente circostante, la necessità di introdurre azioni di mitigazione e l'efficacia delle eventuali azioni di mitigazione introdotte. Il documento è così strutturato:

- nel capitolo 2 sono indicati gli obiettivi del presente piano di monitoraggio e vengono descritte le modalità previste per la realizzazione dei suddetti obiettivi;
- segue poi (cap. 3) una breve descrizione delle attività di monitoraggio previste sui diversi comparti ambientali potenzialmente impattati dalle attività di dragaggio e refluimento in vasca, e della relativa tempistica ad oggi ipotizzata;
- infine, qualche indicazione in merito all'eventuale utilizzo di correntometri, a complemento di quanto riportato nel cap. 3, sulla base di quanto accennato da parte della Regione Liguria e dell'Autorità Portuale di Genova nel corso della riunione tecnica tenutasi presso la sede dell'Autorità Portuale in data 16/11/06 (Capitolo 4).

2 STRATEGIA DEL MONITORAGGIO

La strategia di monitoraggio proposta nel seguito scaturisce dalla consapevolezza dei potenziali impatti negativi connessi con le attività di movimentazione di sedimenti contaminati, e quindi dalla volontà di salvaguardare l'ambiente e di prevenire la contaminazione della colonna d'acqua e qualunque impatto negativo sul comparto biotico, nonché dalla necessità di controllare che, nel caso vengano riscontrati disturbi all'ambiente, siano utilizzati tutti gli accorgimenti necessari a minimizzarli, conformemente alle migliori modalità operative internazionali.

La presente strategia di monitoraggio potrà essere adattata successivamente in funzione delle campagne d'indagine previste quale "bianco" del sistema, preliminarmente all'inizio delle attività di dragaggio e refluimento in vasca, nonché in corso d'opera, sulla base dei risultati parziali del monitoraggio stesso.

Obiettivo primario del monitoraggio è quello di consentire il controllo di tutti i processi rilevanti in atto, fino alla loro completa comprensione, includendo le possibili fluttuazioni naturali (caratteristiche idrodinamiche e meteoclimatiche, trasporto solido, etc.) o collegate ad eventi estranei alle attività di dragaggio e refluimento (traffico navale, apporti fluviali, scarichi, etc.), le diverse fasi lavorative dei lavori di dragaggio e refluimento in vasca, nonché gli eventuali imprevisti ed anomalie.
La scala di osservazione e monitoraggio dovrà necessariamente essere duplice, e prevedere pertanto l'acquisizione sia di informazioni a breve termine, che consentano l'applicazione di interventi tempestivi di tutela ambientale, sia a medio-lungo termine, per la valutazione dei possibili effetti indotti nel tempo sugli organismi marini dal susseguirsi delle diversi fasi di lavoro previste.

Le attività di movimentazione di sedimenti, ed in particolar modo di sedimenti contaminati, possono avere numerosi effetti, sia sul comparto abiotico, che su quello biotico.
In relazione al comparto abiotico, possono verificarsi i seguenti processi chimico fisici:

- l'aumento della torbidità associata alla risospensione dei sedimenti;
- la mobilizzazione dei contaminanti associati alle particelle in sospensione;
- l'eventuale diminuzione temporanea della concentrazione di ossigeno disciolto nella colonna d'acqua, la variazione della concentrazione dei nutrienti nella colonna d'acqua, la solubilizzazione di contaminanti in seguito al cambiamento delle condizioni chimico-fisiche del sedimento.

Potenziali effetti delle attività di dragaggio sul comparto biotico sono i seguenti:

- gli impatti diretti di tipo propriamente fisico sugli organismi e su eventuali biocenosi sensibili, causati dall'aumento della torbidità e della concentrazione di particelle di solidi in sospensione (diminuzione della penetrazione della luce e conseguentemente dell'attività fotosintetica; intrappolamento e trascinamento sul fondo; aumento dell'attività di filtrazione; ricopertura; danni all'apparato respiratorio; abrasione dei tessuti; disturbo alle aree di nursery, etc.);

- gli effetti dei contaminanti rimessi in circolo dalle attività di dragaggio, presenti in fase disciolta nella colonna d'acqua o associati alle particelle di solidi in sospensione, su differenti organismi marini;
- il possibile bioaccumulo dei contaminanti nei tessuti degli organismi, con conseguente trasferimento nella catena trofica, biomagnificazione ed eventuale ingresso nella catena alimentare;
- la possibile contaminazione microbiologica degli organismi marini;
- eventuali morie localizzate dovute a situazioni di anossia;
- le possibili alterazioni qualitative delle biocenosi sensibili presenti esternamente all'area portuale di Genova.

Parimenti, anche se in forma minore, anche le attività di refluimento in vasca di colmata possono avere impatti sui comparti abiotico e biotico così come sopra specificato, principalmente connessi con eventuali perdite di materiale nel corso della operazioni di riempimento e con il flusso di fango in uscita dalla vasca di colmata.

