

Progetto - Projet

GEREMIA - Gestione dei reflui per il miglioramento delle acque portuali



PRODOTTO T3.1.1: REPORT STATO QUALITÀ DELLE ACQUE PORTUALI

LIVRABLE T3.1.1: RAPPORT QUALITÉ DE L'EAU DU PORT

Partner responsabile – Partenaire responsable: Università di Genova

Partner contributori - Partenaires contributeurs: Servizi Ecologici Porto di Genova, Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale, Université de Toulon, Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale, Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità ambiente marino.

Nome del prodotto	Redatto da:	Verificato da:	Validato da:
T3.1.1 - Report stato qualità delle acque portuali	Anna Reboa (UNIGE), Simone Simeone, Francesca Spotorno (SEPG), Véronique Lenoble (UTLN)	Marco Capello, Laura Cutroneo (UNIGE)	Alessandro Stocchino (UNIGE)

Descrizione del Prodotto: Per ogni porto coinvolto nel Progetto è stilato un rapporto sulla presenza di reflui e scarichi all'interno dei bacini e sulla qualità delle acque in base ai dati di monitoraggio pregressi raccolti.

Description du livrable : Un rapport est établi pour chaque port du Projet sur la présence d'eaux usées et de rejets dans les bassins et sur la qualité de l'eau, sur la base des données de surveillances précédentes recueillies.

Sintesi

Nel presente documento sono stati presi in esame tutti i porti coinvolti nelle attività di Progetto e, in particolare, il Porto di Genova, il Porto di Olbia, il Porto di La Spezia e il Porto di Tolone. Per tutti i porti sono stati raccolti molti dati pregressi sulla qualità delle acque, la presenza di scarichi all'interno del bacino portuale e la loro natura. Gli scarichi sono stati descritti in base alla loro tipologia, ovvero se sono scarichi di sistemi di smaltimento acque bianche, scarichi di acque nere o industriali. Per ogni porto sono state descritte anche le caratteristiche fisiche principali (conformazione delle correnti, misure di temperatura e salinità ove presenti) tramite informazioni ricavate da misure in campo o modellistica numerica. Questo rapporto rappresenta quindi lo stato attuale della qualità delle acque portuali e sarà di fondamentale importanza per lo sviluppo delle attività di Progetto che mirano ad una nuova gestione delle acque portuali stesse.

Synthèse

Ce document recueille les données de tous les ports concernés par les activités de Projet : le port de Gênes, le port d'Olbia, le port de La Spezia et le port de Toulon. Dans chacun de ces ports ont été recueillies de nombreuses données préexistantes sur la qualité des eaux, les rejets d'eau dans les bassin portuaires et leur nature. Les rejets d'eaux usées ont été classés en

fonction de leur typologie, eaux de ruissellement, eaux usées domestiques ou industrielles. En outre, chaque port a fait l'objet d'une description de ses caractéristiques physiques principales (configuration des courants, température et salinité) grâce aux informations recueillies sur le terrain ou par modélisation numérique. Ce rapport constitue donc une description de l'état actuel de la qualité des eaux portuaires qui sera fondamentale pour le développement des activités de Projet visant à définir une nouvelle gestion des eaux portuaires.

Indice / Sommaire

1 Introduzione / Introduction	5
2. Porti coinvolti / Ports du projet	6
2.1 Porto di Genova / Port de Gênes	6
2.1.1 Descrizione del Porto di Genova e censimento scarichi presenti / Description du Port de Gênes et recensement des rejets présents	6
2.1.2 Risultati del monitoraggio delle acque portuali - anno 2017 / Résultats de la surveillance des eaux portuaires – année 2017	16
2.1.3 Variabilità temporale e spaziale dei parametri chimico-fisici e biologici dell'acqua / Variabilité temporelle et spatiale des paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau	24
2.2 Porto di La Spezia / Port de La Spezia	43
2.2.1 Descrizione del Porto di La Spezia e censimento scarichi presenti / Description du Port de La Spezia et recensement des rejets	43
2.2.2 Risultati dei monitoraggi ambientali / Résultats des surveillances environnementales	52
2.3 Porto di Olbia	56
2.3.1 Descrizione del Porto di Olbia e censimento scarichi presenti / Description du Port d'Olbia et recensement des rejets	56
2.3.2 Risultati del monitoraggio delle acque portuali / Résultats de la surveillance des eaux portuaires	67
2.4 Porto di Tolone / Le Port de Toulon	74
2.4.1 La rada di Tolone / La rade de Toulon	74
2.4.2 Elementi storici e contesto economico e sociale / Éléments historiques et contexte socio-économique	78
2.4.3 Risultati del monitoraggio delle acque portuali / Résultats de la surveillance des eaux portuaires	82
Bibliografia / Bibliographie	88

1 Introduzione / Introduction



La gestione della qualità delle acque portuali deve avere alla base una esaustiva conoscenza di tutti gli impatti e le pressioni che insistono sull'ambiente marino portuale e deve partire dalla conoscenza della morfologia dei bacini e di tutte le realtà antropiche e naturali che in essi si svolgono. Per questo motivo, il Progetto GEREMIA ha previsto la caratterizzazione dei porti coinvolti nelle azioni pilota (Porti di Genova, La Spezia, Olbia e Tolone), sia dal punto di vista della morfologia dei bacini (conformazione del bacino, strutture portuali, scarichi, torrenti, ecc.) e delle attività che in essi vengono svolte (attività commerciali, cantieristica, trasporti, turismo, ecc.), e la raccolta dei dati derivanti da studi e monitoraggi realizzati negli ultimi anni per la definizione dello stato della qualità delle acque interne ai bacini.



La gestion de la qualité des eaux portuaires doit être basée sur une connaissance exhaustive de tous les impacts et pressions sur l'environnement marin portuaire et doit partir de la connaissance de la morphologie des bassins et de toutes les réalités anthropiques et naturelles qui s'y trouvent. Pour cette raison, le projet GEREMIA a prévu la caractérisation des ports concernés par les actions pilotes (Ports de Gênes, de La Spezia, d'Olbia et de Toulon), tant du point de vue de la morphologie des bassins (conformation du bassin, structures portuaires, rejets, cours d'eau, etc.) que des activités qu'ils abritent (activités commerciales, construction navale, transports, tourisme, etc.), et la collecte de données provenant d'études et de surveillances effectuées ces dernières années pour définir l'état de la qualité des eaux dans les bassins.

2. Porti coinvolti / Ports du projet



Sono di seguito riportate la descrizione dei bacini portuali e delle attività in essi presenti, e i risultati sulla qualità delle acque di studi recenti.



Les descriptions des bassins portuaires et des activités qui y sont présentes sont présentées ci-dessous, ainsi que les résultats d'études récentes sur la qualité des eaux.

2.1 Porto di Genova / Port de Gênes



2.1.1 Descrizione del Porto di Genova e censimento scarichi presenti / Description du Port de Gênes et recensement des rejets présents

Il bacino di Genova (Liguria - Italia) si estende ininterrottamente per 22 km lungo la costa, con una superficie totale di 6 milioni di m² e 14,5 milioni di m² di specchi acquei, e con 25 terminal, attrezzati per accogliere ogni tipo di nave per ogni tipo di merce: contenitori, merci varie, prodotti deperibili, metalli, forestali, rinfuse solide e liquide, prodotti petroliferi e passeggeri, con una serie completa di servizi complementari, dalle riparazioni navali all'allestimento navi, alla telematica e informatizzazione (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2019). Le funzioni più significative sono distribuite all'interno del bacino come segue: funzione commerciale nell'area di Sampierdarena e Voltri; funzione industriale nell'area compresa tra Calata Gadda e il "Piazzale di Levante", nonché nella zona di Sestri Ponente; funzione passeggeri nell'area compresa tra ponte Caracciolo e ponte dei Mille (Bacino Porto Vecchio); funzione petrolifera nell'area di Multedo; funzione urbana articolata in differenti contesti territoriali (principalmente, Porto Antico e Darsena Municipale).

Il Porto di Genova presenta caratteristiche di scalo "completo" in cui convivono funzioni commerciali, industriali e di servizio, e rappresenta la principale realtà del settore a livello nazionale e il primo scalo del bacino del Mediterraneo per quanto riguarda il settore delle merci varie trasportate in contenitori, ovvero secondo metodologie tradizionali. Inoltre, per quanto concerne l'Italia, il Porto di Genova ha visto aumentare la propria quota negli ultimi anni, affermandosi quale porto leader nel traffico di container. In particolare, se si richiama

l'importanza che, per uno scalo portuale, riveste il fatto di essere al servizio dei flussi import-export provenienti dai mercati interni e quindi di non svolgere esclusivamente funzioni di trasbordo dei carichi, il Porto di Genova ha fatto registrare un recupero sostanziale della propria funzione non solo nei confronti delle realtà portuali mediterranee, ma anche nei confronti dell'Europa nel suo complesso. Per quanto riguarda il settore commerciale, il Porto di Genova è leader nel traffico delle merci convenzionali, trasportate da navi con caratteristiche differenziate (tradizionali, ro-ro, specializzate), ma negli ultimi anni ha subito modifiche volte a implementare anche il crescente mercato della containerizzazione.

Un incremento dei traffici marittimi si è verificato anche a causa di un sempre maggiore interesse nel campo crocieristico. Tale crescita è attribuibile alla vivacità della domanda per il "prodotto Mediterraneo" verificatasi a partire dai primi anni '90, cui hanno fatto seguito da un lato una più intensa operatività delle maggiori compagnie crocieristiche e, dall'altro, l'entrata in esercizio del terminal crociere presso Ponte dei Mille. Altro settore molto prolifico del Porto di Genova è quello industriale, che si compone quasi esclusivamente di imprese private di piccola e media dimensione. Tali aziende rappresentano una componente quantitativamente e qualitativamente significativa del mercato e sono presenti in quasi tutti i segmenti in cui si articola il settore, con una gamma di prodotti e con una qualità riconosciuta (Autorità Portuale di Genova, 2001).

Una parte della funzione commerciale adibita al traffico containerizzato è situata in un'area distaccata dal Porto di Genova, ovvero presso il terminal PSA Voltri-Prà, che è il principale dell'Alto Tirreno. La società fa parte del Gruppo PSA International, con sede a Singapore, il quale movimentata fino a 60 milioni teu all'anno in terminal portuali dislocati in tutto il mondo; il terminal di Voltri-Prà in particolare si estende su 98 ettari di superficie, suddivisi in 6 moduli, lungo una banchina di 1433 m con un pescaggio massimo che consente l'approdo delle mega portacontainer. A partire da quest'anno, il terminal sarà in grado di accogliere contemporaneamente tre ULCV, comprese due navi fino a 20.000 teu di capacità (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2019). Sempre nella stessa area distaccata, ubicato a ridosso dell'Aeroporto internazionale "Cristoforo Colombo", si trova il terminal petrolifero di Genova Multedo, gestito dalla società Porto Petroli di Genova S.p.A., che si occupa

dello sbarco, imbarco e trasferimento di petrolio grezzo, prodotti petroliferi e petrolchimici trasportati da navi di varia portata, a soddisfare la domanda di energia del sistema economico nazionale e, in particolare, dell'Italia Settentrionale (Porto Petroli di Genova S.p.A., 2019). I punti di scarico da terra, dovuti prevalentemente a attività commerciali, sono mostrati in Figura 1A (Regione Liguria, 2019).

L'area portuale di indagine del progetto GEREMIA si colloca tra la foce del Torrente Polcevera e l'area dell'entrata di Levante (Fig.1), comprendente una parte ad uso commerciale (Fig.2), una zona adibita alle riparazioni navali (Fig.3), e un terminal passeggeri (Fig.4) (Autorità di sistema portuale del mar ligure occidentale, 2018).



Le bassin de Gênes (Ligurie - Italie) s'étend, sans interruption, sur 22 km le long de la côte, avec une superficie totale de 6 millions de m² et 14,5 millions de m² de surface d'eau, avec 25 terminaux, équipés pour recevoir tous les types de navires pour tous les types de marchandises : des conteneurs, des marchandises diverses, des produits périssables, des métaux, de la sylviculture, des vracs solides et liquides, des produits pétroliers et des passagers, avec une gamme complète de services complémentaires, de la réparation à l'armement des navires, en passant par la télématique et l'informatisation (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2019). Les fonctions les plus significatives sont réparties à l'intérieur du bassin comme suit : fonction commerciale dans la zone de Sampierdarena et Voltri ; fonction industrielle dans la zone entre Calata Gadda et le "Piazzale di Levante", ainsi que dans la zone de Sestri Ponente ; fonction passagers dans la zone entre ponton Caracciolo et ponton dei Mille (Bacino Porto Vecchio) ; fonction pétrolière dans la zone de Multedo ; fonction urbaine articulée dans différents contextes territoriaux (principalement Porto Antico et Darsena Municipale).

Le port de Gênes présente les caractéristiques d'un port d'escale "complet" où coexistent des fonctions commerciales, industrielles et de services, et représente la principale réalité du secteur au niveau national et le premier port d'escale du bassin méditerranéen en ce qui concerne le secteur des marchandises diverses transportées en conteneurs, c'est-à-dire selon les méthodes traditionnelles. En outre, en ce qui concerne l'Italie, le port de Gênes a vu sa part augmenter ces dernières années, s'imposant comme le premier port pour le trafic de conteneurs. En particulier, vue l'importance pour un port d'être au service des flux d'import-

export provenant des marchés intérieurs et donc de ne pas exercer exclusivement des fonctions de transbordement de marchandises, le port de Gênes a une importance notable, non seulement par rapport aux réalités portuaires méditerranéennes, mais aussi par rapport à l'Europe dans son ensemble. En ce qui concerne le secteur commercial, le port de Gênes est leader dans le trafic de marchandises conventionnelles, transportées par des navires aux caractéristiques différentes (traditionnels, rouliers, spécialisés), mais ces dernières années, il a subi des changements visant à mettre en œuvre également le marché croissant de la conteneurisation.

Une augmentation du trafic maritime a également eu lieu en raison d'un intérêt croissant pour le secteur des croisières. Cette croissance peut être attribuée à la forte demande pour le "produit méditerranéen" depuis le début des années 1990, suivie d'une part par l'intensification des activités des principales compagnies de croisière et, d'autre part, par la mise en service du terminal de croisière de Ponte dei Mille. En outre, le secteur industriel, presque exclusivement composé de petites et moyennes entreprises privées, constitue un secteur porteur. Ces entreprises représentent une composante quantitativement et qualitativement significative du marché et sont présentes dans presque tous les segments du secteur, avec une gamme de produits et une qualité reconnue (Autorité portuaire de Gênes, 2001).

Une partie de la fonction commerciale dédiée au trafic conteneurisé est située dans une zone détachée du port de Gênes, c'est-à-dire au terminal PSA Voltri-Prà, qui est le principal terminal de la mer Tyrrhénienne. La société fait partie du Groupe PSA International, basé à Singapour, qui déplace jusqu'à 60 millions teu par an dans des terminaux portuaires du monde entier ; le terminal de Voltri-Prà, en particulier, s'étend sur 98 hectares, divisés en 6 modules, le long d'un quai de 1433 m avec un tirant d'eau maximal qui permet l'accostage de méga porte-conteneurs. Dès cette année, le terminal pourra accueillir trois ULCV en même temps, dont deux navires d'une capacité allant jusqu'à 20 000 teu (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2019). Toujours dans la même zone détachée, située à proximité de l'aéroport international "Cristoforo Colombo", se trouve le terminal pétrolier de Gênes Multedo, géré par la société Porto Petroli di Genova S.p.A., qui s'occupe du déchargement, de l'embarquement et du transfert de pétrole brut, de produits pétroliers et de produits pétrochimiques transportés

par des navires de différentes capacités, pour répondre à la demande énergétique du système économique national et, en particulier, de l'Italie du Nord (Porto Petroli di Genova S.p.A., 2019). Les points de rejet terrestres, principalement dus aux activités commerciales, sont présentés dans la figure 1A (Regione Liguria, 2019).

La zone portuaire à l'étude dans le cadre du projet GEREMIA est située entre l'embouchure du torrent Polcevera et la zone de l'entrée Est (Fig.1), comprenant une partie à usage commercial (Fig.2), une zone utilisée pour la réparation des navires (Fig.3) et un terminal passagers (Fig.4) (Autorità di sistema portuale del mar ligure occidentale, 2018).



Fig.1: Porto di Genova. A) Porto di Voltri-Prà (giallo) e terminal petrolifero di Moltedo (verde); B) Porto di Genova. I pallini rossi indicano i punti di scarico (Regione Liguria, 2019); i cerchi arancioni indicano i siti di interesse per il progetto: da ovest a est, la foce del Torrente Polcevera, il Bacino Porto Vecchio, e l'entrata di Levante.

Fig.1 : Port de Gênes Fig.1 : Port de Gênes. A) Port de Voltri-Prà (jaune) et terminal pétrolier de Moltedo (vert) ; B) Port de Gênes. Les points rouges indiquent les points de décharge (Regione Liguria, 2019) ; les cercles orange indiquent les sites d'intérêt pour le projet : d'ouest en est, l'embouchure du torrent Polcevera, le bassin de Porto Vecchio et l'entrée Est.



Fig.2: Zona commerciale dell'area di indagine del Porto di Genova (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).

Fig.2 : Zone commerciale de la zone d'étude du port de Gênes (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).



Fig.3: Zona adibita alle riparazioni navali del Porto di Genova (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).

Fig.3 : Zone de réparation des navires du port de Gênes (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).

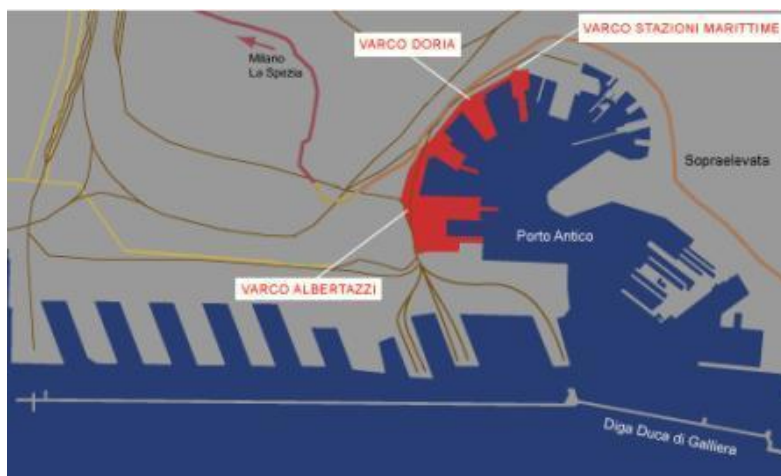


Fig.4: Terminal passeggeri del Porto di Genova (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).

Fig.4 : Terminal passagers du port de Gênes (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).



Le possibili fonti di inquinamento dello specchio d'acqua portuale sono molteplici. Un contributo deriva sicuramente dalle acque meteoriche che causano il dilavamento dei piazzali di transito e di sosta dei mezzi, nonché delle aree di movimentazione e di stoccaggio delle rinfuse solide. Inoltre, per alcuni tipi di carico quali le rinfuse liquide, le rinfuse solide, i prodotti petroliferi e le materie prime per l'industria siderurgica, anche in assenza di incidenti significativi, esiste il rischio di modesti versamenti a mare di prodotti (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018). Sull'area insistono diversi punti di scarico sia urbani, essendo quest'area a stretto contatto con la città stessa, sia derivanti da attività commerciali e industriali, seppur dotati di impianti di depurazione (Fig.1) (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018; Regione Liguria, 2019).

Nei settori più interni del porto sono presenti alcune aree confinate che presentano un basso grado di ricambio d'acqua e di interazione con le acque esterne, come per esempio l'area del Porto Antico o la Darsena Municipale. In queste zone si trovano alti valori di inquinamento organico e una bassa ossigenazione. Per quanto riguarda i metalli pesanti, in acque costiere le concentrazioni sono spesso anche relativamente elevate (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).

In aggiunta ai punti di scarico da attività antropiche, anche il Torrente Polcevera, con trasporto solido medio di 53.920 m³/anno (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018), può essere considerato fonte di contaminazione delle acque marine interne al porto. Esso, infatti, apporta al mare vari contaminanti dai territori interni, attraverso punti di scarico che insistono sul suo bacino idrico. Di questi, un solo punto riguarda gli scarichi urbani, ovvero l'impianto di depurazione Valpolcevera, che tratta le acque provenienti dai comuni di Campomorone, Ceranesi, Mignanego, Sant'Olcese, Serra Riccò e, solo in parte, Genova. L'impianto è stato recentemente adeguato per consentire anche il trattamento del percolato proveniente dalla discarica di Scarpino (comune di Genova). Oltre a quest'ultimo, sono censiti in tutto 27 scarichi industriali in corso d'acqua, molti costituiti da sole acque di raffreddamento o di dilavamento. Le attività originanti tali reflui sono di diverso tipo, alcune legate alle cave, altre alla trasformazione e distribuzione di prodotti petroliferi, altre ancora alla produzione di

pitture o di apparecchiature meccaniche, oltre a distributori e autolavaggi; sette di questi scarichi recapitano direttamente nel torrente Polcevera. Infine, sul bacino del torrente Polcevera, insistono molti altri tipi di attività antropiche, come attività zootecniche e agricole, nonché aree sportive e ricreativo-turistiche e reti stradali e ferroviarie (Comune di Genova, 2017).