Nel caso del Porto di Genova, le aree portuali da sottoporre ad attività di escavo e banchinamento risultano aree fortemente antropizzate e pertanto non sono presenti biocenosi sensibili che rivestono un elevato interesse naturalistico (come riportato nello Studio di Impatto Ambientale dell' Autorità Portuale di Genova: quadri di riferimento programmatico, progettuale ed ambientale; volume 0).
Le uniche biocenosi sensibili individuate nell'area di interesse sono costituite da Posidonia Oceanica e matte morte (ENEA, Atlante delle fanerogame marine della Liguria, 1995), e si trovano 2 km ad Est del Porto di Genova. In considerazione della direzione prevalente delle correnti litoranee in tale area (SE-NW), appare scarsamente probabile che tali biocenosi possano subire potenziali impatti negativi dovuti alle attività di escavo e banchinamento previste all'interno del porto.
In relazione al comparto biotico potenzialmente sensibile agli effetti delle attività di movimentazione dei sedimenti contaminati delle aree da dragare, le maggiori preoccupazioni vanno pertanto agli organismi becto-nectonici che si trovino a transitare all'interno dell'area portuale, o che vengano richiamati dall'eventuale nube di torbida generata in prossimità delle aree di dragaggio; secondariamente, l'attenzione va alla verifica, nel breve così come nel lungo periodo, dell'assenza di fuoriuscita di contaminanti (associati alla frazione solida sospesa o disciolti) dalla zona propriamente portuale, potenziale pericolo per gli organismi marini delle aree limitrofe, solitamente poco o minormente impattate delle abituali attività portuali.
Inoltre, particolare attenzione va rivolta all'area del Porto Antico che, essendo caratterizzata da uno scarso ricambio idrico e dalla presenza di numerosi scarichi civili, potrebbe essere oggetto di un aumento dei ben noti fenomeni di eutrofizzazione, anossia e distrofia proprio a causa delle attività di movimentazione dei sedimenti.
In tale scenario, il sistema di monitoraggio prescelto prevede due diverse scale di controllo, ed in particolare:

- il monitoraggio dell'EVENTO (di scavo o di refluimento): da effettuare durante le operazioni di dragaggio e di refluimento in stazioni mobili opportunamente distribuite, allo scopo di individuare, comprendere e delimitare in maniera dettagliata tutti i fenomeni potenzialmente indotti dalla movimentazione dei sedimenti;

- il monitoraggio dell'intero SISTEMA: da effettuare con cadenza regolare nelle aree interne ed esterne al porto, mediante utilizzo di stazioni fisse e mobili opportunamente distribuite, allo scopo di monitorare la variabilità nel tempo dei parametri e delle matrici ambientali di interesse.

Le stazioni di monitoraggio costituiranno pertanto un sistema integrato di stazioni fisse e stazioni mobili, distribuite e monitorate su duplice scala (spazio-temporale), in modo tale da:

- determinare l'estensione dei potenziali effetti delle attività di dragaggio, potendo seguirne l'avanzamento spaziale e temporale, ed eventualmente individuando ulteriori comparti o matrici ambientali ad esse sensibili;
- intervenire tempestivamente sulle metodologie di lavoro, introducendo opportune misure di mitigazione, qualora si riscontrino effetti ambientali inaccettabili;
- controllare l'assenza di fuoriuscita di contaminanti (associati alla frazione solida sospesa o disciolti) dalle aperture del porto, sia nel breve che nel lungo periodo, a seguito delle attività di dragaggio e refluimento;
- controllare regolarmente gli obiettivi individuati come maggiormente sensibili agli effetti delle attività di dragaggio e refluimento, sia all'interno che all'esterno dell'area portuale;
- controllare possibili effetti nel lungo termine sulla qualità ambientale di un'area più vasta di quella direttamente interessata dalle attività di dragaggio e refluimento del materiale movimentato, a causa del susseguirsi delle diversi fasi di lavoro previste.

Ad ogni modo, le modalità dettagliate di attuazione della presente strategia di monitoraggio dovranno essere scelte sulla base della conoscenza approfondita di tutte le condizioni al contorno potenzialmente utili alla comprensione dei processi in atto, quali:

- dati di moto ondoso, vento e correntometrici per la caratterizzazione idrodinamica dell'area, previa analisi stagionale delle condizioni meteomarine;
- dati utili per la comprensione dei regimi stagionali delle portate (liquide e solide) alle foci dei corsi d'acqua afferenti nel Porto, che condizionano fortemente la qualità delle acque portuale. Tali corsi d'acqua, infatti, sono a regime tipicamente torrentizio, quindi soggetti all'alternanza di magre estreme e violente piene accompagnate spesso da dissesto idrogeologico. Inoltre, essi sono considerati ad elevato rischio ambientale per la presenza di numerosi insediamenti artigianali e industriali lungo le aste torrentizie.
- presenza ed ubicazione di scarichi civili, industriali e termici all'interno dell'area portuale e nelle aree limitrofe al porto;
- dati relativi al traffico navale (ubicazione e specifiche degli accosti, pescaggi medi delle navi e relativi accosti di pertinenza, velocità medie di ingresso e uscita, percorsi indicativi di ingresso ed uscita, numero medio di ingressi giornalieri, settimanali o mensili, etc.);
- caratteristiche chimico fisiche, microbiologiche ed ecotossicologiche della colonna d'acqua in condizioni di relativo fondo naturale;
- variazione delle caratteristiche chimico fisiche, microbiologiche ed ecotossicologiche della colonna d'acqua in funzione di variazioni nei sopra menzionati processi, non connessi con le attività di dragaggio e refluimento in vasca dei sedimenti

contaminati portuali (caratteristiche idrodinamiche, condizioni meteomarine, apporti fluviali, apporti dovuti agli scarichi, traffico navale, etc.).

La conoscenza di tali informazioni, sia come dati pregressi che come condizioni al contorno da considerare durante le specifiche attività di dragaggio e refluimento è infatti indispensabile non solo per la corretta predisposizione delle attività di monitoraggio, ma anche per la corretta interpretazione della variabilità spazio-temporale dei parametri acquisiti durante le indagini di campo.
Inoltre, avere un quadro ambientale completo del contesto in cui si va ad operare è indispensabile per eseguire un monitoraggio "mirato", e discriminare se, ed in quale entità, una eventuale variazione delle caratteristiche della colonna d'acqua può essere imputata alle attività di movimentazione dei sedimenti contaminati o ad altri fattori (apporti fluviali, etc.).
In tal senso, nel confrontare gli effetti eventualmente riscontrati nel corso delle attività di movimentazione dei sedimenti portuali contaminati con quelli dovuti ad altri fattori (ad esempio, a causa della risospensione indotta dal traffico portuale), sarà di fondamentale importanza, ai fini del giudizio sulla rilevanza degli effetti monitorati, il maggior numero di occorrenze, dello stesso.
Le attività conoscitive cosiddette di "bianco (temporale)", vale a dire conoscitive del sistema in assenza delle operazioni di dragaggio e refluimento, risultano pertanto di fondamentale importanza.

Dovranno pertanto essere eseguite attività conoscitive di monitoraggio con sufficiente anticipo rispetto all'inizio delle operazioni di dragaggio, e di durata sufficiente a consentire una conoscenza adeguata delle caratteristiche ambientali locali. Nel corso di tali campagne di "bianco" dovranno essere acquisiti gli elementi per decidere l'effettiva ubicazione delle stazioni fisse e mobili di monitoraggio, e le relative modalità di monitoraggio, nonché l'identificazione, per tutte le matrici indagate, e soprattutto per il monitoraggio a scala dell'intero sistema, di stazioni di controllo, o di "bianco (spaziale)", vale a dire sufficientemente distanti dall'area di movimentazione dei sedimenti da non essere successivamente influenzate da tali attività.

Sulla base dei risultati delle campagne conoscitive di "bianco (temporale)" saranno stabilite anche le tempistiche dettagliate delle singole attività di monitoraggio. Tali tempistiche dovranno consentire il controllo di tutti i processi rilevanti in atto fino alla loro completa comprensione, includendo le possibili fluttuazioni naturali e tutte le diverse fasi lavorative, nonché gli eventuali imprevisti e le anomalie.
A livello della scala dell'evento, in particolare, il monitoraggio dovrà verificarsi con la frequenza più opportuna per determinare le condizioni nelle diverse fasi del ciclo lavorativo dei diversi mezzi operanti (all'inizio delle attività, durante la fase lavorativa massima, alla fine del ciclo di lavoro, nelle fasi di spostamento, nelle fasi di trasporto ed in quelle di sversamento), nonché in occasione di ogni evento singolare di origine naturale o antropica (passaggio di imbarcazioni ad elevato pescaggio, rottura o malfunzionamento dei mezzi di dragaggio, condizioni meteorologiche particolari, etc.).
In generale, la frequenza del monitoraggio su scala dell'evento dovrà essere sufficientemente elevata fino al raggiungimento di una situazione di regime, in cui siano noti i processi in atto. Tale frequenza potrà essere progressivamente diminuita fino ad un valore opportuno, per essere nuovamente intensificata in corrispondenza di

ogni variazione nei processi sopraesposti. La frequenza del monitoraggio su scala dell'intero sistema sarà indicativamente meno elevata rispetto alla scala dell'evento.
Infine, le attività di monitoraggio dovranno essere prolungate, con modalità spaziali e temporali da decidere in funzione dei risultati del monitoraggio svoltosi in corso d'opera, dopo la fine delle attività di dragaggio e refluimento in vasca, per un periodo di tempo sufficiente al ripristino delle condizioni chimico-fisiche iniziali (o, alternativamente, al raggiungimento di una situazione stabile).