In una realtà altamente prolifica come quella del porto di Genova, i traffici marittimi sia commerciali e industriali sia turistici costituiscono una delle principali fonti di contaminazione ambientale, sia da rifiuti solidi che da inquinanti organici e metalli pesanti, derivanti da perdita accidentale di materiale di vario tipo, compresi prodotti di combustione, vernici antifouling ed emissioni di sostanze quali soprattutto SO_x , NO_x , PM_{10} e CO_2 (ISPRA, 2009; Cole et al., 2011; Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018). Un'importante diffusione di contaminanti si ha, inoltre, da interventi di lavaggio delle imbarcazioni e pulizia degli scafi, come per esempio il metodo della sabbiatura, che utilizza particolari spazzole per rimuovere incrostazioni e ruggini, producendo una perdita di materiale plastico dalle spazzole stesse e metalli derivanti dalle superfici su cui agiscono (Gregory, 1996).

Nonostante le caratteristiche delle acque interne al porto e degli scambi tra il porto e l'ambiente marino esterno alle due imboccature di Levante e Ponente, si ritiene comunque che esista un elevato grado di interazione tra le acque costiere esterne al porto e quelle del largo, e che il ricambio delle acque costiere con quelle oligotrofiche del mare aperto risulti efficace e in grado di garantire una buona capacità di assimilazione dell'impatto trofico degli scarichi in uscita dal bacino portuale. In generale, si esclude quindi, se non altro sul medio periodo, che possano instaurarsi condizioni di eutrofia prodotte dalle acque portuali sull'ambiente marino circostante.



Il existe de nombreuses sources possibles de pollution dans la zone portuaire. Une contribution provient certainement des eaux de pluie, qui provoquent le ruissellement des aires de transit et de stationnement des véhicules, ainsi que des zones de manutention et de stockage des marchandises solides en vrac. En outre, pour certains types de cargaison tels que le vrac liquide, le vrac solide, les produits pétroliers et les matières premières pour l'industrie sidérurgique, même en l'absence d'accidents importants, il existe un risque de déversement mineur de

produits dans la mer (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018). Il existe plusieurs points de rejet dans la zone, à la fois urbains, car la zone est en contact étroit avec la ville elle-même, et dérivant d'activités commerciales et industrielles, bien qu'ils soient équipés de stations d'épuration (Fig.1) (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018 ; Regione Liguria, 2019).

Dans les secteurs les plus à l'intérieur du port, il existe quelques zones confinées qui présentent un faible degré d'échange d'eau et d'interaction avec les eaux extérieures, comme la zone de Porto Antico ou le dock municipal. Dans ces zones, on trouve des valeurs élevées de pollution organique et une faible oxygénation. En ce qui concerne les métaux lourds, dans les eaux côtières, les concentrations sont souvent aussi relativement élevées (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018).

En plus des points de décharge des activités anthropiques, le fleuve Polcevera, avec un transport solide moyen de 53 920 m³/an (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018), peut également être considéré comme une source de contamination des eaux marines à l'intérieur du port. En effet, elle apporte à la mer divers contaminants provenant des territoires intérieurs par le biais de points de rejet qui se versent sur son bassin hydrographique. Parmi ceux-ci, un seul point concerne les rejets urbains, à savoir la station d'épuration de Valpolcevera, qui traite les eaux des communes de Campomorone, Ceranesi, Mignanego, Sant'Olcese, Serra Riccò et, en partie seulement, de Gênes. La station a récemment été modernisée pour traiter également les lixiviats de la décharge de Scarpino (municipalité de Gênes). En plus de ces derniers, un total de 27 rejets industriels dans les cours d'eau est enregistré, dont beaucoup ne sont constitués que d'eau de refroidissement ou de ruissellement. Les activités à l'origine de ces rejets sont de différents types, certaines liées à des carrières, d'autres à la transformation et à la distribution de produits pétroliers, d'autres à la production de peintures ou d'équipements mécaniques, ainsi que des distributeurs et des stations de lavage de voitures ; sept de ces rejets se déversent directement dans le fleuve Polcevera. Enfin, de nombreux autres types d'activités anthropiques impactent le bassin du Polcevera, comme les activités zootechniques et agricoles, ainsi que les zones sportives et récréotouristiques et les réseaux routiers et ferroviaires (municipalité de Gênes, 2017).

Dans une réalité très dense comme le port de Gênes, le trafic maritime commercial et industriel ainsi que le tourisme constituent l'une des principales sources de contamination de l'environnement, tant par les déchets solides que par les polluants organiques et les métaux lourds, résultant de la fuite accidentelle de divers types de matériaux, dont les produits de combustion, les peintures antisalissures et les émissions de substances telles que principalement les SOx, les NOx, les PM10 et le CO2 (ISPRA, 2009 ; Cole at al., 2011 ; Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018). Une diffusion importante de contaminants se produit également lors des opérations de lavage des bateaux et de nettoyage des coques, telles que la méthode de sablage, qui utilise des brosses spéciales pour éliminer les salissures et la rouille, entraînant une perte de matière plastique des brosses elles-mêmes et de métaux des surfaces sur lesquelles elles agissent (Gregory, 1996).

Malgré les caractéristiques des eaux à l'intérieur du port et les échanges entre le port et le milieu marin en dehors des deux bras de mer du Levant et du Ponant, on pense cependant qu'il existe un haut degré d'interaction entre les eaux côtières à l'extérieur du port et celles au large, et que l'échange des eaux côtières avec les eaux oligotrophes de la haute mer est efficace et capable de garantir une bonne capacité d'assimilation de l'impact trophique des rejets sortant du bassin portuaire. D'une manière générale, il est donc exclu, au moins à moyen terme, que des conditions d'eutrophisation produites par les eaux portuaires sur le milieu marin environnant puissent être établies.

2.1.2 Risultati del monitoraggio delle acque portuali - anno 2017 / Résultats de la surveillance des eaux portuaires - année 2017



L'Autorità Portuale di Genova, tramite la ditta Servizi Ecologici Porto di Genova srl, Partner del progetto GEREMIA, conduce dal 1998 un monitoraggio ambientale mensile, allo scopo di individuare le aree più a rischio degli specchi acquei portuali, nella zona che si estende da Punta Vagno a Voltri. Tale attività produce dati mensili su nove parametri analizzati e carte tematiche che mostrano graficamente la situazione. I punti considerati sono un centinaio, identificati tra le zone più significative, per tutta l'estensione del Porto di Genova. I parametri presi in

considerazione sono ammoniaca, coliformi fecali, temperatura, ossigeno disciolto, salinità, clorofilla-a, pH, potenziale Red-Ox e torbidità.

Per comprendere lo stato attuale delle acque portuali si è deciso di considerare i dati del monitoraggio delle acque subsuperficiali riferiti all'anno 2017.

I dati raccolti durante l'anno 2017 rappresentano il monitoraggio condotto eseguendo campionamenti mensili in circa 110 stazioni con acquisizione dei principali parametri chimico-fisici tramite sonda multiparametrica e sono già stati riportati in una serie di relazioni mensili, trimestrali ed una annuale di sintesi.

La relazione annuale sullo stato delle acque portuali genovesi ha lo scopo di presentare tutti i risultati relativi al 2017, per evidenziare la presenza di gradienti spaziali dei parametri di qualità dell'acqua, riconducibili alla localizzazione delle sorgenti puntuali di acque dolci e dei reflui urbani e industriali, e la presenza di fluttuazioni sistematiche dei parametri rilevati, modulate in qualche misura dalle attività antropiche e riconducibili al succedersi delle stagioni e al contributo delle condizioni meteorologiche. Inoltre, i dati sono stati comparati con quelli provenienti dai precedenti monitoraggi, per verificare se ci siano state variazioni nel corso degli anni.

Sono state effettuate acquisizioni in circa 110 punti distribuiti all'interno dell'area portuale (Fig. 5), in 20 di questi punti vengono prelevati anche campioni di acqua sub-superficiale per l'analisi dell'azoto ammoniacale, dei coliformi fecali e della clorofilla-a, secondo le metodologie standard UNICHIM.



L'Autorité portuaire de Gênes, par l'intermédiaire de la société Servizi Ecologici Porto di Genova srl, partenaire du projet GEREMIA, effectue depuis 1998 un suivi environnemental mensuel visant à identifier les zones les plus à risque dans les eaux portuaires, dans la zone qui s'étend de Punta Vagno à Voltri. Cette activité permet de produire des données mensuelles sur neuf paramètres analysés et des cartes thématiques présentant la situation sous forme de graphiques. Les points considérés sont une centaine, identifiés parmi les zones les plus significatives, tout au long de l'extension du port de Gênes. Les paramètres pris en compte sont l'ammoniac, les coliformes fécaux, la température, l'oxygène dissous, la salinité, la chlorophylle-a, le pH, le potentiel Red-Ox et la turbidité.

Afin de comprendre l'état actuel des eaux du port, il a été décidé de considérer les données de surveillance des eaux souterraines pour l'année 2017.

Les données recueillies au cours de l'année 2017 représentent la surveillance effectuée en réalisant des échantillonnages mensuels dans environ 110 stations avec acquisition des principaux paramètres chimiques et physiques à l'aide d'une sonde multiparamétrique et ont déjà été rapportées dans une série de rapports de synthèse mensuels, trimestriels et un annuel.

Le rapport annuel sur l'état des eaux du port de Gênes a pour objectif de présenter l'ensemble des résultats de l'année 2017, de mettre en évidence la présence de gradients spatiaux des paramètres de qualité de l'eau, attribuables à la localisation de sources ponctuelles d'eau douce et d'effluents urbains et industriels, et la présence de fluctuations systématiques des paramètres mesurés, modulées dans une certaine mesure par les activités anthropiques et attribuables à la succession des saisons et à la contribution des conditions météorologiques. En outre, les données ont été comparées à celles des contrôles précédents, pour voir si des changements étaient intervenus au fil des ans.

Des acquisitions ont été réalisées en environ 110 points répartis dans la zone portuaire (Fig. 5). En 20 de ces points, des échantillons d'eau de subsurface ont également été prélevés pour l'analyse de l'azote ammoniacal, des coliformes fécaux et de la chlorophylle-a, selon les méthodologies standard UNICHIM.

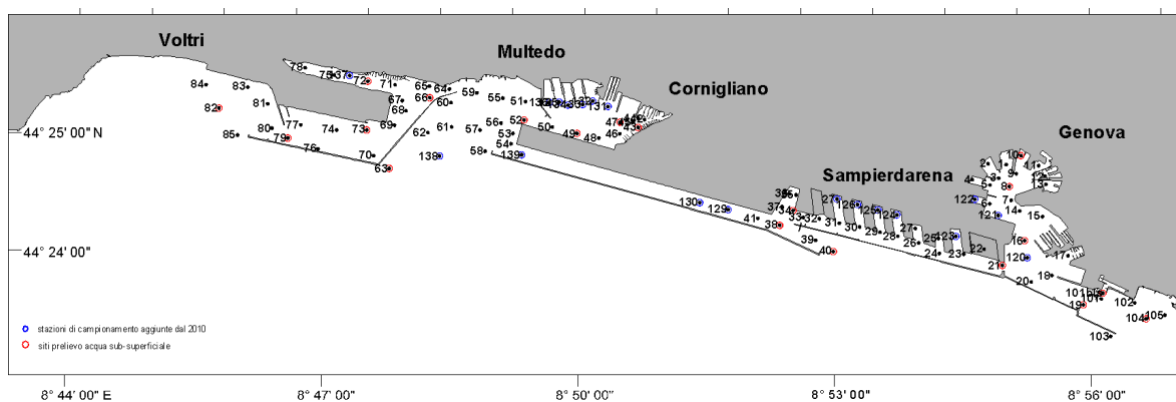


Fig. 5: Distribuzione dei punti di campionamento 2017.

Fig.5: Répartition des points d'échantillonnage 2017



Nel corso del programma di monitoraggio, in atto ormai da più di 15 anni, sono emersi alcuni andamenti generali delle caratteristiche delle acque portuali, sia spaziali sia temporali. Tali andamenti risultano evidenti anche se l'estensione spaziale e il momento in cui si manifestano possono variare di anno in anno. Tale variabilità è riconducibile in varia misura al succedersi delle stagioni, alle attività antropiche che insistono sull'area portuale e alla variabilità delle condizioni meteorologiche.

La temperatura sub-superficiale dell'acqua presenta nel suo andamento stagionale una spiccata periodicità, con un minimo nei mesi invernali e un massimo estivo fra luglio e agosto, così come generalmente osservabile alle latitudini temperate, e segue l'evoluzione della temperatura atmosferica. Negli anni passati in tutte le stagioni, le stazioni poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica Enel nel Canale di Sampierdarena, si distinguono per la temperatura più elevata di circa 1-5 °C rispetto al resto del bacino; dal 2017 questa situazione non si è invece verificata, a causa della dismissione della centrale termoelettrica.

La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci provenienti da terra; la distribuzione spaziale della salinità superficiale, infatti, evidenzia in quasi tutti i mesi i principali scarichi che interessano l'area portuale. L'evoluzione temporale di questo parametro è legata principalmente all'andamento delle precipitazioni, soprattutto per quanto riguarda la foce del Polcevera, la zona del Porto Antico e la zona più interna del bacino di Multedo, dove sfocia il Chiaravagna. Entrambi i corsi d'acqua, infatti, hanno spiccato regime torrentizio e generalmente basse portate. In concomitanza con i massimi pluviometrici stagionali tendono però a esondare, o comunque ad aumentare notevolmente la portata con evidenti diminuzioni della salinità in corrispondenza delle foci. Lo scarico del depuratore in Darsena, pur risentendo del regime delle precipitazioni poiché raccoglie l'apporto della maggior parte dei piccoli rivi tombinati inseriti nel tessuto urbano del centro storico di Genova, ha comunque una portata tale da influire sulla salinità del corpo recettore a prescindere dalla frequenza e dall'intensità delle piogge.

Le concentrazioni della clorofilla-a nelle acque portuali seguono un tipico andamento stagionale. Durante il periodo autunnale-invernale la biomassa fitoplanctonica (espressa come

clorofilla-a) è più bassa; in seguito, nel periodo primaverile, quando la temperatura dell'acqua diventa sufficientemente elevata e la radiazione luminosa sufficientemente intensa, si osservano le prime fioriture fitoplanctoniche. Queste possono essere stimolate e sostenute dagli apporti di nutrienti provenienti da terra e si prolungano nella stagione estiva, fino a raggiungere solitamente i valori massimi nei mesi di luglio e agosto. Qualora gli apporti di nutrienti non siano sufficienti a compensare il consumo ad opera della comunità autotrofa, le fioriture possono terminare rapidamente. La clorofilla-a ritorna verso valori bassi tipici del periodo autunnale, in seguito alle progressive diminuzioni della temperatura dell'acqua e dell'intensità della radiazione solare. Dalla distribuzione spazio-temporale della clorofilla-a, si evince anche che ciascun bacino portuale presenta una situazione differente, sia dal punto di vista della quantità massima di biomassa fitoplanctonica (espressa come clorofilla-a), che del periodo stagionale in cui viene raggiunta.

La distribuzione della concentrazione dell'ossigeno disciolto è modulata sia dal naturale ciclo di produzione del fitoplancton e dalla temperatura dell'acqua, e quindi dalla stagionalità, sia dal carico organico proveniente dagli apporti di acqua dolce. In quasi tutte le stagioni, infatti, in corrispondenza dei principali scarichi da terra, si riscontrano valori minimi di ossigeno, la cui entità varia però secondo il periodo stagionale.

Altri parametri, invece, non hanno mostrato un particolare andamento stagionale. Ad esempio, la dinamica dell'ammoniaca e dei coliformi fecali è regolata prevalentemente dai processi di trasporto dei carichi provenienti dagli scarichi immessi nei bacini.

Il pH presenta una distribuzione abbastanza omogenea sia dal punto di vista spaziale che temporale, non discostandosi troppo dai valori medi dell'acqua di mare. Si può notare come nelle zone degli scarichi civili ci sia però una lieve diminuzione di pH.

I valori del potenziale Red-Ox sono molto variabili sia al livello stagionale sia spaziale e non si notano particolari gradienti.

La torbidità non ha un particolare andamento stagionale, ma è maggiormente influenzata dalla presenza di scarichi (depuratori, foci di torrenti) e dalla movimentazione dei sedimenti dovuta al passaggio delle navi (per esempio presso il terminal traghetti).

In generale, le misure di qualità delle acque dipendono fortemente dalla variabilità delle portate dei corsi d'acqua: si ricorda che le portate sono estremamente variabili per i corsi d'acqua liguri, caratterizzati in maggior parte da un regime prettamente torrentizio. L'aumento della portata di un corso d'acqua o di uno scarico (in seguito ad eventi meteorici) influenza in modo diverso i vari contributi all'inquinamento. Ad esempio, per scarichi industriali o provenienti da depuratori, la cui portata è quasi costante nel tempo, può agire come "diluizione", mentre per inquinamento agricolo, zootecnico o urbano può tradursi in un aumento dei carichi, a causa del maggior dilavamento.

Anche i venti sono considerati forzanti meteorologiche importanti, poiché influenzano gli scambi delle acque portuali con il mare aperto. In generale, le componenti da sud-sud-ovest, prevalenti nel periodo estivo e autunnale, tendono a confinare le acque all'interno dell'ambiente portuale. Viceversa, la componente da nord, prevalente nel periodo invernale e spesso caratterizzata da forte intensità, favorisce la fuoriuscita dell'acqua verso l'esterno, e quindi il ricambio con il mare aperto.

Sulla base del set di dati proveniente dal monitoraggio portuale tramite l'utilizzo di alcune analisi statistiche multivariate (analisi delle componenti principali e l'analisi dei fattori principali) si è giunti a una classificazione dei diversi siti all'interno del bacino portuale.



Au cours du programme de surveillance, qui est maintenant en place depuis plus de 15 ans, un certain nombre de tendances générales dans les caractéristiques des eaux portuaires ont émergé, tant dans l'espace que dans le temps. Ces tendances sont évidentes même si l'étendue spatiale et le moment de leur apparition peuvent varier d'une année à l'autre. Cette variabilité est attribuable à des degrés divers à la succession des saisons, aux activités anthropiques qui impactent la zone portuaire et à la variabilité des conditions météorologiques.

La température de l'eau de subsurface présente une périodicité marquée dans sa tendance saisonnière, avec un minimum pendant les mois d'hiver et un maximum en été entre juillet et août, comme on l'observe généralement sous les latitudes tempérées, et suit l'évolution de la température atmosphérique. Ces dernières années, en toute saison, les stations situées près du déversement des eaux de refroidissement de la centrale thermoélectrique Enel dans le canal de Sampierdarena, se distinguent par une température plus élevée d'environ 1-5 °C par rapport

au reste du bassin ; depuis 2017, cette situation ne se produit plus, en raison du déclassement de la centrale thermoélectrique.

La salinité peut être considérée comme un traceur des apports d'eau douce provenant de la terre ; la distribution spatiale de la salinité de surface met en effet en évidence, presque chaque mois, les principaux rejets affectant la zone portuaire. L'évolution temporelle de ce paramètre est principalement liée aux tendances pluviométriques, surtout en ce qui concerne l'embouchure de la Polcevera, la zone de Porto Antico et la zone la plus intérieure du bassin de Multedo, où coule le Chiaravagna. Les deux cours d'eau ont des régimes torrentiels et des débits généralement faibles. Cependant, lors des pics de précipitations saisonniers, ils ont tendance à déborder, ou en tout cas à augmenter considérablement leur débit, avec une baisse évidente de la salinité à leur embouchure. Le rejet de la station d'épuration de la Darsena est affecté par le régime pluviométrique, puisqu'il recueille l'apport de la plupart des petits cours d'eau recouverts par le tissu urbain du centre historique de Gênes, mais son débit est tel qu'il affecte la salinité du corps récepteur indépendamment de la fréquence et de l'intensité des précipitations.

Les concentrations de chlorophylle-a dans les eaux du port suivent un schéma saisonnier typique. Pendant la période automne-hiver, la biomasse phytoplanctonique (exprimée en chlorophylle-a) est plus faible ; plus tard, au printemps, lorsque la température de l'eau devient suffisamment élevée et le rayonnement lumineux suffisamment intense, les premières efflorescences phytoplanctoniques sont observées. Elles peuvent être stimulées et soutenues par des apports de nutriments provenant de la terre et se poursuivent tout au long de la saison estivale, atteignant généralement leur pic en juillet et août. Si les apports en nutriments ne sont pas suffisants pour compenser la consommation par la communauté autotrophe, les efflorescences peuvent prendre fin rapidement. La chlorophylle-a revient aux faibles valeurs typiques de la période automnale, suite aux diminutions progressives de la température de l'eau et de l'intensité du rayonnement solaire. La distribution spatio-temporelle de la chlorophylle-a montre également que chaque bassin portuaire présente une situation différente, tant en ce qui concerne la quantité maximale de biomasse phytoplanctonique (exprimée en chlorophylle-a) que la période saisonnière au cours de laquelle elle est atteinte.