3 ATTUAZIONE DELLA STRATEGIA DI MONITORAGGIO

L'applicazione dei concetti esposti nel cap. 2, da eseguirsi a valle del completamento delle campagne di bianco, è da ritenersi ad oggi puramente indicativa. Tuttavia, sulla base delle informazioni ad oggi disponibili, si propone il seguente schema indicativo della strategia di monitoraggio, che potrà subire modifiche in corso d'opera:

- alla scala dell'EVENTO (di scavo o di refluimento) è previsto, in stazioni mobili opportunamente distribuite all'interno dell'area portuale, il monitoraggio dei cambiamenti nelle caratteristiche chimiche, fisiche e microbiologiche ed ecotossicologiche della colonna d'acqua, mediante:
  - l'utilizzo di sonda multiparametrica, per l'acquisizione in tempo reale di profondità, torbidità, temperatura, potenziale redox, pH, salinità, ossigeno disciolto;
  - il prelievo di campioni d'acqua, a più profondità o un unico campione rappresentativo dell'intera colonna d'acqua (in funzione delle informazioni acquisite nel corso delle campagne di "bianco (temporale)" o eventualmente del monitoraggio in corso d'opera), per la determinazione di: TSS, TOC, metalli ed elementi in tracce, Idrocarburi C>12, IPA, TBT, Fosforo Totale, Nitriti, Nitrati, Ortofosfati, Ammoniaca e parametri microbiologici di interesse, nonché per l'esecuzione di saggi biologici su organismi sensibili alla matrice acqua (sul tal quale); metalli ed elementi in tracce (sul particellato sospeso);
- alla scala dell'intero SISTEMA è previsto, in stazioni fisse e mobili opportunamente distribuite
  - il monitoraggio dei cambiamenti nelle caratteristiche chimiche, fisiche e ed ecotossicologiche della colonna d'acqua, secondo le modalità indicate per il monitoraggio alla scala dell'evento, sia all'interno dell'area portuale che alle imboccature, ove in particolare si prevedono n. 2 stazioni fisse con sonde multiparametriche in modalità di registrazione autonoma;
  - il monitoraggio delle variazioni dell'interfaccia acqua-sedimento mediante il periodico prelievo, sia all'interno che all'esterno dell'area portuale, di sedimento superficiale (0-2 cm) per l'esecuzione di analisi chimico-fisiche (distribuzione granulometrica, metalli ed elementi in tracce, IPA, TBT), microbiologiche ed ecotossicologiche e per il riconoscimento delle biocenosi presenti (quest'ultima indagine – conteggio e biomassa benthos – eventualmente solo per le stazioni al di fuori dell'area portuale o in corrispondenza delle bocche di porto);
  - il monitoraggio della potenziale diffusione dei contaminanti e della loro biodisponibilità, mediante:

- collocazione in campo (mediante strutture specifiche o gabbie) di organismi filtratori (quali i molluschi bivalvi) sui cui tessuti dovranno essere periodicamente ricercati i seguenti parametri: metalli ed elementi in tracce, IPA, TBT e i parametri microbiologici di interesse;
- prelievo periodico mediante pescate di esemplari di organismi bento-nectonici (spigole, cefali, triglie, etc., da selezionare sulla base di pescate sperimentali tra specie a territorialità limitata), sui cui organi e tessuti (fegato e muscolo) dovranno essere determinati: metalli ed elementi in tracce, IPA, TBT e i parametri microbiologici di interesse.

La strategia di monitoraggio così definita prevede pertanto:

- la costruzione e l'aggiornamento di una relazione affidabile (curva di correlazione), sia grazie alle campagne di bianco che nel corso delle campagne d'indagine previste durante le attività di movimentazione dei sedimenti, tra la torbidità misurata in tempo reale dalla sonda multiparametrica e la relativa concentrazione di solidi in sospensione, nonché tra questa e la concentrazione di contaminanti ad essa associata (ciò in aggiunta alle regolari procedure di calibrazione).
- il rilevamento in tempo reale (mediante l'utilizzo pressoché continuo, almeno nelle prime fasi di dragaggio ed in ogni evento critico, della sonda multiparametrica) della variazione delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua (ed in particolare della torbidità) attorno alle aree in cui procedono i lavori di bonifica e dragaggio e, nel caso in cui sia riscontrata una qualche anomalia delle stesse, fino all'individuazione della estensione areale di tale anomalia;
- la registrazione in continuo (mediante sonde multipametriche in modalità "stand-alone") e pertanto rilevamento in tempo reale della variazione delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua (ed in particolare della torbidità) in corrispondenza dei n. 2 stazioni fisse ubicate in posizioni maggiormente significative rispetto al controllo dei processi in atto, e indicativamente in corrispondenza delle bocche di ingresso al porto;
- la regolare verifica, pur se "a posteriori" rispetto all'istante della misura, a causa dei tempi di laboratorio necessari per l'esecuzione delle analisi, delle effettive concentrazioni di solidi in sospensione associati ai valori di torbidità misurati, nonché delle relative concentrazioni dei contaminanti e dei rimanenti parametri chimico-fisici e microbiologici;
- il controllo regolare, "a posteriori", dell'eventuale ecotossicità (saggi biologici) del campione d'acqua prelevato ed analizzato come sopra descritto e della specifica torbidità misurata;
- il controllo regolare, "a posteriori", di eventuali effetti sul comparto biotico della specifica torbidità misurata, sia in termini di concentrazioni di inquinanti accumulatesi nei tessuti dei mitili e della fauna bentonectonica (bioaccumulo), sia in termini di monitoraggio dell'assenza di contaminazione microbiologica;
- il controllo regolare, "a posteriori", della fuoriuscita dall'area portuale e della ri-sedimentazione dei sedimenti e dei contaminanti ad essi associati mobilizzati nel corso delle attività di dragaggio e di refluimento.

Infine, lo spostamento della nube di torbidità, quando visibile, potrà essere seguita e documentata opportunamente con fotografie (aeree e non) e, quando possibile, con immagini satellitari dell'area del Porto di Genova relative a periodi significativi delle

attività di dragaggio (ad esempio: prima, durante e dopo).

Riassumendo, le attività di monitoraggio previste coinvolgono le matrici e prevedono le modalità riportate in tabella 1. La relativa frequenza viene riportata come suddivisa tra le fasi "ante operam", "durante le attività di bonifica/dragaggio" e "post operam".
In merito alla frequenza indicate per le campagne di monitoraggio, è di notevole importanza che il monitoraggio delle diverse matrici sia realizzato idealmente nello stesso "momento" (significativo rispetto ai cambiamenti della qualità dell'acqua).
Si precisa che il numero di stazioni previsto per le diverse matrici e tipologia di analisi risulta ad oggi puramente indicativo, e sarà fissato unicamente a valle delle campagne d'indagine di "bianco (temporale)".

Per completezza di informazioni si riporta in figura 1 lo schema attuativo per l'esecuzione delle campagne di bianco, con l'ubicazione indicativa delle stazioni di monitoraggio previste per le diverse matrici ed indagini.
Si ricorda che tali campagne di bianco dovranno essere ripetute in differenti condizioni al contorno (diverso regime idrodinamico e delle portate, scarichi civili, traffico navale, etc.). Pertanto potrebbe risultare necessario prevedere ulteriori stazioni di monitoraggio finalizzate al controllo di tutti i potenziali eventi di disturbo del sistema.
L'imbarcazione da utilizzare per l'esecuzione delle attività, inoltre, dovrà essere dotata di idonea strumentazione per la misurazione in continuo (sonda multiparametrica ed eventuale ADCP). Tali strumenti dovranno essere utilizzati in modo estensivo nell'intera area portuale al fine di arrivare ad una completa conoscenza dei processi in corso. In particolare, dovranno essere eseguiti transetti orizzontali, mediante l'utilizzo di tale strumentazione in acquisizione continua, a diverse profondità nell'intera area portuale e fino oltre le bocche di porto. Per semplicità di informazione e in considerazione dell'elevata densità di acquisizione, l'ubicazione di tali transetti non è stata riportata in figura 1.

Si riportano, infine, in allegato 1 le specifiche tecniche della strumentazione per il monitoraggio automatico.

Tabella 1: Descrizione delle attività di monitoraggio

Attività di monitoraggio	*Parametri indagati*	*# stazioni/ transetti durante le attività di dragaggio*	*Frequenza ante operam*	*Frequenza durante le attività di dragaggio*	*Frequenza post operam*
ALLA SCALA DELL'EVENTO					
Prelievo di campioni d'acqua ed esecuzione di analisi chimico-fisiche, microbiologiche ed ecotossicologiche	TSS, TOC, metalli ed elementi in tracce, Idrocarburi C>12, IPA, TBT, Fosforo Totale, Nitriti, Nitrati, Ortofosfati, Ammoniaca, parametri microbiologici, saggi biologici su organismi sensibili alla matrice acqua	n. 7 stazioni attorno all'area di lavoro, sia a monte che a valle di essa rispetto al flusso delle correnti predominanti nel porto, disposte in modo da coprire l'intera area interessata dalla torbida, dalla sorgente alla sua estensione massima).	2-4 campagne d'indagine, da eseguire con differenti condizioni al contorno (caratteristiche meteomarine, traffico navale, apporto fluviale, etc.)	Una volta a settimana, nel corso del primo mese di dragaggio, ogni 15 giorni (due volte al mese) nei mesi successivi.	Ogni 15 giorni (due volte al mese) nel primo mese dopo il completamento delle attività di dragaggio; successivamente, fino a 6 mesi dopo il completamento delle attività, una volta al mese.
Acquisizione con sonda multiparametrica: esecuzione di rilievi verticali ed "orizzontali" nel corso di campagne periodiche, ed eventualmente in modo pressoché continuo, nel corso delle prime fasi del dragaggio e di eventuali criticità	pH, ossigeno disciolto, temperatura, torbidità, conducibilità, salinità e potenziale redox	n. 7 profili verticali (in corrispondenza delle stazioni sopra descritte) e n. 4 transetti "orizzontali" (secondo percorsi in grado di segnalare la presenza della torbida dalla sorgente alla sua estensione massima).	2-4 campagne d'indagine, da eseguire con differenti condizioni al contorno (caratteristiche meteomarine, traffico navale, apporto fluviale, etc.) e su un numero di stazioni sensibilmente maggiore rispetto a quelle indicate.	Durante il dragaggio l'utilizzo della sonda potrà essere pressoché continuo, allo scopo di rilevare con tempestività situazioni di emergenza o anomalie. Ciò fino alla completa comprensione dei processi in atto; dopodiché, indicativamente una volta a settimana.	In funzione dei risultati del monitoraggio in corso d'opera, indicativamente una volta a settimana, fino al primo mese dopo il completamento delle attività.
ALLA SCALA DELL'INTERO SISTEMA					
Prelievo di campioni d'acqua ed esecuzione di analisi chimico-fisiche, microbiologiche ed	TSS, TOC, metalli ed elementi in tracce, Idrocarburi C>12, IPA, TBT, Fosforo Totale,	n. 5 stazioni all'interno dell'area portuale, di cui n. 2 posizionate in corrispondenza delle bocche di porto.	2-4 campagne d'indagine, da eseguire con differenti condizioni al contorno	Trimestrale	Trimestrale, fino a 6 mesi dopo il completamento delle attività.

ecotossicologiche	Nitriti, Nitrati, Ortofosfati, Ammoniaca, parametri microbiologici, saggi biologici su organismi sensibili alla matrice acqua		(caratteristiche meteomarine, traffico navale, apporto fluviale, etc.)		
Acquisizione con sonda multiparametrica: esecuzione di rilievi verticali ed "orizzontali" nel corso di campagne periodiche	pH, ossigeno disciolto, temperatura, torbidità, conducibilità, salinità e potenziale redox	n. 5 profili verticali (in corrispondenza delle stazioni sopra descritte) e n. 4 transetti "orizzontali" (da ubicarsi dentro e fuori dal porto).	2-4 campagne d'indagine, da eseguire con differenti condizioni al contorno (caratteristiche meteomarine, traffico navale, apporto fluviale, etc.) e su un numero di stazioni sensibilmente maggiore rispetto a quelle indicate.	Trimestrale	Trimestrale, fino a 6 mesi dopo il completamento delle attività.
Acquisizione con sonda multiparametrica: acquisizione in continuo mediante due sonde in modalità "stand-alone"	pH, ossigeno disciolto, temperatura, torbidità, conducibilità, salinità e potenziale redox,	Ubicate in corrispondenza di posizioni maggiormente significative rispetto al controllo dei processi in atto, indicativamente presso le bocche di ingresso al porto,	Posizionamento in-situ a partire dalla seconda campagna d'indagine di "bianco (temporale)", almeno un mese prima dell'inizio delle attività di dragaggio.	Monitoraggio e lettura dati in continuo; va previsto un intervento periodico di calibrazione e manutenzione della sonda.	Monitoraggio e lettura dati in continuo, fino al 6 mesi dopo il completamento delle attività; va previsto un intervento periodico di calibrazione e manutenzione della sonda.
Trapianto e periodico prelievo di organismi filtratori (molluschi bivalvi) per l'esecuzione di analisi microbiologiche e di prove di bioaccumulo	Metalli ed elementi in tracce, IPA, TBT e parametri microbiologici di interesse	n. 8 stazioni, di cui n. 5 all'interno dell'area portuale (2 ubicate in corrispondenza delle bocche di porto) e n. 3 al di fuori di essa.	Posizionamento in-situ a partire dalla seconda campagna d'indagine di "bianco (temporale)"; eseguire n. 2-4 prelievi prima dell'inizio delle attività di dragaggio.	Una volta al mese.	Trimestrale, fino a 6 mesi dopo il completamento delle attività.
Prelievo periodico	Metalli ed elementi in	n. 2 pescate	Pescate sperimentali	Trimestrale	Trimestrale, fino a 6