La distribution de la concentration en oxygène dissous est modulée à la fois par le cycle naturel de production du phytoplancton et la température de l'eau, et donc par la saisonnalité, et par la charge organique provenant des apports en eau douce. En fait, dans presque toutes les saisons, des valeurs minimales d'oxygène sont trouvées au niveau des rejets terrestres principaux, bien que l'étendue de ces derniers varie selon la saison.

D'autres paramètres, en revanche, n'ont pas montré de tendance saisonnière particulière. Par exemple, la dynamique de l'ammoniac et des coliformes fécaux est principalement régulée par les processus de transport des charges provenant des rejets dans les bassins.

La distribution du pH est assez homogène, tant dans l'espace que dans le temps, et ne s'écarte pas trop des valeurs moyennes de l'eau de mer. On peut cependant constater que dans les zones de rejets civils, il y a une légère diminution du pH.

Les valeurs du potentiel Red-Ox sont très variables, tant au niveau saisonnier que spatial, et aucun gradient particulier ne peut être observé.

La turbidité ne présente pas de tendance saisonnière particulière, mais est principalement influencée par la présence de rejets (épurateurs, embouchures de cours d'eau) et par le mouvement des sédiments dû au passage des navires (par exemple à la gare maritime).

En général, les mesures de la qualité de l'eau dépendent fortement de la variabilité des débits des cours d'eau : les débits sont extrêmement variables pour les cours d'eau de Ligurie, dont la plupart ont un régime purement torrentiel. Une augmentation du débit d'un cours d'eau ou d'un rejet (suite à des événements météorologiques) affecte les différentes contributions de pollution de différentes manières. Par exemple, pour les rejets industriels ou les rejets des stations d'épuration, dont le débit est presque constant dans le temps, elle peut agir comme une "dilution", tandis que pour la pollution agricole, animale ou urbaine, elle peut entraîner une augmentation des charges, en raison de l'accroissement du ruissellement.

Les vents sont également considérés comme des forçages météorologiques importants, car ils influencent l'échange des eaux portuaires avec la haute mer. En général, les composantes sud-sud-ouest, qui prédominent en été et en automne, ont tendance à confiner l'eau dans l'environnement portuaire. En revanche, la composante nord, prédominante en période

hivernale et souvent caractérisée par une forte intensité, favorise la sortie des eaux et donc l'échange avec la haute mer.

Sur la base des données de la surveillance portuaire et à l'aide de certaines analyses statistiques multivariées (analyse en composantes principales et analyse factorielle principale), une classification des différents sites du bassin portuaire a été établie.

2.1.3 Variabilità temporale e spaziale dei parametri chimico-fisici e biologici dell'acqua / Variabilité temporelle et spatiale des paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau



L'analisi delle componenti principali ha evidenziato che i siti possono essere classificati e, quindi raggruppati, sulla base della qualità delle acque, definita come combinazione lineare delle concentrazioni dei parametri monitorati; tale classificazione è interpretabile in chiave geografica, in funzione della vicinanza dalle principali sorgenti puntuali, quali le foci dei torrenti, i depuratori e la zona industriale, e della vicinanza con le bocche del porto.

Nell'area portuale che si estende dalla foce del Bisagno alla foce del Polcevera, le stazioni più interne e poste in corrispondenza dei principali apporti da terra di tipo civile, tipo il depuratore, si caratterizzano per basse concentrazioni di ossigeno disciolto, basso pH e alta torbidità. Le stazioni poste in corrispondenza della foce del Polcevera, si distinguono per la salinità e il potenziale Red-Ox meno elevati.

Le stazioni più influenzate dal mare aperto, sono caratterizzate da una diminuzione della torbidità e da un aumento di salinità e ossigeno. Anche nel bacino di Multedo le stazioni più interne e poste in corrispondenza dei principali apporti da terra si raggruppano e le altre stazioni si distribuiscono seguendo il gradiente interno-esterno del bacino, con torbidità decrescente e aumento dell'ossigeno disciolto. Le stazioni poste davanti a Voltri, fuori dall'imboccatura portuale, sono caratterizzate da un aumento della salinità e dell'ossigeno e da una diminuzione della torbidità. Le stazioni più vicine alla pista dell'aeroporto, quindi più influenzate dall'acqua dolce proveniente dal Polcevera e convogliata nel canale di calma presentano valori più bassi di salinità e pH.

Per meglio evidenziare la presenza di alcune differenze nei risultati del monitoraggio relativo all'anno 2017 rispetto agli anni precedenti, si riportano le distribuzioni spaziali delle anomalie stagionali dei parametri, calcolate rispetto ai dati 1998-2016. Per quanto riguarda i valori di pH, Red-Ox e torbidità le anomalie sono state calcolate rispetto ai dati 2013-2016. Il confronto tra le anomalie stagionali e le evoluzioni dei principali parametri meteorologici nel periodo in questione, indica che le variabilità interannuali possono essere in parte ricondotte alla quantità e distribuzione temporale della piovosità annuale, alla temperatura atmosferica e al regime dei venti.

Per quanto riguarda la variabilità temporale si sono calcolate le anomalie tra i valori del 2017 e la media tra il 1998-2016 per tutti i parametri chimico-fisici e biologici. Di seguito vengono riportati i risultati.

Analizzando le anomalie della temperatura dell'acqua (Fig. 6) possiamo notare che:

- In inverno si trovano anomalie positive o vicine allo zero in tutta l'area dei bacini di Multedo e Prà-Voltri, nell'area che va da calta delle Grazie a Punta Vagno e alla foce del Polcevera. Si riscontrano anomalie negative all'interno del Porto Antico e nella zona davanti alla centrale dell'Enel.
- In primavera si notano anomalie positive o vicine allo zero in tutta l'area dei bacini di Multedo e Prà-Voltri. Si riscontrano anomalie positive anche nell'area del Porto Antico e in quella della Fiera, e in maniera più marcata all'imboccatura di levante del canale di calma dell'aeroporto. Presso Punta Vagno e nella zona davanti alla centrale dell'Enel si notano anomalie negative.
- In estate si riscontrano anomalie leggermente negative o vicine allo zero in quasi tutta la zona portuale, in particolare nella zona antistante la centrale dell'Enel.
- In autunno si riscontrano anomalie negative o vicine allo zero in quasi tutta l'area, fatta eccezione per la zona del canale di Prà dove si riscontrano anomalie positive.



L'analyse des principales composantes a montré que les sites peuvent être classés, et donc regroupés, sur la base de la qualité de l'eau, définie comme une combinaison linéaire des

concentrations des paramètres contrôlés ; cette classification peut être interprétée géographiquement, en fonction de la proximité des principales sources ponctuelles, telles que les embouchures des ruisseaux, les épurateurs et la zone industrielle, et de la proximité des embouchures des ports.

Dans la zone portuaire, qui s'étend de l'embouchure du Bisagno à l'embouchure de la Polcevera, les stations les plus internes situées au niveau des principales sources terrestres civiles, comme la station d'épuration, sont caractérisées par de faibles concentrations d'oxygène dissous, un faible pH et une turbidité élevée. Les stations situées à l'embouchure de la rivière Polcevera sont caractérisées par une salinité et un potentiel Red-Ox plus faibles.

Les stations les plus influencées par la mer ouverte sont caractérisées par une diminution de la turbidité et une augmentation de la salinité et de l'oxygène. Toujours dans le bassin de Multedo, les stations intérieures aux principaux apports côtiers se regroupent, et les autres stations se répartissent en suivant le gradient interne-externe du bassin, avec une turbidité décroissante et un oxygène dissous croissant. Les stations situées en face de Voltri, à l'extérieur de l'entrée du port, sont caractérisées par une augmentation de la salinité et de l'oxygène et une diminution de la turbidité. Les stations plus proches de la piste de l'aéroport, donc plus influencées par l'eau douce provenant de la Polcevera, présentent des valeurs de salinité et de pH plus faibles.

Afin de mieux mettre en évidence la présence de certaines différences dans les résultats de la surveillance de l'année 2017 par rapport aux années précédentes, les distributions spatiales des anomalies saisonnières des paramètres, calculées par rapport aux données 1998-2016, sont rapportées. Pour les valeurs de pH, Red-Ox et turbidité, les anomalies ont été calculées par rapport aux données 2013-2016. La comparaison des anomalies saisonnières avec l'évolution des principaux paramètres météorologiques au cours de la période en question indique que la variabilité interannuelle peut être en partie attribuée à la quantité et à la distribution temporelle des précipitations annuelles, à la température atmosphérique et au régime des vents.

En ce qui concerne la variabilité temporelle, des anomalies ont été calculées entre les valeurs de 2017 et la moyenne entre 1998-2016 pour tous les paramètres chimico-physiques et biologiques. Les résultats sont présentés ci-dessous.

En analysant les anomalies de la température de l'eau (Fig. 6), nous pouvons constater que :

- En hiver, on trouve des anomalies positives ou proches de zéro dans toute la zone des bassins de Multedo et de Prà-Voltri, dans la zone allant de la calata delle Grazie à Punta Vagno et à l'embouchure de la Polcevera. Des anomalies négatives sont trouvées à l'intérieur du Porto Antico et dans la zone située en face de la centrale électrique d'Enel.
- Au printemps, on trouve des anomalies positives ou proches de zéro dans l'ensemble des bassins de Multedo et de Prà-Voltri. On observe également des anomalies positives dans les zones de Porto Antico et de Fiera, et de manière plus marquée à l'embouchure orientale du canal calme de l'aéroport. Il existe des anomalies négatives à Punta Vagno et dans la zone située devant la centrale électrique d'Enel.
- En été, les anomalies sont légèrement négatives ou proches de zéro dans la quasi-totalité de la zone portuaire, en particulier dans la zone située devant la centrale électrique d'Enel.
- En automne, les anomalies sont négatives ou proches de zéro dans presque toute la zone, à l'exception de la zone du canal de Prà, où les anomalies sont positives.

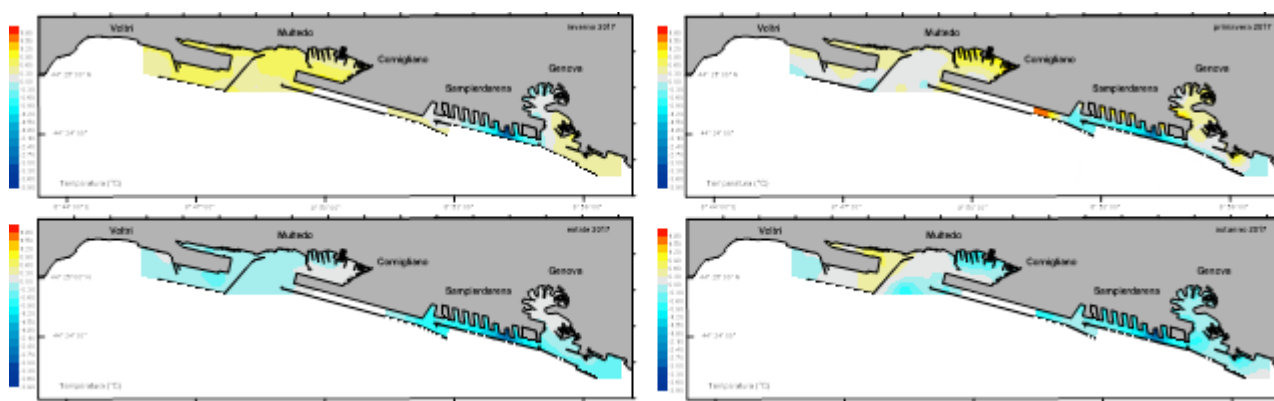


Fig. 6: Distribuzione delle anomalie della temperatura del 2017 rispetto al periodo 1998-2016.

Fig. 6. Distribution des anomalies de température en 2017 par rapport à 1998-2016.



Analizzando le anomalie della salinità (Fig. 7) possiamo notare che:

- In inverno si sono riscontrate anomalie positive in quasi tutta l'area portuale, in maniera più marcata alla foce del Torrente Polcevera. Nell'area del Terminal traghetti si trovano anomalie leggermente negative.
- In primavera si notano anomalie positive o intorno allo zero in tutto il porto. Nelle zone più influenzate da apporti di acque dolci, cioè la foce del Polcevera, nel Porto Antico e la foce del Chiaravagna le anomalie sono marcatamente superiori alla media.
- In estate le anomalie sono positive o intorno allo zero in tutta l'area, in particolare nella la zona della Darsena Municipale si notano anomalie marcatamente positive.
- In autunno quasi tutta la zona è interessata da anomalie positive o intorno allo zero, in particolare alla foce del Polcevera, nella zona del Porto Antico le anomalie e alla foce del Chiaravagna sono marcatamente positive.



En analysant les anomalies de salinité (Fig. 7), nous pouvons constater que :

- En hiver, des anomalies positives ont été relevées dans la quasi-totalité de la zone portuaire, de manière plus marquée à l'embouchure du fleuve Polcevera. Des anomalies légèrement négatives sont constatées dans la zone de la gare maritime.
- Au printemps, les anomalies sont positives ou proches de zéro sur l'ensemble du port. Dans les zones les plus influencées par les apports d'eau douce, c'est-à-dire l'embouchure de la Polcevera, le Vieux Port et l'embouchure de la Chiaravagna, les anomalies sont nettement supérieures à la moyenne.
- En été, les anomalies sont positives ou proches de zéro dans toute la zone, avec des anomalies nettement positives dans la zone du quai municipal en particulier.
- En automne, presque toute la zone présente des anomalies positives ou proches de zéro, en particulier à l'embouchure de la Polcevera, dans la zone de Porto Antico et à l'embouchure de la Chiaravagna, les anomalies sont nettement positives.

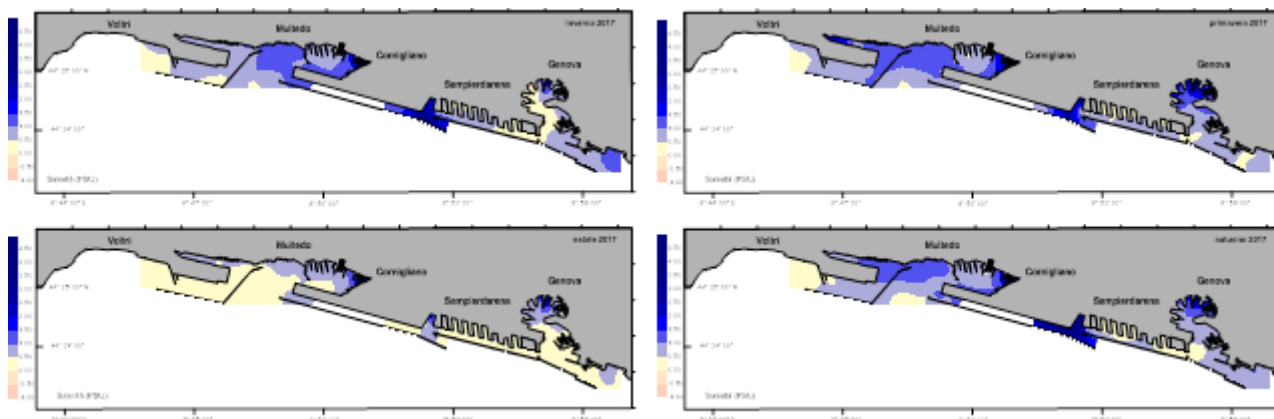


Fig. 7: Distribuzione delle anomalie della salinità del 2017 rispetto al periodo 1998-2016.

Fig. 7 : Distribution des anomalies de salinité en 2017 par rapport à 1998-2016.



Considerando l'ossigeno disciolto, espresso come anomalia della percentuale di saturazione, possiamo evidenziare (Fig. 8):

- In inverno sono presenti anomalie positive nei bacini di Miltedo e Voltri-Prà. Nel bacino di Genova le anomalie sono negative o prossime allo zero, nella zona del Porto Antico si trovano valori molto inferiori alla media.
- In primavera si notano anomalie positive alla foce del Chiaravagna e in quasi tutto il bacino di Genova. Nelle restanti zone dei bacini di Miltedo e Voltri-Prà e nella zona di Punta Vagno le anomalie sono negative.
- In estate si riscontrano anomalie leggermente positive o prossime allo zero in quasi tutta nei bacini di Miltedo e Voltri-Prà. Presso la foce del Polcevera e la zona di Punta Vagno le anomalie sono positive. Nella zona del Porto Antico si notano anomalie negative, nelle restanti zone del bacino di Genova si hanno anomalie prossime allo zero.
- In autunno si notano anomalie positive in tutta l'area portuale, fatta eccezione per la foce del Polcevera dove si notano anomalie leggermente negative.



Si l'on considère l'oxygène dissous, exprimé comme anomalie du pourcentage de saturation, nous pouvons mettre en évidence (Fig. 8)

- En hiver, des anomalies positives sont présentes dans les bassins de Miltedo et de Voltri-Prà. Dans le bassin de Gênes, les anomalies sont négatives ou proches de zéro, et dans la zone de Porto Antico, les valeurs sont très inférieures à la moyenne.

Prodotto - Livrable T3.1.1

- Des anomalies positives sont trouvées au printemps à l'embouchure de la rivière Chiaravagna et dans presque tout le bassin de Gênes. Dans les autres zones des bassins de Multedo et Voltri-Prà et dans la zone de Punta Vagno, les anomalies sont négatives.
- En été, les anomalies sont légèrement positives ou proches de zéro dans la quasi-totalité des bassins de Multedo et de Voltri-Prà. A l'embouchure de la rivière Polcevera et dans la zone de Punta Vagno, les anomalies sont positives. Des anomalies négatives sont notées dans la zone de Porto Antico, tandis que les autres zones du bassin de Gênes présentent des anomalies proches de zéro.
- En automne, des anomalies positives sont enregistrées dans toute la zone portuaire, à l'exception de l'embouchure de la Polcevera, où des anomalies légèrement négatives sont enregistrées.

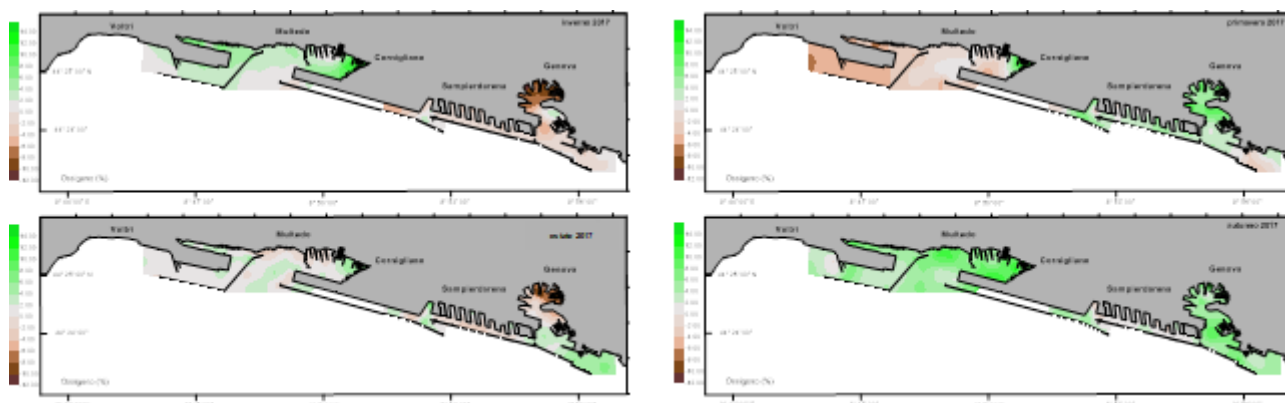


Fig. 8: Distribuzione delle anomalie dell'ossigeno disciolto del 2017 rispetto al periodo 1998-2016.
 Fig. 8. Distribution des anomalies d'oxygène dissous en 2017 par rapport à la période 1998-2016.



Considerando le anomalie della clorofilla-a (Fig. 9) possiamo osservare:

- In inverno le anomalie sono prossime allo zero o leggermente positive in tutta l'area portuale.
- In primavera si riscontrano anomalie prossime allo zero o leggermente positive nei bacini di Multedo e Voltri-Prà e nella zona compresa tra Punta Vagno e il Porto Antico. All'imboccatura del bacino di Multedo e nella zona da Sampierdarena alla foce del Polcevera si evidenziano anomalie marcatamente positive.

- In estate, in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie prossime allo zero. Solo alla foce del Chiaravagna e nella zona del Porto Antico si evidenziano anomalie negative.
- In autunno le anomalie sono positive o prossime allo zero in tutta la zona portuale.



En considérant les anomalies de la chlorophylle-a (Fig. 9), nous pouvons observer :

- En hiver, les anomalies sont proches de zéro ou légèrement positives sur l'ensemble de la zone portuaire.
- Au printemps, anomalies proches de zéro ou légèrement positives dans les bassins de Multedo et Voltri-Prà et dans la zone comprise entre Punta Vagno et le Porto Antico. Il existe des anomalies nettement positives à l'embouchure du bassin de Multedo et dans la zone allant de Sampierdarena à l'embouchure de Polcevera.
- En été, des anomalies proches de zéro sont enregistrées dans la quasi-totalité de la zone portuaire. Seules l'embouchure de la rivière Chiaravagna et la zone de Porto Antico présentent des anomalies négatives.
- En automne, les anomalies sont positives ou proches de zéro dans toute la zone portuaire.

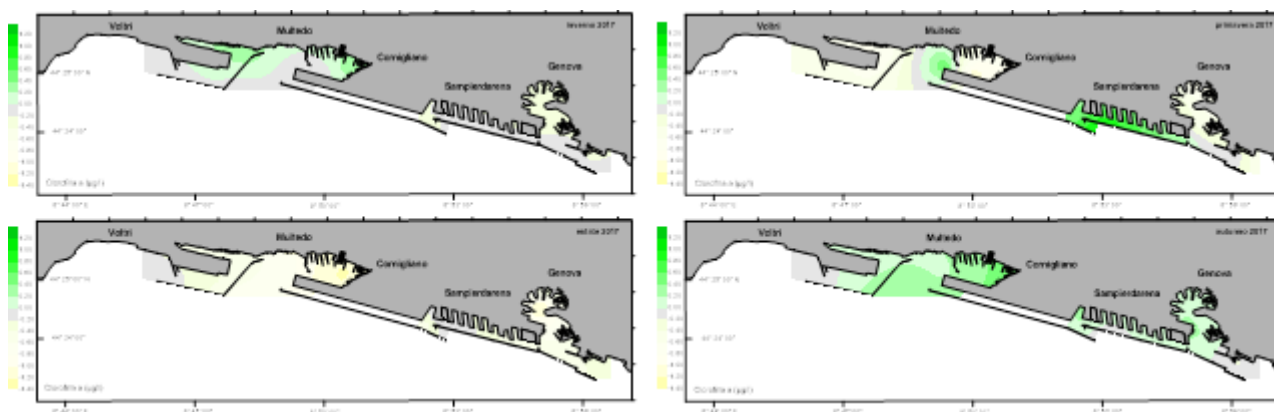


Fig. 9: Distribuzione delle anomalie della clorofilla-a del 2017 rispetto al periodo 1998-2016.

Fig. 9 : Distribution des anomalies de la chlorophylle-a en 2017 par rapport à 1998-2016



Analizzando le anomalie dell'ammoniaca (Fig. 10) possiamo notare:

- In inverno le anomalie sono negative o prossimo allo zero in tutta l'area portuale. In particolare le anomalie sono più marcatamente negative alle foci del Chiaravagna e del Polcevera e nella zona del Porto Antico.
- In primavera le anomalie sono negative o prossimo allo zero in tutta l'area portuale. In particolare le anomalie sono marcatamente negative alle foci del Chiaravagna e del Polcevera e nella zona del Porto Antico.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area portuale. Nel bacino di Voltri e all'imboccatura del Porto Antico si trovano anomalie leggermente positive.
- In autunno in tutta l'area le anomalie sono negative.



L'analyse des anomalies de l'ammoniac (Fig. 10) nous permet de constater :

- En hiver, les anomalies sont négatives ou proches de zéro sur l'ensemble de la zone portuaire. En particulier, les anomalies sont plus nettement négatives à l'embouchure des rivières Chiaravagna et Polcevera et dans la zone de Porto Antico.
- Au printemps, les anomalies sont négatives ou proches de zéro dans toute la zone portuaire. En particulier, les anomalies sont nettement négatives à l'embouchure des rivières Chiaravagna et Polcevera et dans la zone de Porto Antico.
- En été, les anomalies sont négatives ou proches de zéro dans toute la zone portuaire. Il existe des anomalies légèrement positives dans le bassin de Voltri et à l'entrée du Vieux Port.
- En automne, les anomalies sont négatives dans toute la zone.

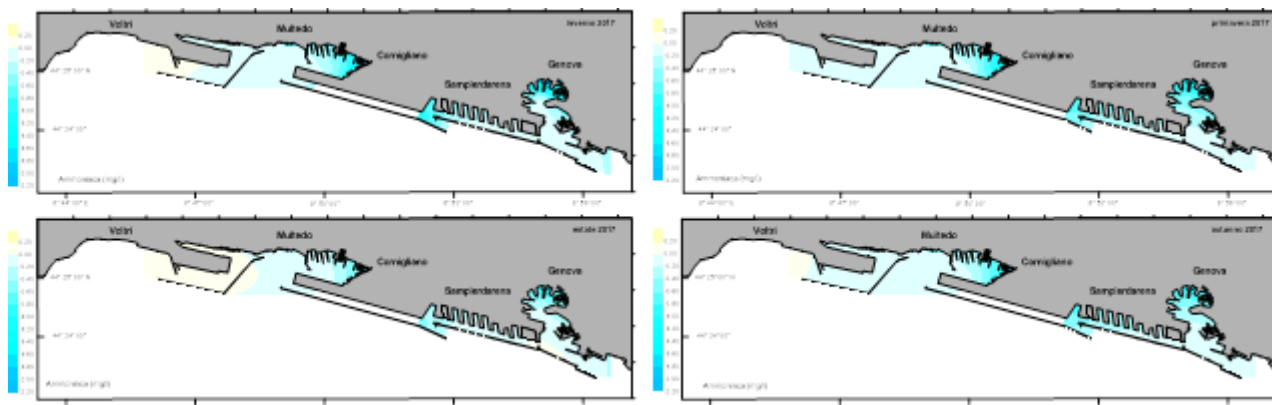


Fig. 10: Distribuzione delle anomalie dell'ammoniaca del 2017 rispetto al periodo 1998-2016.

Fig. 9 : Distribution des anomalies l'ammoniac en 2017 par rapport à 1998-2016



Analizzando la concentrazione di coliformi fecali (Fig. 11) possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono positive in quasi tutta l'area. Alla foce del Chiaravagna si notano anomalie negative.
- In primavera le anomalie sono leggermente positive o prossime allo zero in quasi tutta l'area del bacini di Multedo e Voltri-Prà, fatta eccezione per la zona della foce del Chiaravagna dove si notano anomalie negative. In tutto il bacino di Genova si trovano anomalie positive.
- In estate le anomalie sono leggermente positive o prossime allo zero in quasi tutta l'area del bacini di Multedo e Voltri-Prà, fatta eccezione per la zona della foce del Chiaravagna dove si notano anomalie negative. In tutto il bacino di Genova si trovano anomalie positive.
- In autunno in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive o prossime allo zero, tranne che alla foce del Chiaravagna dove si notano anomalie leggermente negative.



L'analyse de la concentration de coliformes fécaux (Fig. 11) permet de constater que :

- En hiver, les anomalies sont positives dans la quasi-totalité de la zone. Des anomalies négatives sont notées à l'embouchure de la rivière Chiaravagna.
- Au printemps, les anomalies sont légèrement positives ou proches de zéro dans presque tous les bassins de Multedo et Voltri-Prà, à l'exception de l'estuaire de Chiaravagna, où

l'on trouve des anomalies négatives. Des anomalies positives se retrouvent dans tout le bassin de Gênes.

- En été, les anomalies sont légèrement positives ou proches de zéro dans la quasi-totalité des bassins de Multedo et Voltri-Prà, à l'exception de la zone de l'embouchure de Chiaravagna, où l'on trouve des anomalies négatives. Des anomalies positives se retrouvent dans tout le bassin de Gênes.
- En automne, la quasi-totalité de la zone portuaire présente des anomalies positives ou proches de zéro, à l'exception de l'embouchure du fleuve Chiaravagna, où l'on trouve des anomalies légèrement négatives.

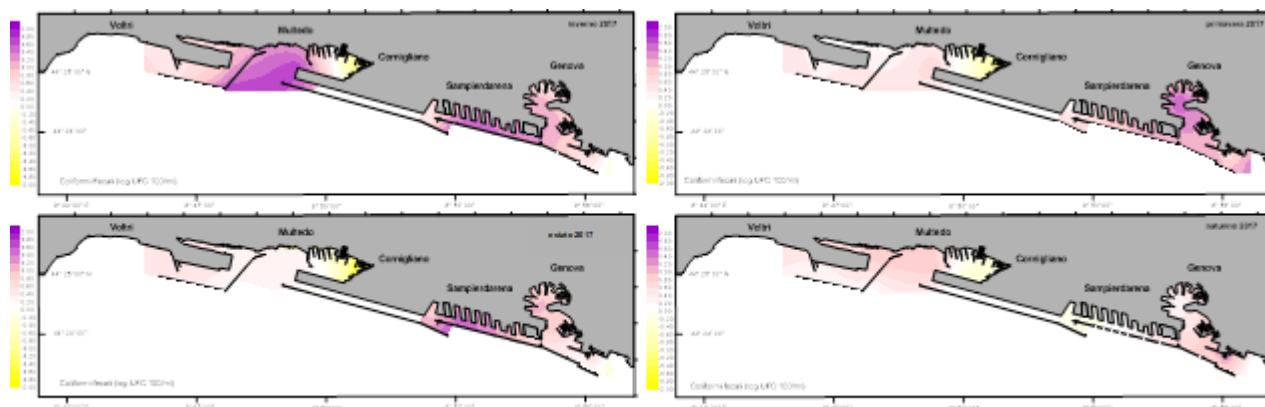


Fig. 11: Distribuzione delle anomalie dei coliformi fecali del 2017 rispetto al periodo 1998-2016.
 Fig. 11 : Distribution des anomalies de coliformes fécaux en 2017 par rapport à 1998-2016.



Analizzando i valori di pH (Fig. 12) possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area portuale.
- In primavera le anomalie sono leggermente positive e prossime allo zero in quasi tutta l'area. Nella zona di Punta Vagno si trovano anomalie negative.
- In estate le anomalie sono negative in quasi tutta la zona portuale.
- In autunno in quasi tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive.



En analysant les valeurs de pH (Fig. 12), nous pouvons constater que :

- En hiver, les anomalies sont négatives sur l'ensemble de la zone portuaire.
- Au printemps, les anomalies sont légèrement positives et proches de zéro dans presque toute la zone. Des anomalies négatives sont trouvées dans la zone de Punta Vagno.

- En été, les anomalies sont négatives dans la quasi-totalité de la zone portuaire.
- En automne, des anomalies positives sont constatées dans la quasi-totalité de la zone portuaire.

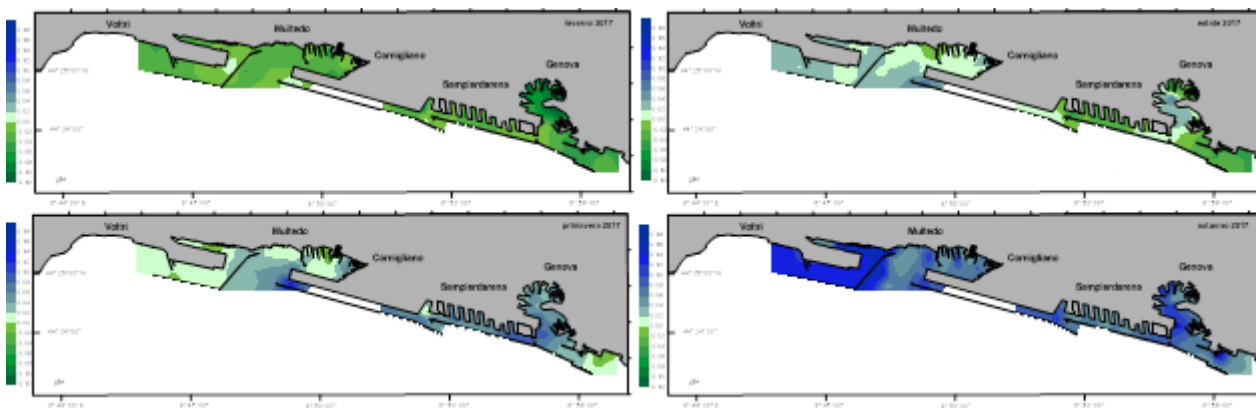


Fig. 12: Distribuzione delle anomalie del pH del 2017 rispetto al periodo 2013-2016.
 Fig. 12 : Distribution des anomalies de pH en 2017 par rapport à 2013-2016.



Analizzando i valori di Red-Ox (Fig. 13) possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In primavera le anomalie sono positive in tutta la zona portuale.
- In estate le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In autunno in tutta l'area portuale si riscontrano anomalie positive o prossime allo zero.



En analysant les valeurs de Red-Ox (Fig. 13), nous pouvons constater que :

- En hiver, les anomalies sont négatives dans toute la zone.
- Au printemps, les anomalies sont positives sur l'ensemble de la zone portuaire.
- En été, les anomalies sont négatives sur l'ensemble de la zone.
- En automne, les anomalies sont positives ou proches de zéro dans toute la zone portuaire.

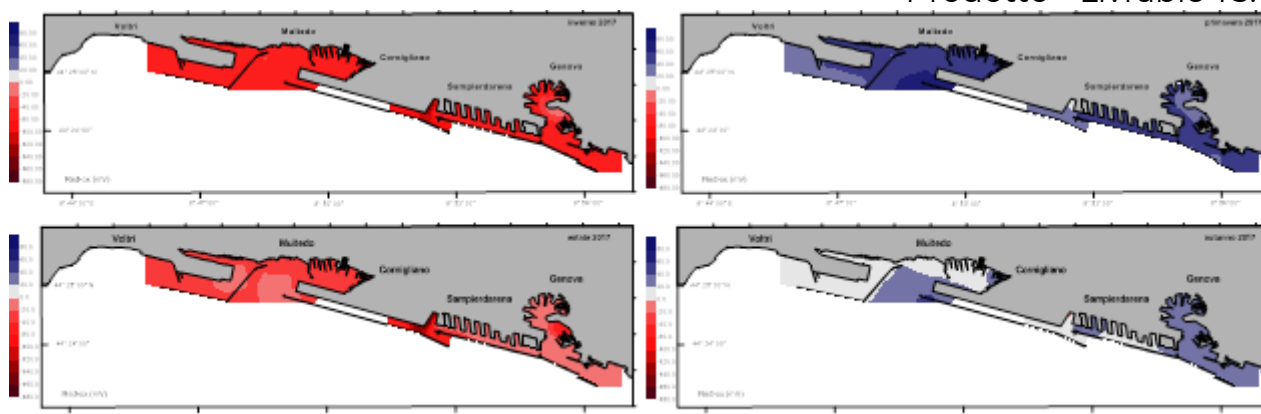


Fig. 13: Distribuzione delle anomalie del potenziale Red-Ox del 2017 rispetto al periodo 2013-2016.
 Fig. 13 : Distribution des anomalies potentielles de Red-Ox en 2017 par rapport à 2013-2016.



Analizzando i valori di torbidità (Fig. 14) possiamo evidenziare che:

- In inverno le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In primavera le anomalie sono negative in tutta l'area.
- In estate le anomalie sono negative o prossime allo zero in tutta l'area.
- In autunno in tutta l'area portuale si riscontrano anomalie negative.



En analysant les valeurs de turbidité (Fig. 14), nous pouvons constater que :

- En hiver, les anomalies sont négatives dans toute la zone.
- Au printemps, les anomalies sont négatives dans toute la zone.
- En été, les anomalies sont négatives ou proches de zéro dans toute la zone.
- En automne, des anomalies négatives sont enregistrées dans toute la zone portuaire.

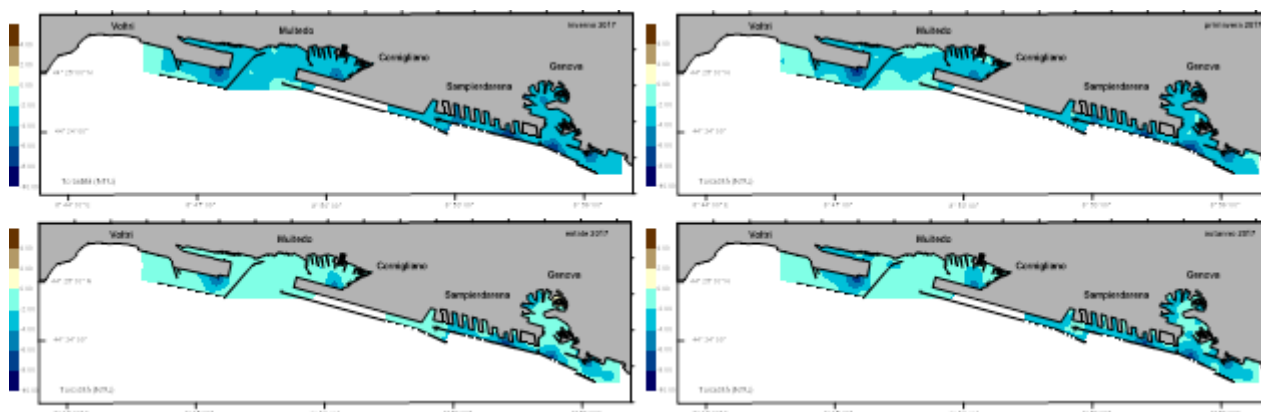


Fig. 14: Distribuzione delle anomalie della torbidità del 2017 rispetto al periodo 2013-2016.
 Fig. 14 : Distribution des anomalies de turbidité en 2017 par rapport à 2013-2016.



Oltre allo studio della variabilità dell'anno 2017 rispetto agli anni precedenti, si è analizzata la variabilità spaziale all'interno dell'area portuale considerando i dati del solo 2107 (Fig. 15) utilizzando le distribuzioni dei dati, in maniera da evidenziare a livello qualitativo la presenza di gradienti di concentrazione.

La distribuzione della temperatura evidenzia una distribuzione dei valori abbastanza omogenea, con valori leggermente maggiori nelle zone più confinate; in particolare, si nota come le temperature nella parte più interna del bacino di Multedo siano leggermente maggiori con gradiente in diminuzione verso l'esterno. Una situazione opposta si evidenzia invece presso il Porto Antico, dove sono presenti valori leggermente inferiori e un gradiente a salire verso l'esterno. Le stazioni poste in corrispondenza dello scarico dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica dell'Enel a Sampierdarena, durante il 2017 non si sono distinte per la temperatura più elevata rispetto al resto del bacino, come succedeva negli anni passati.



Outre la variabilité de l'année 2017 par rapport aux années précédentes, la variabilité spatiale au sein de la zone portuaire a été analysée en considérant les données de 2107 uniquement (Fig. 15) en utilisant les distributions des données, afin de mettre en évidence au niveau qualitatif la présence de gradients de concentration.

La distribution de la température montre une distribution assez homogène des valeurs, avec des valeurs légèrement plus élevées dans les zones plus confinées ; en particulier, on peut voir que les températures dans la partie la plus interne du bassin Multedo sont légèrement plus élevées avec un gradient décroissant vers l'extérieur. On observe une situation inverse au Porto Antico, où l'on trouve des valeurs légèrement inférieures et un gradient ascendant vers l'extérieur. Les stations situées en correspondance avec le rejet des eaux de refroidissement de la centrale thermoélectrique Enel de Sampierdarena, au cours de l'année 2017, ne se sont pas distinguées par une température plus élevée par rapport au reste du bassin, comme ce fut le cas les années précédentes.