mediante pescate di esemplari di organismi bento-nectonici (spigole, cefali, triglie, etc.), per l'esecuzione su fegato e muscolo di analisi microbiologiche e di prove di bioaccumulo	tracce, IPA, TBT e parametri microbiologici di interesse		per la selezione delle specie; 2-4 campagne d'indagine.		mesi dopo il completamento delle attività.
Prelievo periodico di sedimenti superficiali (strato 0-2 cm) per l'esecuzione di analisi di tipo fisico, chimico, microbiologico ed ecotossicologico e per conteggio e biomassa benthos (eventualmente nelle stazioni al di fuori dell'area portuale o in corrispondenza delle bocche di porto)	Granulometria, metalli ed elementi in tracce, PCB, Idrocarburi C>12, IPA, TBT	n. 8 stazioni, di cui n. 5 all'interno dell'area portuale (2 ubicate in corrispondenza delle bocche di porto) e n. 3 al di fuori di essa.	Almeno n. 2 prelievi prima dell'inizio delle attività di dragaggio, su un numero di stazioni sensibilmente maggiore rispetto a quelle indicate.	Trimestrale	Trimestrale, fino a 6 mesi dopo il completamento delle attività.

N.B. alle stazioni sopra descritte, laddove non già prevista, dovrà essere aggiunta una stazione in corrispondenza del punto di efflusso dei fanghi di riempimento dalla vasca di colmata.

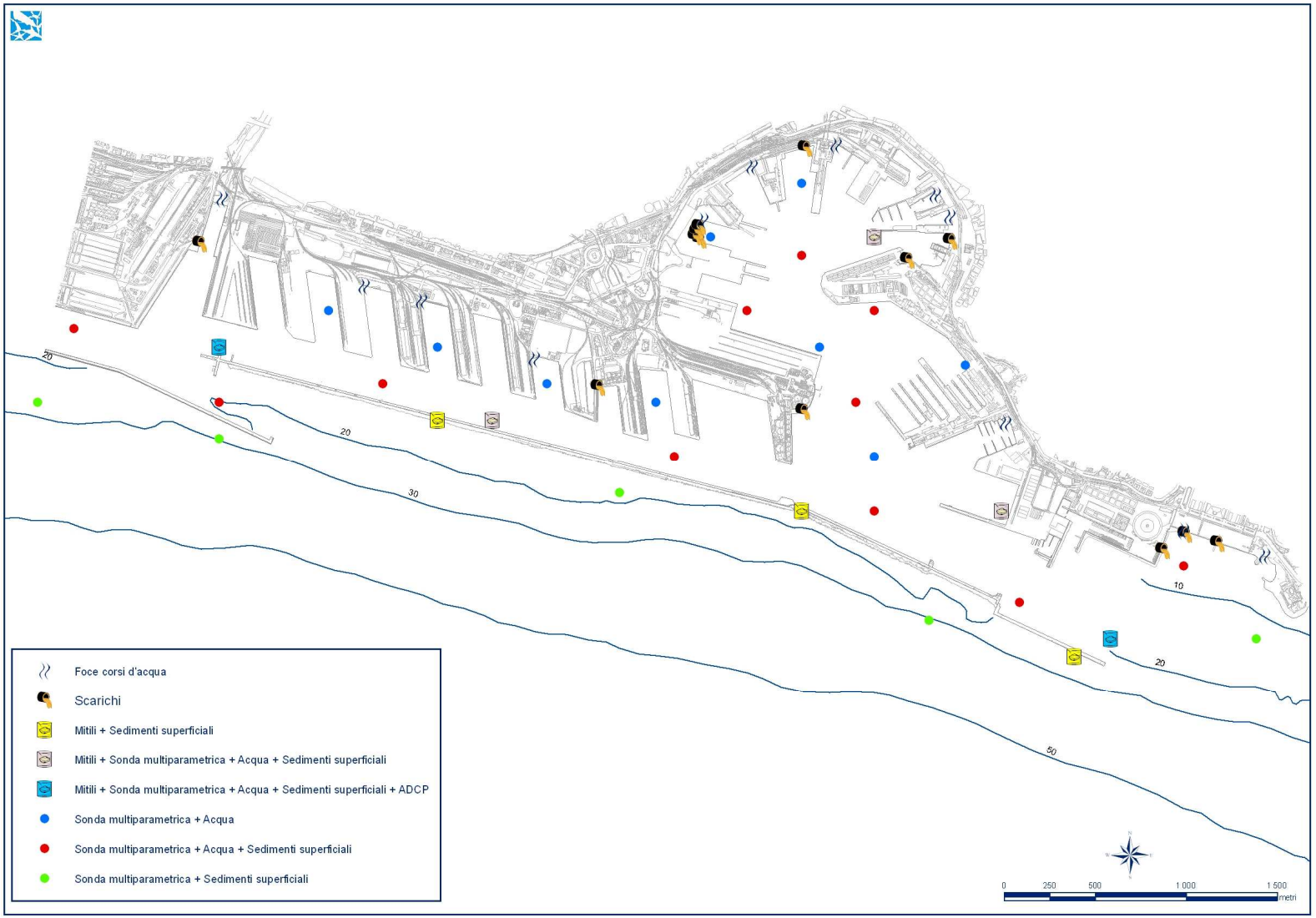


Figura 1: Ubicazione indicativa delle stazioni previste per l'esecuzione delle campagne di "bianco – temporale" (ad esclusione dei transetti da effettuare a diversa profondità per l'acquisizione in continuo).