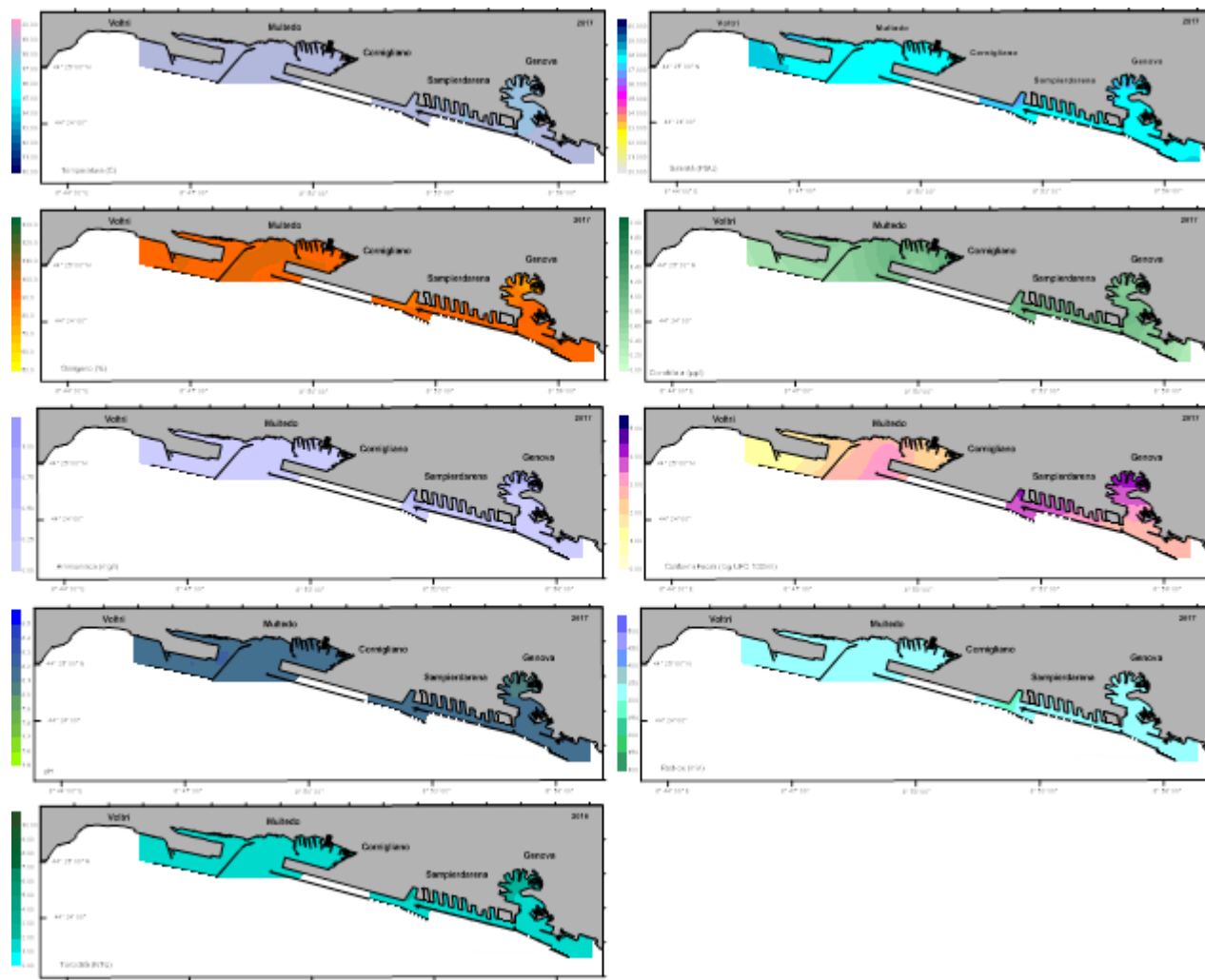


Fig. 15: Variabilità spaziale all'interno dell'area portuale considerando i dati del solo 2107.
 Fig. 15 : Variabilité spatiale dans la zone portuaire en considérant uniquement les données de 2107.



La salinità può essere considerata un tracciante delle immissioni di acque dolci e, infatti, i valori minimi si trovano alla foce del Polcevera, presso il depuratore in Darsena e presso Punta Vagno. La concentrazione dell'ossigeno diminuisce in corrispondenza degli scarichi di acqua dolce da terra (Darsena e foce del Polcevera) mentre risulta piuttosto omogenea nel resto del bacino. I massimi di clorofilla-a, che rappresenta una stima dell'effettivo sviluppo raggiunto dal fitoplancton, sono collocati nella zona della foce del Polcevera, in corrispondenza dei maggiori apporti da terra. Si nota in generale un gradiente decrescente verso le bocche portuali. I massimi relativi di concentrazione di ammoniaca e coliformi fecali, indici di contaminazione antropica, ai quali solitamente corrispondono basse concentrazioni di ossigeno disciolto e

salinità più basse, si trovano in corrispondenza degli scarichi del depuratore in Darsena e in prossimità della foce del Polcevera. A levante, le concentrazioni decrescono man mano che ci si sposta dalla parte più interna dei bacini, maggiormente influenzata dalle immissioni da terra e caratterizzata da basso idrodinamismo, alle bocche del porto.

Per quanto riguarda il pH, si nota come la distribuzione sia piuttosto omogenea, con valori leggermente inferiori soprattutto nelle zone più confinate.

Il potenziale Red-Ox presenta una distribuzione abbastanza uniforme, si nota però come valori un po' più bassi si riscontrano alla foce del Polcevera, zone maggiormente influenzate dagli scarichi antropici.

I massimi valori di torbidità si notano all'interno del Porto Antico e nelle zone interessate da scarichi terrestri, come per esempio la Foce del Polcevera. Probabilmente questi valori sono dovuti al rimescolamento dovuto al passaggio delle navi in queste zone e all'apporto di materiale da terra da parte dei torrenti. Nel resto del bacino i valori risultano essere piuttosto uniformi.

Sulle serie dei dati 1998-2017 (medie annuali) nelle tre aree di studio del progetto è stata eseguita la verifica statistica della presenza di un *trend*, ovvero di una tendenza lineare all'aumento o alla diminuzione di un parametro. Questa è stata effettuata con l'ausilio di test di significatività non parametrici basati sulla statistica della successione dei ranghi di una serie. È stato scelto il test t di Mann-Kendall (Kendall, 1962).

Di seguito vengono riportati i trend per ciascuna stazione e per ogni parametro analizzato.



La salinité peut être considérée comme un traceur des rejets d'eau douce et, en effet, les valeurs les plus basses sont trouvées à l'embouchure de la Polcevera, à la station d'épuration de Darsena et à Punta Vagno.

La concentration d'oxygène diminue au niveau des rejets d'eau douce provenant de la terre (Darsena et embouchure de la Polcevera) alors qu'elle est plutôt homogène dans le reste du bassin.

Les maxima de chlorophylle-a, qui représentent une estimation du développement effectif du phytoplancton, sont situés dans la zone de l'embouchure de la Polcevera, en correspondance

avec les plus grands apports terrestres. En général, on observe un gradient décroissant vers les entrées des ports.

Les concentrations relativement maximales d'ammoniac et de coliformes fécaux, indices de contamination anthropique, qui correspondent généralement à de faibles concentrations d'oxygène dissous et à une salinité plus faible, se trouvent aux sorties de la station d'épuration de la Darsena et près de l'embouchure de la Polcevera. A l'est, les concentrations diminuent au fur et à mesure que l'on se déplace de la partie la plus interne des bassins, qui est plus influencée par les apports terrestres et est caractérisée par un faible hydrodynamisme, vers les embouchures du port.

En ce qui concerne le pH, la distribution est plutôt homogène, avec des valeurs légèrement inférieures, surtout dans les zones plus confinées.

Le potentiel Red-Ox présente une distribution assez uniforme, mais on peut constater que des valeurs légèrement inférieures sont trouvées à l'embouchure de la Polcevera, une zone plus influencée par les rejets anthropiques.

Les valeurs de turbidité les plus élevées se trouvent dans le Porto Antico et dans les zones affectées par les rejets terrestres, comme l'embouchure de la Polcevera. Ces valeurs sont probablement dues au mélange dû au passage des navires dans ces zones et à l'apport de matières terrestres par les cours d'eau. Dans le reste du bassin, les valeurs sont plutôt uniformes.

Les séries de données 1998-2017 (moyennes annuelles) dans les trois zones d'étude du projet ont été vérifiées statistiquement pour la présence d'une tendance, c'est-à-dire une tendance linéaire à la hausse ou à la baisse d'un paramètre. Ceci a été réalisé à l'aide de tests de signification non paramétriques basés sur les statistiques de la séquence des rangs d'une série. Le test t de Mann-Kendall a été choisi (Kendall, 1962).

Les tendances pour chaque station et pour chaque paramètre analysé sont rapportées ci-dessous.

STAZIONE	T	S	O2%	AMM	COLI	CHLA
<i>Porto Antico</i>	/	+	/	-	/	-
<i>Punta Vagno</i>	/	+	/	-	-	-
<i>Foce Polcevera</i>	-	+	+	/	/	/
<i>Foce Chiaravagna</i>	/	+	+	-	-	-



Osservando i dati per ogni singola stazione si può notare:

- Area Porto Antico: c'è un aumento della salinità, ciò può indicare un minor impatto degli scarichi di acqua dolce. Si nota inoltre una diminuzione dell'azoto ammoniacale e della clorofilla, indice di una minor presenza di scarichi antropici. Questa diminuzione è dovuta, probabilmente, allo spostamento verso mare dello scarico del depuratore della Darsena.
- Area Punta Vagno: si nota un aumento della salinità, si nota inoltre una diminuzione della concentrazione dei coliformi fecali, dell'azoto ammoniacale e della clorofilla. Questi trend confermano come questa stazione, essendo la più esterna, sia quella più simile al mare aperto e meno influenzata dai cambiamenti del bacino portuale.
- Area Foce del Polcevera: presenta un aumento della salinità e della percentuale dell'ossigeno disciolto a indicare un miglioramento della salute dell'area. Si nota anche una diminuzione della temperatura.
- Area Foce del Chiaravagna: si nota un aumento della salinità e della percentuale dell'ossigeno disciolto, una diminuzione della concentrazione di azoto ammoniacale e dei coliformi fecali, a indicare un miglioramento della salute dell'area, presumibilmente dovuto ai piani di risanamento ambientali attuati in zona. Si nota inoltre una diminuzione della clorofilla a.

Quasi tutti i trend confermano quelli riscontrati nell'anno precedente.

Per i valori di pH, Red-Ox e torbidità non è stato possibile eseguire il test perché il numero di dati a disposizione non era sufficiente per l'elaborazione.



En regardant les données pour chaque station individuelle, nous pouvons voir :

- Zone du Porto Antico : on observe une augmentation de la salinité, ce qui peut indiquer un impact moindre des rejets d'eau douce. On observe également une diminution de l'azote ammoniacal et de la chlorophylle, ce qui indique une moindre présence de rejets anthropiques. Cette diminution est probablement due au déplacement vers la mer du rejet de la station d'épuration de Darsena.
- Zone de Punta Vagno : une augmentation de la salinité est constatée, ainsi qu'une diminution de la concentration de coliformes fécaux, d'azote ammoniacal et de chlorophylle. Ces tendances confirment que cette station, étant la plus extérieure, est la plus proche de la haute mer et la moins affectée par les changements dans le bassin portuaire.
- Zone Foce del Polcevera : montre une augmentation de la salinité et du pourcentage d'oxygène dissous, indiquant une amélioration de la santé de la zone. On observe également une baisse de la température.
- Zone Foce del Chiaravagna : augmentation de la salinité et du pourcentage d'oxygène dissous, diminution de la concentration d'azote ammoniacal et de coliformes fécaux, ce qui indique une amélioration de la santé de la zone, vraisemblablement due aux plans d'assainissement environnemental mis en œuvre dans la zone. Une diminution de la chlorophylle a est également constatée.

La quasi-totalité des tendances confirme celles constatées l'année précédente.

Les valeurs de pH, Red-Ox et turbidité n'ont pas pu être testées car le nombre de données disponibles était insuffisant pour être traitées.

2.2 Porto di La Spezia / Port de La Spezia

2.2.1 Descrizione del Porto di La Spezia e censimento scarichi presenti / Description du Port de La Spezia et recensement des rejets



Il porto di La Spezia (Liguria – Italia) si affaccia sul Mar Tirreno Settentrionale ed è situato al centro del Golfo di La Spezia, in prossimità del confine con la regione Toscana, e pertanto rientra sotto la gestione dell’Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale, insieme al porto di Marina di Carrara. Grazie alla strategica posizione geografica, è uno dei più importanti scali mercantili del Mediterraneo ed uno dei nodi strategici all’interno della TENT-T Core network, la rete centrale di trasporto trans-europea, quale porto core del Corridoio prioritario Scandinavia - Mediterraneo. Il Porto è parte integrante di un vasto cluster portuale che abbraccia nel suo insieme altri importanti settori dell’economica marittima come la cantieristica, la nautica da diporto, il turismo, l’acquacoltura e rappresenta una delle realtà economiche più significative presenti sul territorio ligure (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale, 2019).

Lo specchio acqueo di ambito portuale si estende per circa 15 km² ed è racchiuso da una diga foranea che delimita tutto il Golfo di La Spezia, allungandosi dall’estremità ovest posta davanti al Comune di Portovenere a quella est posta davanti al Comune di Lerici (Fig. 16). La profondità del fondale nell’area varia da 8m fino a raggiungere circa 14 m, come conseguenza di attività di dragaggio per permettere il passaggio di grosse imbarcazioni.



Le port de La Spezia (Ligurie - Italie) donne sur le nord de la mer Tyrrhénienne et est situé au centre du golfe de La Spezia, près de la frontière avec la région de Toscane. Il relève donc de la gestion de l’Autorité du système portuaire de la mer Ligure orientale, avec le port de Marina di Carrara. Grâce à sa position géographique stratégique, il est l’un des plus importants ports marchands de la Méditerranée et l’un des nœuds stratégiques du réseau TENT-T Core, le réseau central de transport transeuropéen, en tant que port central du corridor prioritaire Scandinavie-Méditerranée. Le port fait partie intégrante d’un vaste cluster portuaire qui englobe d’autres secteurs importants de l’économie maritime tels que la construction navale, la navigation de plaisance, le tourisme, l’aquaculture et représente l’une des réalités

économiques les plus significatives présentes sur le territoire ligure (Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale, 2019).

Le plan d'eau du port s'étend sur environ 15 km² et est entouré d'un brise-lames qui délimite l'ensemble du golfe de La Spezia, s'étendant de l'extrémité ouest devant la municipalité de Portovenere à l'extrémité est devant la municipalité de Lerici (Fig. 16). La profondeur des fonds marins dans la zone varie de 8m à environ 14m, en raison des activités de dragage pour permettre le passage de grands navires.

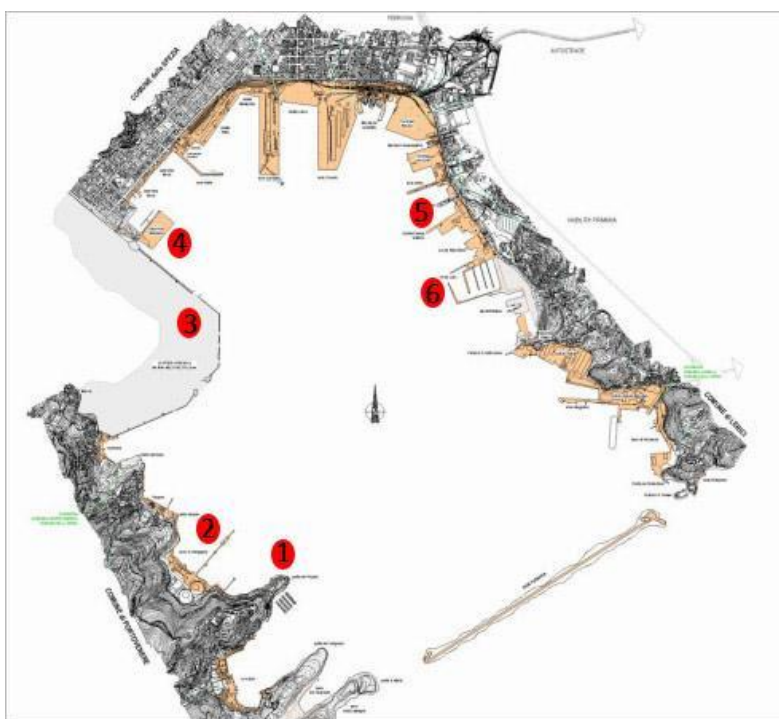


Fig. 16: Mappa del Golfo della Spezia. 1) COM.SUB.IN.; 2) GNL di Panigaglia; 3) Arsenal militare; 4) Porto Mirabello; 5) molo Pagliari; 6) Porto Lotti. (www.informare.it).

Fig. 16 : Carte du golfe de La Spezia. 1) COM.SUB.IN. ; 2) GNL à Panigaglia ; 3) Arsenal militaire ; 4) Porto Mirabello ; 5) Jetée de Pagliari ; 6) Porto Lotti. (www.informare.it).



Nell'area di interesse è evidente la forte presenza della Marina Militare, sia nel comune di Portovenere dove si trova la base COM.SUB.IN del Varignano cui fa seguito il Golfo delle Grazie, sia nella parte più interna del golfo, dove è localizzato l'Arsenale della base navale (Fig. 16). Subito dopo l'Arsenale militare, si colloca il Porto Mirabello, di recente costruzione: nel 2007 iniziano i lavori di bonifica, mentre nel 2008 comincia la costruzione dei moli e l'inaugurazione avviene nel 2010. Porto Mirabello rappresenta l'esempio unico in Italia di marina cittadino

Prodotto - Livrable T3.1.1

realizzato completamente sul mare: una penisola artificiale di 40.000 mq e uno specchio d'acqua per complessivi 270.000, collegato alla città di La Spezia da un ponte pedonale (Fig.16) (ITN Industrie Turistiche Nautiche SpA, 2019). Le installazioni portuali, tipiche di un porto mercantile, sono ben definite e continue nella prima parte, costituite dalle Calate Paita, Malaspina e Artom con i moli Garibaldi e Fornelli (Fig. 17). In particolare, il Porto Commerciale è diviso in tre bacini: nel primo bacino sono ubicati la Capitaneria di Porto, la Dogana, le funzioni commerciali merci varie non containerizzate e le rinfuse, oltre all'accosto misto turistico/peschereccio e servizi portuali; il secondo bacino è delimitato dalla banchina Est del Molo Garibaldi e dalla Calata Artom, entrambe per merci varie non containerizzate, e dalla banchina Ovest del Molo Fornelli, accosto per navi contenitori lo-lo; il terzo bacino è ancora delimitato dal Molo Fornelli a Ovest, ed è adibito all'accosto contenitori. A levante di questa parte le presenze e le utilizzazioni costiere attuali sono frammiste e si individuano: ormeggi di imbarcazioni private, il pontile ENEL (Fig. 17), il terminal ro-ro e il molo Pagliari della Marina Militare (Fig. 16) utilizzato per l'imbarco e lo sbarco di materiali, merci pericolose ed esplosivi di interesse delle navi militari Nazionali/Nato. La zona costiera successiva, da Pagliari a San Bartolomeo e sino all'insenatura della Pertusola, interessata dall'insediamento militare di Mariperman e principalmente utilizzata come zona industriale del porto con presenza di cantieri di riparazione e costruzione navali ed imbarcazioni da diporto (San Marco, Ferretti, Baglietto, Beconcini Fincantieri, Navalmare, ecc.) frammisti ad insediamenti nautici come Porto Lotti (Fig. 16) ed a attività artigianali di riparazione di barche da diporto, nonché ai punti di sbarco di prodotti petroliferi di Pol Nato e Arcola Petrolifera (Autorità Portuale della Spezia, 2010).



La forte présence de la marine italienne est évidente dans la zone d'intérêt, tant dans la municipalité de Portovenere, où se trouve la base COM.SUB.IN de Varignano, puis dans le Golfo delle Grazie, et dans la partie la plus intérieure du golfe, où se trouve la base navale d'Arsenal (Fig. 16). Immédiatement après l'arsenal naval se trouve le Porto Mirabello, récemment construit : les travaux d'assainissement ont commencé en 2007, tandis que la construction des quais a débuté en 2008 et l'inauguration a eu lieu en 2010. Porto Mirabello est le seul exemple en Italie d'un port de plaisance urbain construit entièrement sur la mer : une péninsule

artificielle de 40 000 mètres carrés et un plan d'eau de 270 000, relié à la ville de La Spezia par un pont piétonnier (Fig.16) (ITN Industrie Turistiche Nautiche SpA, 2019). Les installations portuaires, typiques d'un port marchand, sont bien définies et continues dans la première partie, constituée des Calate Paita, Malaspina et Artom avec les jetées Garibaldi et Fornelli (Fig. 17). En particulier, le port de commerce est divisé en trois bassins : dans le premier bassin se trouvent la Capitainerie, la Douane, les fonctions commerciales de marchandises diverses non conteneurisées et de vrac, ainsi que le poste d'amarrage mixte tourisme/trawler et les services portuaires ; le deuxième bassin est délimité par le quai Est de Molo Garibaldi et Calata Artom, tous deux pour les marchandises diverses non conteneurisées, et par le quai Ouest de Molo Fornelli, un poste d'amarrage pour les porte-conteneurs lo-lo ; le troisième bassin est également délimité par Molo Fornelli à l'Ouest, et est utilisé pour l'amarrage des conteneurs. À l'est de cette partie, la présence et les utilisations actuelles de la côte sont mixtes et comprennent : des amarrages pour les navires privés, le quai ENEL (Fig. 17), le terminal roulier et la jetée Pagliari de la marine italienne (Fig. 16) utilisée pour l'embarquement et le débarquement de matériaux, de marchandises dangereuses et d'explosifs intéressant les navires nationaux/militaires nationaux. La zone côtière suivante, de Pagliari à San Bartolomeo et jusqu'à la crique de Pertusola, était affectée par l'établissement militaire de Mariperman et était principalement utilisée comme zone industrielle du port avec des chantiers de réparation et de construction de navires et des bateaux de plaisance (San Marco, Ferretti, Baglietto, Beconcini Fincantieri, Navalmare, etc.) mélangés à des établissements humains dans la zone. Cette zone est principalement utilisée comme zone industrielle du port avec des chantiers de réparation et de construction de navires et de bateaux de plaisance (San Marco, Ferretti, Baglietto, Beconcini Fincantieri, Navalmare, etc.), ainsi que des établissements nautiques comme Porto Lotti (Fig. 16) et des activités artisanales pour la réparation de bateaux de plaisance, et les points de débarquement des produits pétroliers de Pol Nato et Arcola Petrolifera (Autorité portuaire de La Spezia, 2010).



Fig. 17: Mappa del Porto di La Spezia: 1) calata Paita; 2) Calata Malaspina; 3) Molo Garibaldi; 4) Calata Artom; 5) Molo Fornelli; 6) Terminal Ravano; 7) Terminal del Golfo; 8) Terminal ENEL (Autorità Portuale della Spezia).

Fig. 17 : Carte du port de La Spezia : 1) Calata Paita ; 2) Calata Malaspina ; 3) Molo Garibaldi ; 4) Calata Artom ; 5) Molo Fornelli ; 6) Terminal Ravano ; 7) Terminal del Golfo ; 8) Terminal ENEL (Autorité portuaire de La Spezia).



Sul piano ambientale, sono presenti nell'area alcune opere di elevato impatto, come la centrale ENEL, la discarica collinare di Pitelli, con relativa possibilità di infiltrazione di acque di scolo nella falda del sottosuolo e immissione nelle acque marine del golfo, e il parco boe per scarico Kerosene. Particolare interesse va posto sulla discarica di Pitelli, che rientra nei 14 siti più inquinati d'Italia ed è stata oggetto di diverse procedure d'indagine. Una cattiva gestione del sito, infatti, ha portato all'inquinamento delle acque di falda, dove si trovano metalli pesanti come cadmio, piombo, nichel, mercurio e cromo; anche i suoli ovviamente presentano delle problematiche e gli scavi più recenti di rifiuti hanno portato alla luce la presenza di scarti dell'industria farmaceutica, classificati tossico nocivi, fanghi, ceneri e scorie contenenti metalli pesanti (Regione Liguria, 2018). Inoltre, particolare nota va posta riguardo la presenza del terminal GNL Italia di Panigaglia (Fig. 16), nel comune di Portovenere, dove il metano liquefatto, trasportato via mare dalle speciali navi-cisterna, viene stoccato ed immesso nella rete nazionale dei metanodotti.

Dal punto di vista degli scarichi a mare, nel tratto di costa del porto commerciale compreso tra Calata Artom e il Molo ENEL si riversano quattro rivi cittadini, oltre alle acque di raffreddamento provenienti della Centrale ENEL (Autorità Portuale della Spezia, 2010). Come illustrato in Figura 17 molteplici sono i punti di scarico relativi a attività industriali diversificate, a cui si aggiunge l'unico impianto di depurazione dei reflui urbani degli Stagnoni (Regione Liguria, 2019). È il Canale Melara, caratterizzato da un bacino imbrifero limitato (Fig. 18), che riceve le acque di scarico del depuratore cittadino e la sua foce è posizionata lungo la banchina del terminal Ravano, in prossimità della marina del Canaletto (Autorità Portuale della Spezia, 2015).



D'un point de vue environnemental, la zone compte un certain nombre d'ouvrages à fort impact, tels que la centrale électrique ENEL, la décharge de la colline Pitelli, avec possibilité d'infiltration dans l'aquifère du sous-sol et de déversement dans les eaux marines du Golfe, et le parc de bouées de déversement de kérosène. Une attention particulière doit être accordée à la décharge de Pitelli, qui est l'un des 14 sites les plus pollués d'Italie et a fait l'objet de plusieurs procédures d'enquête. Une mauvaise gestion du site, en effet, a conduit à la pollution des eaux souterraines, où l'on trouve des métaux lourds tels que le cadmium, le plomb, le nickel, le mercure et le chrome ; les sols présentent évidemment aussi des problèmes et les dernières excavations de déchets ont mis en évidence la présence de déchets de l'industrie pharmaceutique, classés comme toxiques nocifs, de boues, de cendres et de scories contenant des métaux lourds (Région Ligurie, 2018). En outre, il convient de souligner la présence du terminal LNG Italia à Panigaglia (Fig. 16), dans la commune de Portovenere, où le méthane liquéfié, transporté par mer par des navires-citernes spéciaux, est stocké et alimente le réseau national de méthanoducs.

Du point de vue des rejets en mer, dans le tronçon de côte du port commercial entre Calata Artom et le quai ENEL, quatre rivières urbaines coulent en plus des eaux de refroidissement provenant de la centrale ENEL (Autorité portuaire de La Spezia, 2010). Comme le montre la figure 17, il existe plusieurs points de rejet liés à des activités industrielles diversifiées, en plus de la seule station d'épuration des eaux usées urbaines de Stagnoni (Regione Liguria, 2019). Il s'agit du Canale Melara, caractérisé par un bassin versant limité (Fig. 18), qui reçoit les eaux

usées de la station d'épuration de la ville et dont l'embouchure est située le long du quai du terminal Ravano, près de la marina Canaletto (Autorité portuaire de La Spezia, 2015).

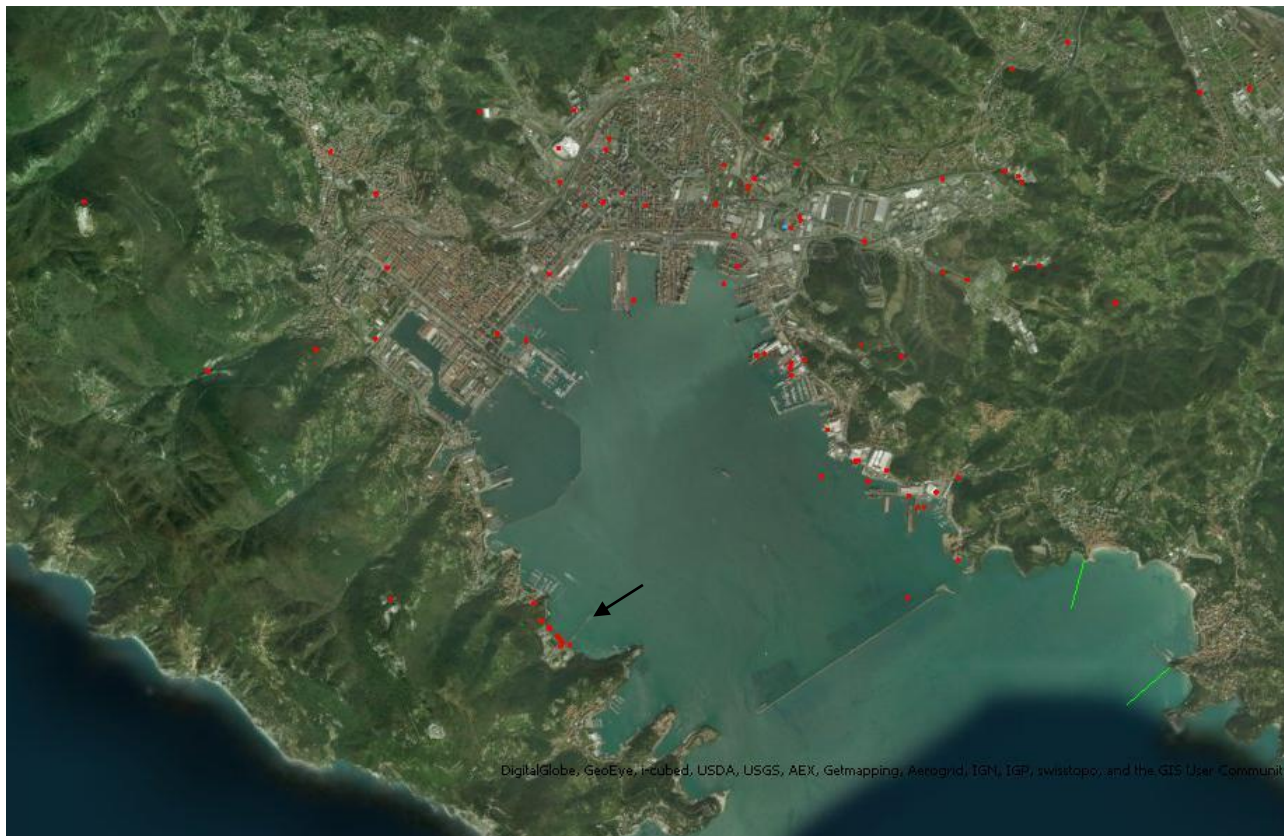


Fig. 18: Porto di La Spezia. I pallini rossi indicano i punti di scarico; la freccia nera indica lo stabilimento GNL di Panigaglia (Regione Liguria, 2019).

Fig. 18 : Port de La Spezia. Les points rouges indiquent les points de rejet ; la flèche noire indique l'usine de GNL de Panigaglia (Regione Liguria, 2019).



Per quanto riguarda la rete idrografica (Fig. 19), numerosi bacini sono identificati nel territorio circostante, di cui la maggior parte presenta scarsa urbanizzazione. Altri, invece, sono degni di nota dal punto di vista della contaminazione ambientale e risultano fortemente urbanizzati: Canale Fossamastra, attraversato in direzione Ovest-Est dalla linea ferroviaria Roma Genova e dall'autostrada A10; Torrente Vecchia Dorgia, Fosso Rossano e Fosso Cappelletto, attraversati dalla ferrovia Roma Genova e, solo gli ultimi due, interessati dall'ex area IP; Canale Lagora, anch'esso attraversato dalla ferrovia Roma Genova, nonché in deplorable condizioni da manutenzione a cui si aggiungono le immissioni in alveo di alcuni scarichi fognari, in parte probabilmente abusivi, e per tale circostanza non depurati o non sufficientemente depurati (Fig. 18)(Regione Liguria, 2018).



En ce qui concerne le réseau hydrographique (Fig. 19), plusieurs bassins sont identifiés dans la zone environnante, dont la plupart sont peu urbanisés. D'autres, en revanche, sont notables du point de vue de la contamination environnementale et sont fortement urbanisés : Canale Fossamastra, traversé en direction ouest-est par la ligne ferroviaire Rome-Gênes et l'autoroute A10 ; Torrente Vecchia Dorgia, Fosso Rossano et Fosso Cappelletto, traversés par la ligne ferroviaire Rome-Gênes et, seulement les deux derniers, concernés par l'ancienne zone IP ; Canale Lagora, également traversé par la voie ferrée Rome-Gênes, ainsi que dans des conditions déplorables d'entretien auxquelles s'ajoutent les apports dans le lit du fleuve de quelques rejets d'eaux usées, en partie probablement illégales, et donc non épurées ou insuffisamment épurées (Fig. 18) (Région Ligurie, 2018).

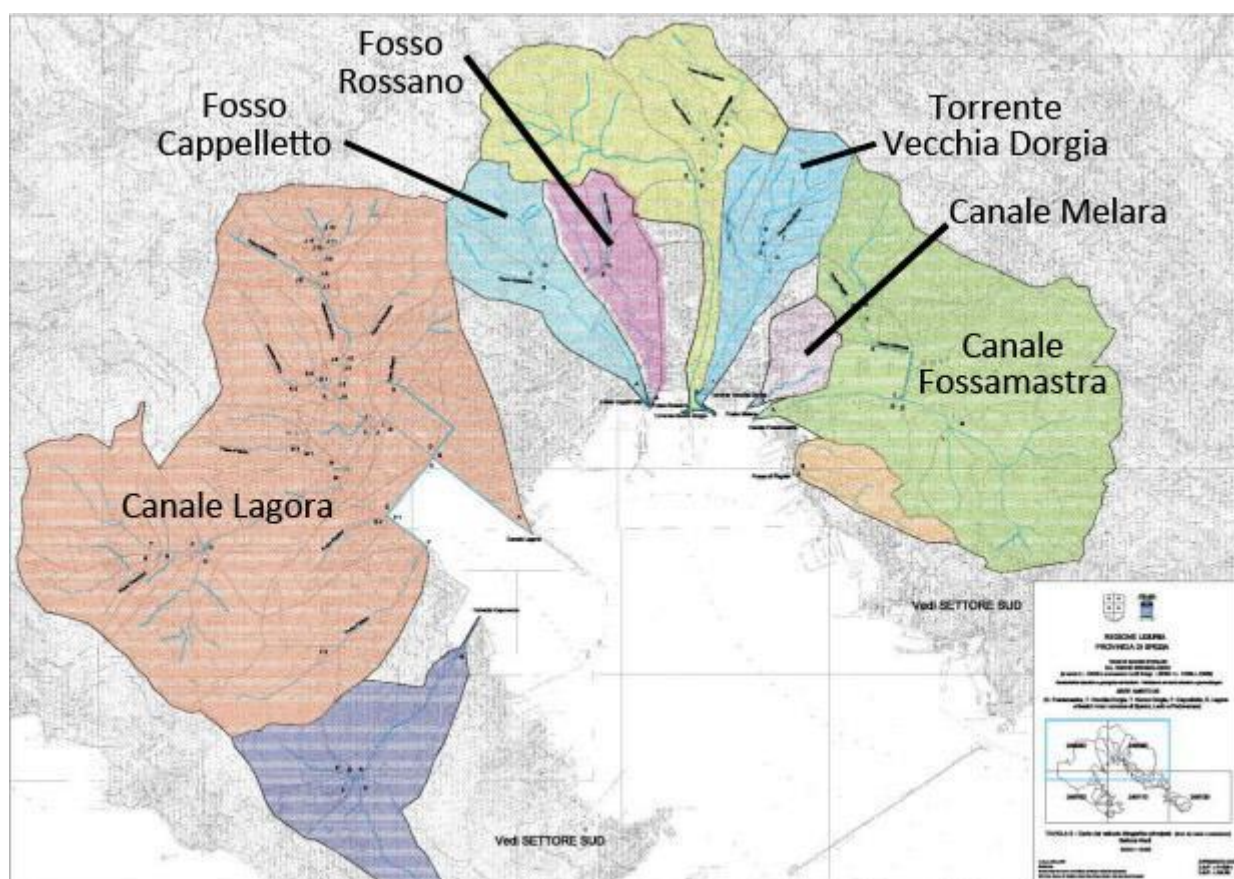


Fig. 19: Bacini imbriferi dei principali corsi d'acqua del Golfo della Spezia (Autorità Portuale della Spezia, 2015).

Fig. 19 : Bassins versants des principaux cours d'eau du golfe de La Spezia (Autorité portuaire de La Spezia, 2015).



Ulteriori attività antropiche di cui è necessario tenere conto sono l'attività di itticultura e molluschicoltura. L'itticultura è praticata in un unico impianto presso la località Le Grazie, mentre diversi vivai adibiti alla molluschicoltura si collocano sia sul versante interno sia sul versante esterno della diga foranea delimitante il Golfo della Spezia (Fig. 20) (ICRAM, 2005).



D'autres activités anthropiques à prendre en compte sont la pisciculture et la conchyliculture. La pisciculture est pratiquée dans une seule usine à Le Grazie, tandis que plusieurs élevages de conchyliculture sont situées sur les côtés intérieur et extérieur de la digue délimitant le golfe de La Spezia (Fig. 20) (ICRAM, 2005).



Fig. 20: Mappa del Golfo della Spezia. Il cerchio indica l'impianto di acquacoltura di Le Grazie; i rettangoli indicano la posizione approssimativa dei vivai di molluschicoltura (Google Earth).
Fig. 20 : Carte du golfe de La Spezia. Le cercle indique l'usine d'aquaculture de Le Grazie ; les rectangles indiquent l'emplacement approximatif des élevages de conchyliculture (Google Earth).



Infine, come già evidenziato per il porto di Genova, un ulteriore impatto ambientale è legato all'intenso traffico navale e a interventi di costruzione, manutenzione e rimessaggio, che provocano il rilascio continuo in ambiente di contaminanti organici, metalli e materiale plastico.



Enfin, comme cela a déjà été souligné pour le port de Gênes, un autre impact environnemental est lié à l'intense trafic maritime et aux opérations de construction, d'entretien et de carénage, qui entraînent le rejet continu de contaminants organiques, de métaux et de matières plastiques dans l'environnement.

2.2.2 Risultati dei monitoraggi ambientali / Résultats des surveillances environnementales



Nel complesso, tutte le attività che hanno insistito e insistono sull'area hanno determinato la contaminazione dei sedimenti marini. I dati pregressi, infatti, indicano una contaminazione elevata e diffusa, dovuta principalmente a metalli pesanti (Pb, Cu, Cd, As), idrocarburi, policlorobifenili e composti organo stannici (ICRAM, 2005). Un'area particolarmente critica è quella della Baia di Pertusola nel Muggiano, dove era in attività l'ex Fonderia Pertusola e pertanto si ritrovano elevate concentrazioni di metalli pesanti, TBT e idrocarburi (ICRAM, 2005). Le azioni di monitoraggio effettuate dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), dall'anno 2006 al 2017, non hanno però evidenziato una conseguente contaminazione della colonna d'acqua, nemmeno in corso di attività di bonifica/dragaggio avvenute in tale periodo, quali: bonifica/dragaggio dei fondali antistanti il Terminal Ravano (2006-2010); attività di bonifica/dragaggio dei fondali antistanti il Bacino di Evoluzione (2013-2014); dragaggio dei fondali antistanti il Molo Garibaldi (2014-2015); dragaggio dei fondali antistanti il Molo Fornelli (2015-2016). I parametri misurati sono stati: solidi sospesi, torbidità, concentrazione di metalli (As, Cd, Hg, Pb, Zn, V, Sn), PCB, azoto ammoniacale, azoto nitroso, carbonio organico totale e parametri microbiologici. Per quanto riguarda i solidi sospesi, si è verificato un aumento dal 2006 ad oggi, dovuto all'incremento del traffico navale sia

commerciale che turistico, passando da un valore iniziale medio di circa 5 mg/l a valori medi che si inseriscono nel range 10-15 mg/l; tali valori sono comunque molto bassi e sono risultati costanti nell'ultimo decennio. Parallelamente, i valori di torbidità si collocano intorno a 1 NTU in superficie e 10 NTU sul fondo, ad eccezione di alcuni casi in cui però l'aumento di torbidità non era correlato a un aumento dei solidi sospesi. Relativamente a una possibile contaminazione da metalli, i dati hanno rilevato concentrazioni costanti e molto basse, talvolta addirittura al di sotto del limite di rilevabilità. L'unico metallo che ha presentato concentrazioni variabili è il Hg. I valori rilevati erano comunque generalmente piuttosto bassi, ad eccezione di alcuni campioni prelevati sul fondo, dove si è raggiunto il valore massimo di 1 µg/l; è stato quindi superato il limite SQA-CMA (concentrazione massima ammissibile) che è di 0,07 µg/l. Anche le concentrazioni medie di IPA sono rimaste sempre basse, al di sotto di 0.05 µg/l e, nella maggior parte dei casi, sono risultate anche inferiori al limite di quantificazione. Le concentrazioni dei nutrienti e dei parametri microbiologici sono rimaste molto basse per tutta la durata del monitoraggio e le uniche significative variazioni sono state riscontrate nel periodo invernale in concomitanza di condizioni meteo marine avverse. In merito agli altri parametri non sono state evidenziate variazioni sensibili né valori rilevanti. Infine, è stata condotta un'attività di monitoraggio e controllo sui mitili degli impianti esterni e interni alla diga foranea, che non hanno rilevato concentrazioni dei parametri monitorati meritevoli di particolari attenzioni; infatti i valori misurati sono rimasti sempre molto simili, con variazioni attribuibili alle normali oscillazioni stagionali e fisiologiche degli organismi (ISPRA, 2018).