4 MISURE CORRENTOMETRICHE

Vista la specificità degli obbiettivi da perseguire con la seguente strategia di monitoraggio, le indagini sulla colonna d'acqua saranno volte all'acquisizione di informazioni utili alla caratterizzare del deflusso del pennacchio di torbida e alla comprensione delle fluttuazioni di torbidità e dei fenomeni di diffusione e dispersione del materiale contaminato, in seguito alle attività di dragaggio e refluimento dei sedimenti in cassa di colmata.
A tal fine la conoscenza del regime correntometrico (direzione e intensità della correnti marine e fluviali), quale condizione al contorno necessaria per discriminare correttamente un evento di torbida indotto a seguito delle attività di dragaggio previste, è sicuramente un elemento utile per la corretta interpretazione dei dati.
Per indagare l'andamento delle correnti all'interno del porto di Genova, in cui le condizioni di traffico navale possono avere notevole e repentina influenza sul sistema monitorato, e dove, data la particolare geomorfologia dell'area di indagine, la dinamica della corrente superficiale è sicuramente influenzata, oltre che dal vento e dalla marea, anche dagli apporti di acqua dolce dei numerosi corsi d'acqua che vi sboccano, sarebbe utile effettuare misure correntometriche mediante utilizzo di correntometri profilatori, in grado di acquisire misure istantanee e continue sia di velocità che di direzione della corrente. In particolare, ad esempio, considerato il carattere tipicamente torrentizio e le notevoli portate liquide raggiunte dal fiume Polcevera (che in situazioni di rilevante deflusso d'acqua raggiunge punte di 1763 m^3/s), la corrente superficiale in prossimità della foce del fiume stesso può variare notevolmente, in intensità e struttura spaziale, rispetto agli strati d'acqua immediatamente sottostanti a maggiore salinità. Per questo l'andamento delle correnti costituisce uno degli elementi del sistema da tenere sotto controllo. Tra i profilatori di corrente esistenti, quelli di tipo acustico (ad esempio del tipo ADCP) consentono, rispetto a quelli di tipo elettromagnetico, la lettura di direzione e velocità di corrente in modo continuo ed istantaneo lungo tutta la colonna d'acqua, e quindi letture tridimensionali.
I correntometri profilatori acustici possono inoltre essere utilizzati anche per la lettura del quantitativo di materiale sospeso trasportato dalla corrente. Tali informazioni, proprio perché tridimensionali, istantanee e continue, risulterebbero di particolare utilità per la comprensione dei processi in atto, soprattutto se abbinati alle misure già previste di torbidità e concentrazione di solidi sospesi.
In tale contesto, se ubicati in corrispondenza delle bocche di accesso al porto, unico collegamento tra il bacino portuale ed il mare, potrebbero consentire di ricostruire il bilancio di massa dei sedimenti in ingresso ed in uscita dal porto, e di valutare quindi in modo continuo l'effettivo contributo a tale processo delle attività di dragaggio e refluimento in vasca.
Per questo scenario servirebbero pertanto 2 correntometri acustici (del tipo ADCP) da posizionare in corrispondenza delle n. 2 stazioni fisse previste per il posizionamento delle sonde multiparametriche, presso le bocche di accesso al porto, ed un terzo ADCP per utilizzo nel corso delle già previste campagne speditive di monitoraggio, lungo percorsi che consentano di seguire fisicamente il deflusso torbido, determinare l'estensione degli effetti delle attività di dragaggio, ed eventualmente individuare ulteriori aree ad essi sensibili.

A completamento delle misure di corrente in stazioni fisse e mobili, per la caratterizzazione degli spostamenti delle masse d'acqua potranno essere utilizzati come traccianti le variabili determinate attraverso le analisi chimiche dei campioni prelevati durante le campagne di monitoraggio.
Questo tipo di indagine consentirà di evidenziare le caratteristiche idrodinamiche generali delle masse d'acqua e di identificare i meccanismi di stagnazione estiva e di circolazione invernale, nonché di chiarire le modalità di scambio tra i singoli comparti fisici del sito oggetto di studio delimitati dalle strutture che caratterizzano il Porto di Genova.