Dans l'ensemble, toutes les activités qui ont impacté et impactent encore la zone ont entraîné la contamination des sédiments marins. En fait, les données antérieures indiquent une contamination élevée et généralisée, principalement due aux métaux lourds (Pb, Cu, Cd, As), aux hydrocarbures, aux biphényles polychlorés et aux composés organo-stanniques (ICRAM, 2005). Une zone particulièrement critique est la baie de Pertusola à Muggiano, où l'ancienne fonderie de Pertusola était en activité et où l'on trouve donc de fortes concentrations de métaux lourds, de TBT et d'hydrocarbures (ICRAM, 2005). Cependant, les actions de surveillance menées par l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), de 2006 à 2017, n'ont pas montré de contamination conséquente de la colonne d'eau, pas même pendant

les activités d'aménagement/dragage qui ont eu lieu pendant cette période, telles que : aménagement/dragage du fond marin devant le Terminal Ravano (2006-2010) ; aménagement/dragage du fond marin devant le Bassin Evolution (2013-2014) ; dragage du fond marin devant le Molo Garibaldi (2014-2015) ; dragage du fond marin devant le Molo Fornelli (2015-2016). Les paramètres mesurés sont les suivants : matières en suspension, turbidité, concentration de métaux (As, Cd, Hg, Pb, Zn, V, Sn), PCB, azote ammoniacal, azote nitreux, carbone organique total et paramètres microbiologiques. En ce qui concerne les solides en suspension, on constate une augmentation entre 2006 et aujourd'hui, due à l'augmentation du trafic maritime commercial et touristique, d'une valeur moyenne initiale d'environ 5 mg/l à des valeurs moyennes de l'ordre de 10-15 mg/l ; ces valeurs sont toutefois très faibles et constantes au cours de la dernière décennie. Dans le même temps, les valeurs de turbidité se situaient autour de 1 UTN à la surface et de 10 UTN au fond, à l'exception de quelques cas où l'augmentation de la turbidité n'était pas liée à une augmentation des matières en suspension. En ce qui concerne une éventuelle contamination métallique, les données ont montré des concentrations constantes et très faibles, parfois même inférieures au seuil de détection. Le seul métal qui a montré des concentrations variables est le Hg. Cependant, les valeurs mesurées étaient généralement assez faibles, à l'exception de certains échantillons prélevés au fond, où la valeur maximale de 1 µg/l a été atteinte ; la limite EQS-CMA (concentration maximale admissible) de 0,07 µg/l a donc été dépassée. Les concentrations moyennes de HAP sont également restées constamment faibles, inférieures à 0,05 µg/l et, dans la plupart des cas, étaient également inférieures à la limite de quantification. Les concentrations de nutriments et de paramètres microbiologiques sont restées très faibles tout au long de la période de surveillance, les seuls changements significatifs ayant eu lieu pendant la période hivernale, lors de conditions météorologiques maritimes défavorables. Aucune variation ou valeur particulière n'a été trouvée pour les autres paramètres. Enfin, une activité de surveillance et de contrôle a été réalisée sur les moules des installations situées à l'extérieur et à l'intérieur du brise-lames, qui n'a pas révélé de concentrations des paramètres surveillés méritant une attention particulière ; en effet, les valeurs mesurées sont toujours restées très similaires, avec des

variations attribuables aux fluctuations saisonnières et physiologiques normales des organismes (ISPRA, 2018).

2.3 Porto di Olbia

2.3.1 Descrizione del Porto di Olbia e censimento scarichi presenti / Description du Port d'Olbia et recensement des rejets



Il Porto di Olbia si trova nell'omonimo Golfo, che è delimitato a Nord dal Capo Figari ed a Sud dal Capo Ceraso. Il Porto si sviluppa, infatti, all'interno di una Profonda RIAS costiera con un'apertura di circa 200 m e una lunghezza di circa 5 km (Fig. 21).



Le port d'Olbia est situé dans le golfe homonyme, qui est délimité au nord par le cap Figari et au sud par le cap Ceraso. Le port se développe au sein d'une ria côtière profonde avec une ouverture d'environ 200 m et une longueur d'environ 5 km (Fig. 21).



Fig. 21: Area Portuale di Olbia.

Fig. 21: Zone Portuaire d'Olbia.



La morfologia a RIAS è una morfologia costiera caratterizzata da insenature profonde originate da antiche valli fluviali, invase dal mare durante le fasi di risalita degli ultimi 10.000 anni.

Il Porto di Olbia si inserisce nel Sistema portuale di Olbia – Golfo Aranci e vi si identificano due scali principali:

- Porto Commerciale di Olbia – Isola Bianca
- Porto Industriale di Olbia – Scalo Cocciani

Nel primo si registrano perlopiù traffici Ro-Ro e passeggeri, mentre nel secondo vengono principalmente movimentate merci trasportate su navi tipo General Cargo.

Il sistema Portuale di Olbia si estende per circa 4.926.000 m² di cui circa 216.900 m² a terra (Dati Autorità Portuale, 2015). Dati risalenti al 2015 individuano 11 banchine, di cui 9 localizzate allo scalo Isola Bianca e 2 allo scalo Cocciani.

Allo scalo Isola Bianca prevede accosti per le navi Ro Ro, passeggeri e merci, mentre allo scalo Cocciani (Porto Industriale) sono presenti accosti per navi cargo. Inoltre, più internamente nel tessuto cittadino, sono presenti i moli Brin e Molo Vecchio destinati prevalentemente all'ambito commerciale. Nei porticcioli turistici si individuano 5 concessioni (dato 2105): Marina di Olbia (Isola del Cavallo), ACLI, Circolo Nautico Olbia, Lega Navale Italiana e Nuova Stemasub.

All'interno della RIAS che ospita il Porto di Olbia sono presenti estesi spazi di specchio acqueo utilizzati per la mitilicoltura (Fig. 22). Tale attività è presente all'interno del Golfo Di Olbia dagli inizi del 1900. Nella relazione redatta per l'Autorità Portuale di Olbia nel 2008 (Navone et al., 2008) si riscontra una sofferenza del comparto mitilicoltura, indicando come nel 2008 gli ettari occupati da tali impianti siano calati a un numero di circa 100 in confronto ai 223 presenti nei negli anni '70. Tra le cause si individuano problematiche di carattere ambientale, in particolare l'eutrofizzazione, l'infangamento e le tossine algali. La relazione citata identifica quindi come aree critiche quelle in vicinanza delle foci fluviali e gli spazi di manovra delle navi.

La qualità delle acque, fino al 2007, è risultata abbastanza compromessa. Infatti, dalla relazione sulla qualità delle acque realizzata dall'Università di Sassari, si evidenzia come, fino al 2007, il sistema portuale di Olbia fosse caratterizzato da forte eutrofizzazione, con ripercussioni importanti sull'aspetto dell'acqua che presentava elevata torbidità. La stessa relazione indica un mutamento della situazione a partire dal 2007. Infatti, durante tale anno, l'adduzione dei

reflui di Olbia è stata allacciata al nuovo depuratore e questo ha spostato il punto di scarico, dalla parte interna dell'area alle vicinanze della foce del fiume Padrongianus. Il documento evidenzia un dimezzamento delle concentrazioni ma un aumento ed aggravamento delle condizioni trofiche delle acque portuali (Sechi et al., 2008). Tale relazione identifica come critiche le due anse interne della Rias di Olbia.



La ria est une morphologie côtière caractérisée par des baies profondes provenant d'anciennes vallées fluviales, envahies par la mer lors des phases de remontée des eaux des 10 000 dernières années.

Le port d'Olbia fait partie du système portuaire Olbia - Golfo Aranci et compte deux ports d'escale principaux :

Port commercial d'Olbia - Isola Bianca

Port industriel d'Olbia - Escale à Cocciani

Le premier port traite principalement le trafic Ro-Ro et le trafic de passagers, tandis que le second traite principalement les marchandises transportées sur des navires General Cargo.

Le système portuaire d'Olbia couvre une superficie d'environ 4 926 000 m², dont 216 900 m² à terre (données de l'Autorité Portuaire, 2015). Les données de 2015 identifient 11 quais, dont 9 sont situés au terminal d'Isola Bianca et 2 au terminal de Cocciani.

L'escale d'Isola Bianca dispose de postes d'amarrage pour les navires RoRo, les navires à passagers et les navires de charge, tandis que l'escale de Cocciani (Porto Industriale) dispose de postes d'amarrage pour les navires de charge. En outre, plus à l'intérieur du tissu urbain, on trouve les quais Brin et Molo Vecchio, qui sont principalement utilisées à des fins commerciales. Dans les ports touristiques, il y a 5 concessions (données de 2105) : Marina di Olbia (Isola del Cavallo), ACLI, Circolo Nautico Olbia, Lega Navale Italiana et Nuova Stemasub.

Dans la ria qui abrite le port d'Olbia, il existe de vastes zones d'eau utilisées pour la mytiliculture (Fig. 22). Cette activité est présente dans le Golfe d'Olbia depuis le début des années 1900. Le rapport établi pour l'Autorité portuaire d'Olbia en 2008 (Navone et al., 2008) montre que le secteur de la mytiliculture souffre, indiquant qu'en 2008 le nombre d'hectares occupés par les fermes mytilicoles a chuté à environ 100 contre 223 dans les années 1970. Les causes comprennent des problèmes environnementaux, notamment l'eutrophisation, les coulées de

boue et les toxines algales. Le rapport identifie donc comme zones critiques celles situées à proximité des embouchures des rivières et des zones de manœuvre des navires.

Jusqu'en 2007, la qualité de l'eau était assez mauvaise. En effet, le rapport sur la qualité des eaux établi par l'université de Sassari montre que, jusqu'en 2007, le système portuaire d'Olbia était caractérisé par une forte eutrophisation, avec des répercussions importantes sur l'aspect des eaux, qui étaient très turbides. Le même rapport montre un changement de situation à partir de 2007. En effet, au cours de cette année, le système des eaux usées d'Olbia a été raccordé à la nouvelle station d'épuration, ce qui a déplacé le point de rejet de la partie intérieure de la zone vers les environs de l'embouchure du fleuve Padrongianus. Le rapport montre une réduction de moitié des concentrations mais une augmentation et une aggravation des conditions trophiques dans les eaux portuaires (Sechi et al., 2008). Ce rapport identifie les deux anses internes de la ria d'Olbia comme critiques.



Fig. 22: In verde le aree (indicative e senza nessuna valenza giuridica) in cui sono presenti filari di cozze. I limiti sono stati tracciati da foto aerea e servono unicamente per indicare in quali aree della rias si possono trovare i filari di cozze.

Fig. 22 : En vert, les zones (indicatives et sans valeur juridique) où des élevages de moules sont présentes. Les limites ont été dessinées à partir de photographies aériennes et servent uniquement à indiquer dans quelles zones de la ria on peut trouver des rangées de moules.



All'interno del Comune di Olbia sono presenti due depuratori per il trattamento delle acque reflue la cui posizione è mostrata in Figura 23, nonché un impianto per il trattamento dei reflui provenienti dall'aeroporto.



Dans la municipalité d'Olbia, il existe deux stations d'épuration des eaux usées dont l'emplacement est indiqué dans la figure 23, ainsi qu'une station pour le traitement des eaux usées de l'aéroport.

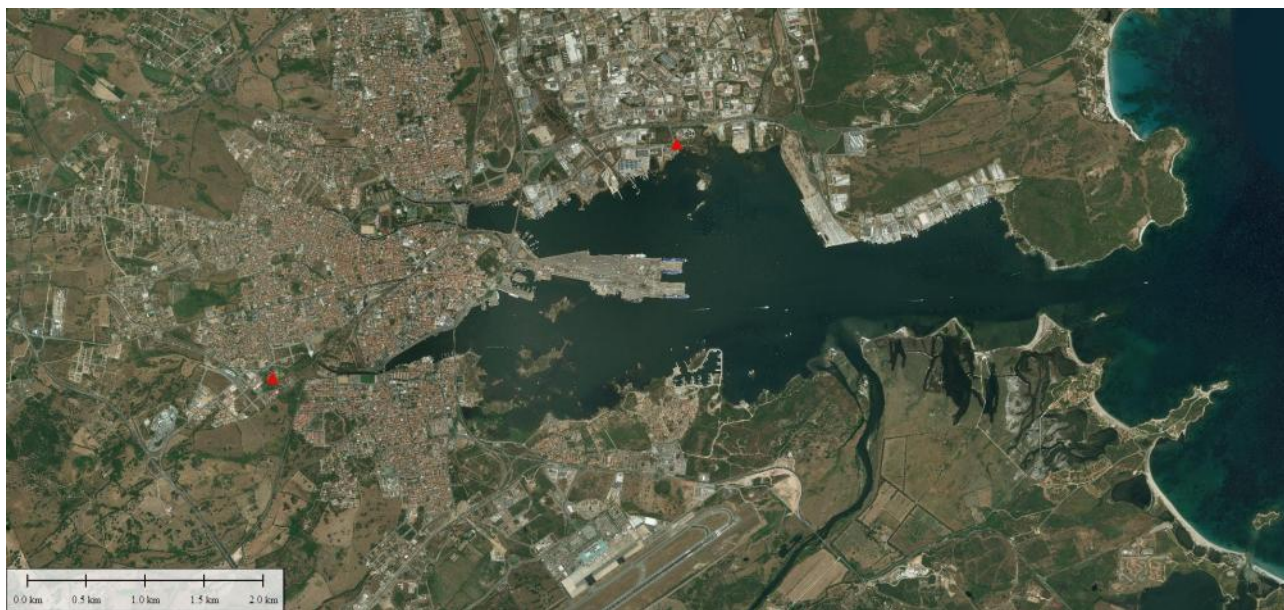


Fig. 23: Posizione dei depuratori all'interno della Rias di Olbia (Dati Geoportale Regione Sardegna).

Fig. 23 : Localisation des épurateurs dans la ria d'Olbia (données Geoportale Regione Sardegna)



Attualmente l'unico direttamente punto di scarico diretto nel Golfo di Olbia è quello dell'Impianto CIPNES, dimensionato per 45000 abitanti equivalenti (prot. 2696 del 04.02.2019 Provincia di Sassari). Lo scarico dell'impianto è localizzato nel settore nord della baia, tra l'area industriale e il Pontile Isola Bianca.

Esiste comunque tutta una serie di piccoli scarichi autorizzati (spesso su ordinanze sindacali) delle quali si mostra una mappa qui sotto (Fig. 24). Il CEDOC (Centro Documentazione dei Bacini Idrografici) della Regione Sardegna ha catalogato tutti gli scarichi presenti nell'abitato di Olbia, sia di natura urbana che scarichi con tipologia non rilevata. In Fig. 24 è riportato un estratto della mappa degli scarichi presenti nel territorio di Olbia, in prossimità del Porto.



Actuellement, le seul point de rejet direct dans le golfe d'Olbia est l'usine CIPNES, dimensionnée pour 45000 équivalents habitants (prot. 2696 du 04.02.2019 Province de Sassari). Le rejet de la

station est situé dans le secteur nord de la baie, entre la zone industrielle et la jetée d'Isola Bianca.

Cependant, il existe toute une série de petits rejets autorisés (souvent sur la base d'arrêtés municipaux) dont une carte est présentée ci-dessous (Fig. 24). Le CEDOC (Centro Documentazione dei Bacini Idrografici) de la région de Sardaigne a répertorié tous les rejets de la zone d'Olbia, qu'il s'agisse de rejets urbains ou de rejets de nature non identifiée. La figure 24 montre un extrait de la carte des rejets dans la zone d'Olbia, près du port.

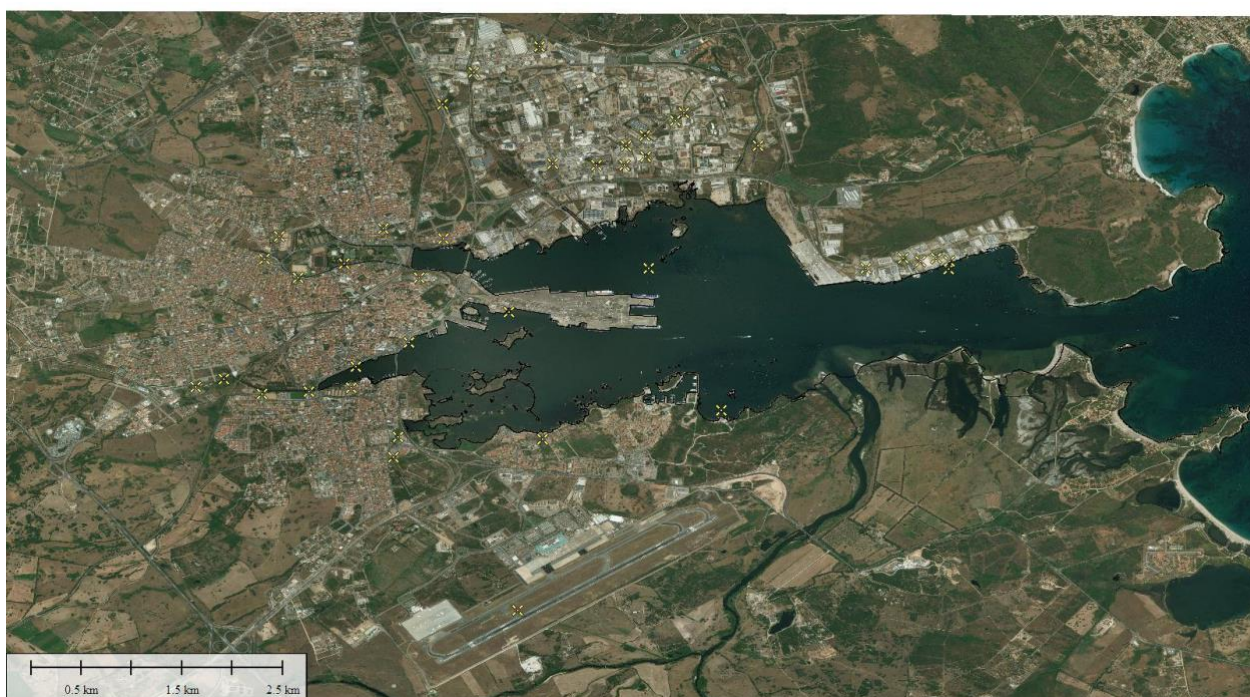


Fig. 24: Scarichi vari, puntini gialli (reflui urbani ed industriali e tipologie non rilevate) (Dati CEDOC Regione Sardegna).

Fig. 24 : Rejets divers, points jaunes (eaux usées urbaines et industrielles) (données CEDOC, Région Sardaigne).



Le acque del Porto di Olbia sono, inoltre, influenzate dai numerosi fiumi e torrenti che sfociano all'interno della RIAS stessa, di cui 4 corsi d'acqua minori e il Fiume Padrongianus (Fig. 24), dove quest'ultimo ha una lunghezza dell'asta fluviale di circa 15 km ed un bacino di circa 450 km² (Fig. 25). Nel Fiume Padrongianus finiscono le acque reflue di due ulteriori impianti di depurazione che sono: l'impianto di acque reflue urbane del Comune di Olbia, sito in loc. Sa Coronedda, e l'impianto di depurazione di acque reflue urbane a servizio dell'aeroporto Costa Smeralda.



Les eaux du port d'Olbia sont également influencées par les nombreux cours d'eau qui se jettent dans la ria elle-même, dont 4 cours d'eau mineurs et le fleuve Padrongianus (Fig. 24), ce dernier ayant une longueur d'axe d'environ 15 km et une superficie de bassin d'environ 450 km² (Fig. 25). Le fleuve Padrongianus est alimenté par les eaux usées de deux autres stations d'épuration : la station d'épuration des eaux usées urbaines de la municipalité d'Olbia, située à Sa Coronedda, et la station d'épuration des eaux usées urbaines desservant l'aéroport de Costa Smeralda.



Fig. 25: Posizione delle Foci Fluviali all'interno della Rias di Olbia (Dati Geoportale Regione Sardegna).
 Fig. 25 : Localisation des embouchures des rivières dans la ria d'Olbia (données du Geoportale Regione Sardegna).

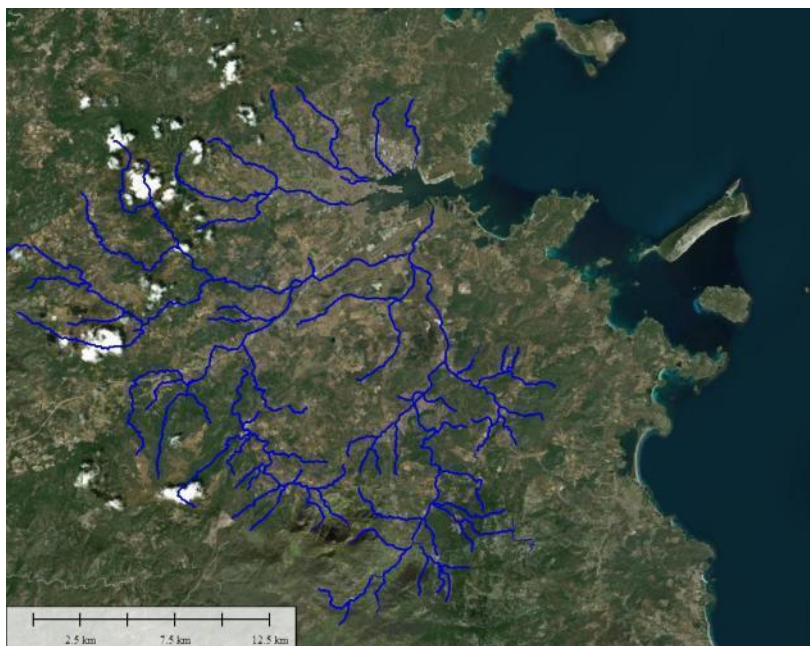


Fig. 26: Aste fluviali dei corsi d'acqua che sfociano nella Rias di Olbia (Dati GEoportale Regione Sardegna).

Fig. 26 : Cours d'eau qui se jettent dans la ria d'Olbia (données GEoportale Regione Sardegna).



Il porto di Olbia, inoltre, ospita una delle Grandi Aree Industriali della Regione Sardegna, che occupa il settore settentrionale nella zona di Cala Saccaia ed è mostrato in Figure 27-28.



Le port d'Olbia abrite également l'une des Grandes Zones Industrielles de la région de Sardaigne, qui occupe le secteur nord de la zone de Cala Saccaia et qui est illustrée dans les figures 27-28.



Fig. 27: Area Industriale del Porto di Olbia (Dati Geoportale Regione Sardegna).

Fig. 27: Zone industrielle du Port d'Olbia (Données Geoportale Regione Sardegna).



Infine, all'interno della Rias di Olbia si trova il Parco Fluviale del Padrongianus, che occupa la foce dell'omonimo fiume (Fig. 28).



Enfin, à l'intérieur de la ria d'Olbia se trouve le parc fluvial Padrongianus, qui occupe l'embouchure de la rivière du même nom (Fig. 28).

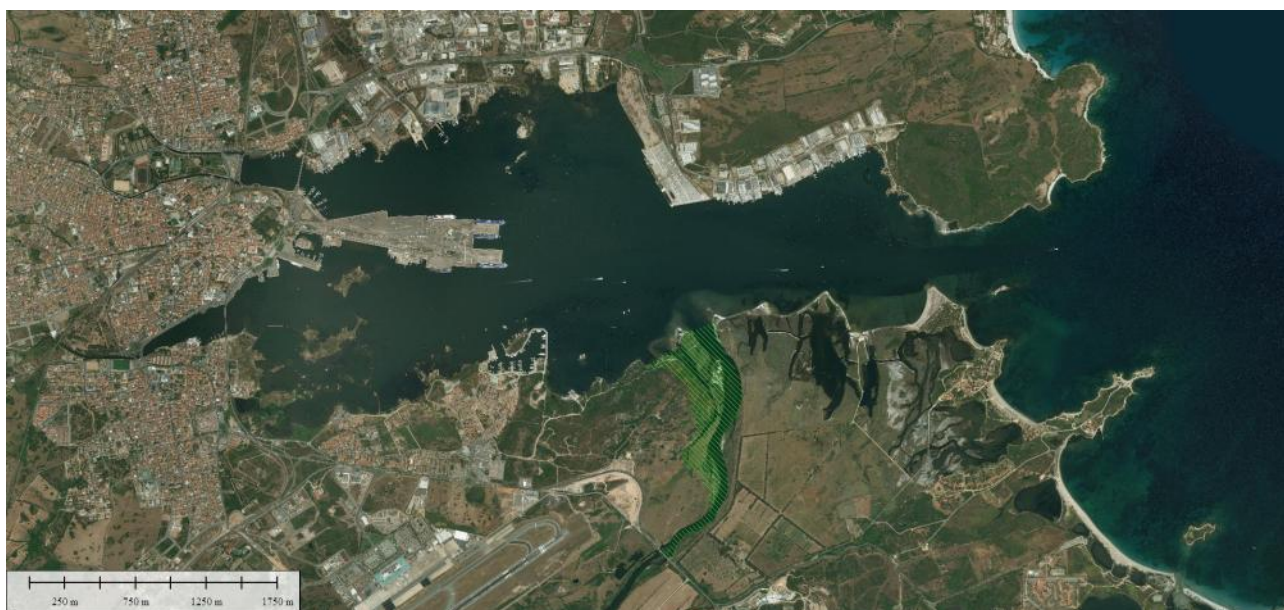


Fig. 28: Area del Parco Fluviale del Padrongianus (Dati Geoportale Regione Sardegna).
Fig. 28: Zone du Parc Fluvial du Padrongianus (Données Geoportale Regione Sardegna).



Da uno studio svolto per la redazione del nuovo piano regolatore del Porto, eseguito dalla società PRAGMA e messo a disposizione dall'Autorità Portuale vengono indicati le principali biocenosi del fondo marino del Porto di Olbia, di seguito illustrate in Fig. 29-30.



Une étude réalisée par la société PRAGMA pour la rédaction du nouveau Plan d'Aménagement Portuaire et mise à disposition par l'Autorité Portuaire montre les principales biocénoses des fonds marins dans le Port d'Olbia, illustrées ci-dessous dans les Fig. 29-30.

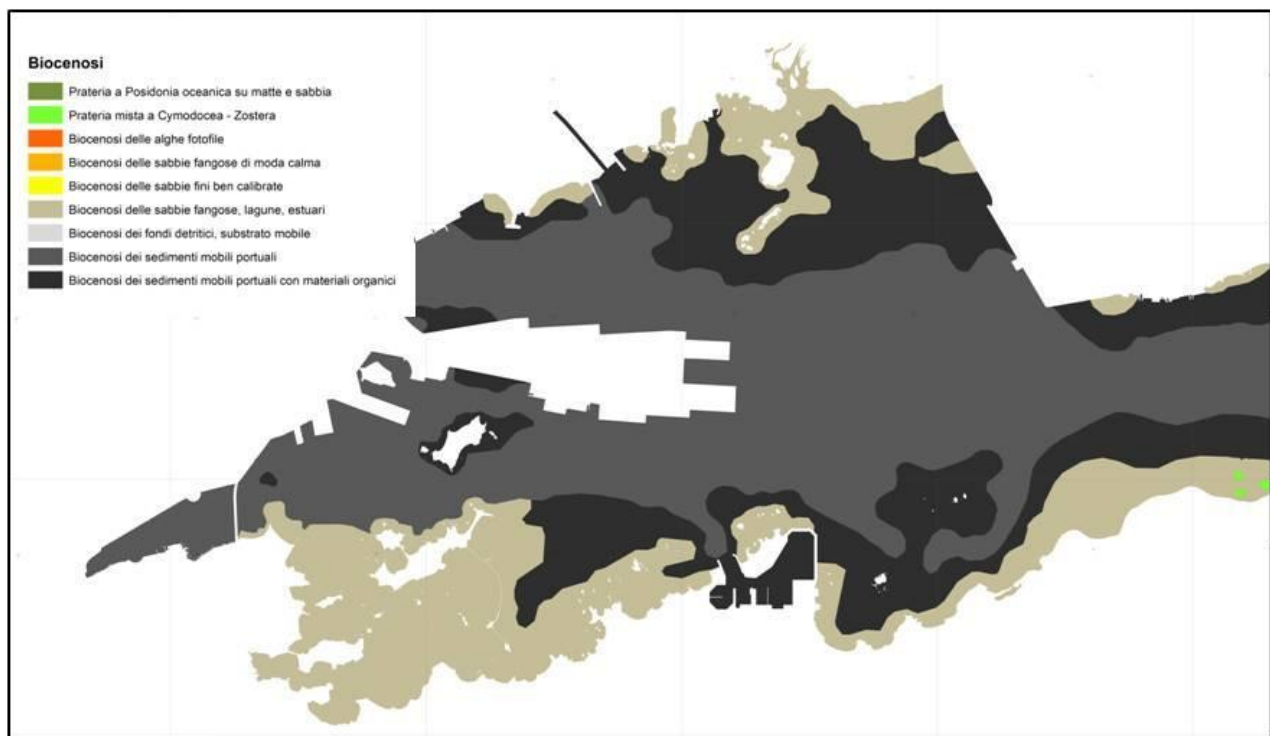


Fig. 29: Biocenosi del fondo marino del porto di Olbia, parte interna (Autorità Portuale 2008).
 Fig. 29 : Biocénoses des fonds marins du port d'Olbia, partie interne (Autorité portuaire 2008).

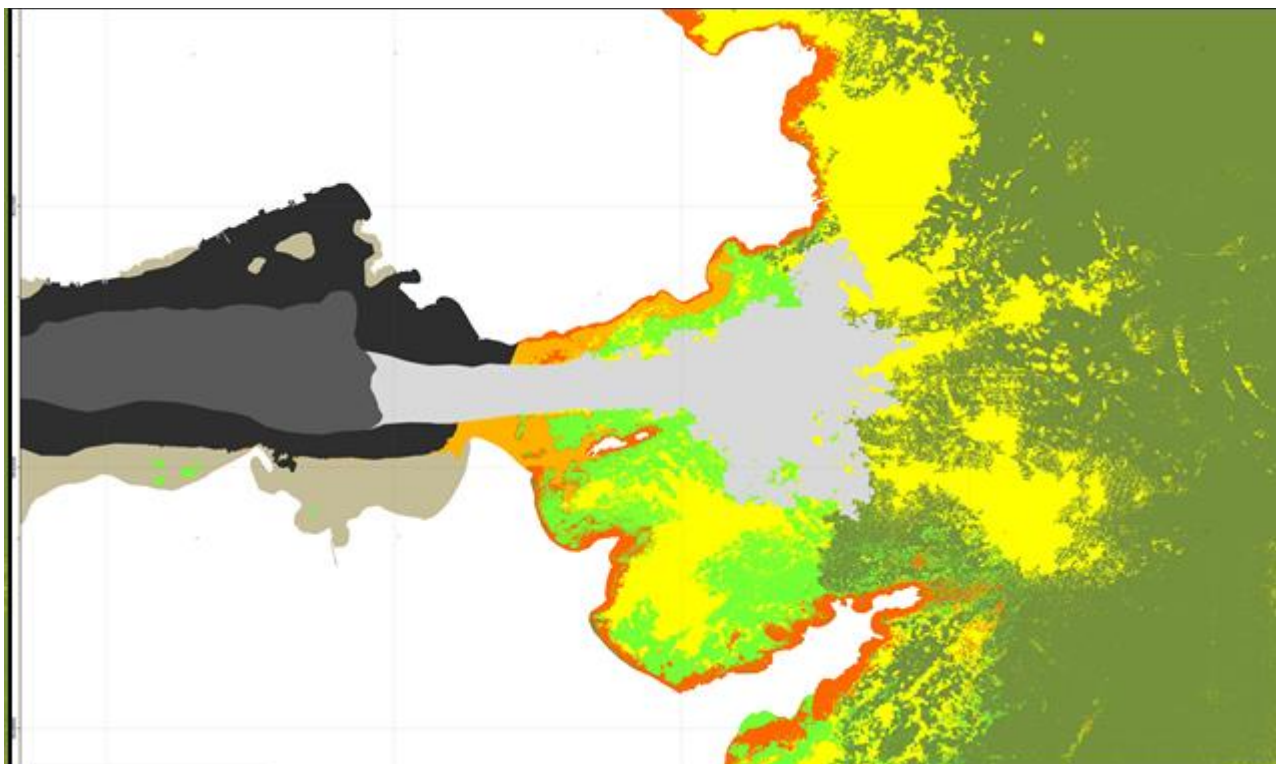


Fig. 30: Biocenosi del fondo marino del porto di Olbia, parte esterna (Autorità Portuale 2008).
 Fig. 30 : Biocénoses des fonds marins du port d'Olbia, partie externe (Autorité portuaire 2008).



Dalle varie relazioni presenti sul porto di Olbia, in particolare quelle che riguardano il Nuovo Piano Regolatore del Porto dell'anno 2008, si evidenzia come, all'interno dell'area in questione, il tempo di ricambio valutato su base lagrangiana sia compreso tra 8 e 14 giorni, e come nelle aree più interne del porto sia presente un certo ristagno delle masse d'acqua, in particolare nella porzione a Nord del pontile Isola Bianca.



Des différents rapports sur le port d'Olbia, en particulier ceux concernant le Nouveau Plan d'Aménagement Portuaire de 2008, il ressort que, dans la zone en question, le temps d'échange évalué sur une base lagrangienne est compris entre 8 et 14 jours, et que dans les zones les plus internes du port, il y a une certaine stagnation des masses d'eau, en particulier dans la partie au nord de la jetée de l'Isola Bianca.

2.3.2 Risultati del monitoraggio delle acque portuali / Résultats de la surveillance des eaux portuaires



Il porto di Olbia è stato oggetto di alcune campagne di monitoraggio. Nel maggio 2006 il progetto MONIQUA (Interreg III) ha previsto una campagna di misura della qualità delle acque in varie località della Sardegna e fra queste era ricompreso il porto di Olbia. In Figura 31 le stazioni di monitoraggio relative al progetto MONIQUA.



Le port d'Olbia a fait l'objet de plusieurs campagnes de surveillance. En mai 2006, le projet MONIQUA (Interreg III) a inclus une campagne de mesure de la qualité de l'eau dans différents endroits de la Sardaigne, y compris le port d'Olbia. La figure 31 montre les stations de surveillance liées au projet MONIQUA.

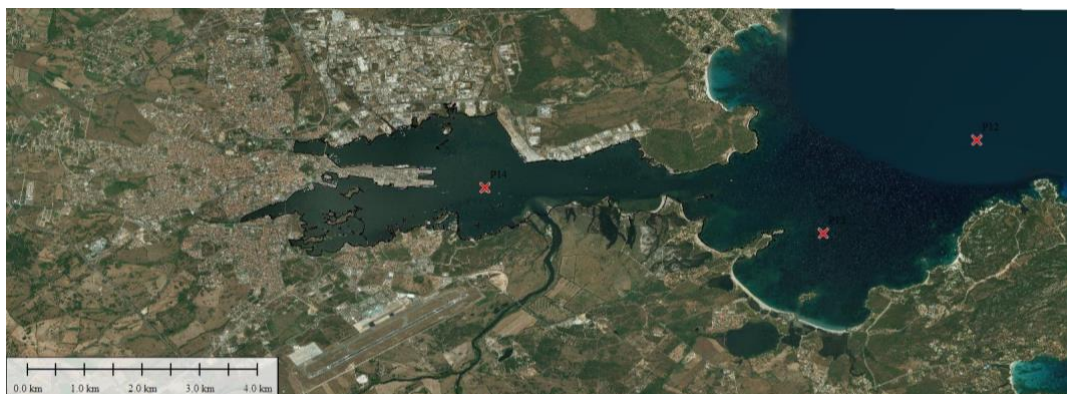


Fig. 31: Stazioni di campionamento del progetto Moniqua
Fig. 31 : Stations d'échantillonnage du projet Moniqua

Di seguito gli estratti, sotto forma di Tabella dei parametri rilevati durante quella campagna di rilievo.

Vous trouverez ci-dessous les extraits, sous forme de tableau, des paramètres mesurés lors de cette campagne d'enquête.

STAZIONE P12						
Prof	Temp	pH	Ossig.	Ossig.	Sal	Fluor/clorof.
m	°C		% Sat.	ml/l	PSU	ug/l
1	17,51	8,22	101,57	5,41	37,96	0,27
2	17,48	8,22	101,82	5,43	37,97	0,26
3	17,43	8,22	102,11	5,45	37,99	0,26
4	17,27	8,22	101,85	5,45	38,07	0,25
5	17,21	8,22	101,68	5,44	38,14	0,24
6	16,83	8,23	100,59	5,42	38,25	0,24
7	16,27	8,23	99,15	5,40	38,36	0,23
8	16,01	8,23	98,14	5,37	38,38	0,22
9	15,82	8,23	97,40	5,35	38,39	0,20
10	15,52	8,23	96,55	5,33	38,41	0,19
11	15,38	8,23	96,19	5,33	38,34	0,18
12	15,37	8,23	96,38	5,34	38,30	0,17

STAZIONE P13						
Prof	Temp	pH	Ossig.	Ossig.	Sal	Fluor/clorof.
m	°C		% Sat.	ml/l	PSU	ug/l
1	17,60	8,22	97,68	5,20	37,97	0,25
2	17,57	8,22	97,21	5,17	37,98	0,26
3	17,55	8,22	97,27	5,18	37,99	0,27
4	17,54	8,22	97,03	5,17	38,00	0,28
5	17,34	8,22	97,03	5,18	38,09	0,29
6	17,28	8,22	98,34	5,26	38,14	0,29
7	16,93	8,23	99,59	5,36	38,23	0,27
8	16,59	8,23	100,74	5,45	38,27	0,25

Prodotto - Livrable T3.1.1

9	16,30	8,23	101,06	5,50	38,30	0,23
10	16,04	8,23	100,73	5,51	38,31	0,21
11	15,94	8,23	100,04	5,48	38,31	0,20
12	15,73	8,23	99,23	5,46	38,34	0,18

STAZIONE P14						
Prof	Temp	pH	Ossig.	Ossig.	Sal	Fluor/clorof.
m	°C		% Sat.	ml/l	PSU	ug/l
1	18,77	8,24	92,09	4,82	37,21	1,07
2	18,68	8,24	92,32	4,83	37,28	1,08
3	18,43	8,24	92,35	4,85	37,40	1,10
4	18,07	8,24	91,91	4,86	37,59	1,13
5	17,83	8,24	91,71	4,87	37,64	1,16
6	17,58	8,25	91,63	4,88	37,73	1,12
7	17,42	8,25	91,81	4,91	37,78	1,07
8	17,24	8,24	92,31	4,95	37,88	1,02
9	16,96	8,24	92,06	4,96	38,03	0,96
10	16,88	8,24	91,95	4,96	38,10	0,90
11	16,66	8,24	91,72	4,96	38,17	0,83



In sintesi, si evidenzia come per l'ossigeno disciolto gli andamenti nella stazione P14 si discosti dalle altre due stazioni con concentrazioni medie nel profilo intorno al 92%, mentre in P12 e P13 tale valore sale fino al 101%.

Fluorescenza superficiale: anche per questo parametro i dati rilevati nella stazione P14 si discostano dagli andamenti generali (0.2 µg/l) in quanto già in superficie le concentrazioni sono prossime ad 1 µg/l.

Durante la stessa campagna di monitoraggio è stata rilevata anche la trasparenza con il disco sechi evidenziando come i valori minimi di trasparenza sono stati registrati nella stazione del porto di Olbia (P14), intorno ai 5m.

Inoltre, L'università di Sassari ha svolto a più riprese dei rilievi lungo la colonna d'acqua all'interno del porto di Olbia. La prima indagine è del 1986-1987 considerando 7 stazioni posizionate nel Porto Romano (1), Molo Brin (2), Isola Bianca (3), secca di mezzo camino (4) foce Padrongianus (5), cala Saccaia/Cocciani (6), esterno Imboccatra (7).

Dagli studi citati è emerso come la parte interna della Rias di Olbia, in particolare per le stazioni 1 e 2 un livello trofico elevato (eutrofia) e un livello mesotrofico per le altre stazioni ad eccezione dell'esterno della Rias dove si il livello trofico era oligotrofo (Relazione sulla qualità delle acque Autorità Portuale, 2008).

Nel 2001 e fino al 2006 l'Università di Sassari inizia un monitoraggio all'interno della rias di Olbia. Le stazioni sono 3 una in Prossimità dell'Isola Cavallo, in prossimità del Porto Turistico (lato sud Rias), una in prossimità di Saccaia/Cocciani e una esterna alla Rias.

La campagna evidenzia come la salinità nella parte esterna sia stabile a circa 37.5 ‰ mentre all'interno della Rias passi da circa il 38 ‰ nel 2001 a circa 35‰ nel 2006.

Il pH invece passa da valori prossimi a 8.3 per tutte le stazioni nel 2001 a valori di circa 8.2 per tutte le stazioni nel 2006.

L'azoto ammoniacale è assente nella stazione esterna, mentre appare importante la sua presenza all'interno del Golfo (Relazione sulla qualità delle acque Autorità Portuale, 2008).

L'azoto nitrico aumenta dal 2001 al 2006 raddoppiando la sua concentrazione nelle stazioni più interne.

Il Fosforo, sia totale che in forma orto fosforica raggiunge un picco nel 2004 nelle due stazioni più interne.

La relazione dell'Università di Sassari, relativa agli anni 2001-2006 si conclude indicando come il livello trofico del Golfo Interno di Olbia sia abbastanza alto in quanto ci sono elevati contenuti nutrizionali (aumentati rispetto al biennio 86-87) e elevati valori di biomassa algale (inferiore rispetto al 86-87).



En résumé, on constate que les tendances de l'oxygène dissous à la station P14 diffèrent des deux autres stations, avec des concentrations moyennes dans le profil d'environ 92%, alors qu'à P12 et P13 cette valeur atteint 101%.

Fluorescence de surface : les données mesurées à la station P14 s'écartent également de la tendance générale (0,2 µg/l) pour ce paramètre, car les concentrations en surface sont déjà proches de 1 µg/l.

Au cours de la même campagne de surveillance, la transparence a également été mesurée avec le disque sec, montrant que les valeurs minimales de transparence ont été enregistrées à la station du port d'Olbia (P14), à environ 5m.

En outre, l'Université de Sassari a effectué à plusieurs reprises des relevés le long de la colonne d'eau à l'intérieur du port d'Olbia. Le premier relevé a été effectué en 1986-1987, en considérant 7 stations situées à Porto Romano (1), Molo Brin (2), Isola Bianca (3), secca di mezzo camino (4) foce Padrongianus (5), cala Saccaia/Cocciani (6) et en dehors d'Imboccatra (7).

Les études mentionnées ci-dessus ont montré que la partie intérieure de la ria d'Olbia avait un niveau trophique élevé (eutrophe) pour les stations 1 et 2 et un niveau mésotrophe pour les autres stations, à l'exception de la partie extérieure de la ria où le niveau trophique était oligotrophe (Port Authority Water Quality Report, 2008).

En 2001 et jusqu'en 2006, l'Université de Sassari a commencé à surveiller l'intérieur de la ria d'Olbia. Il y a trois stations : une près de Isola Cavallo, près du port touristique (côté sud de la ria), une près de Saccaia/Cocciani et une à l'extérieur de la ria.

La campagne montre que la salinité dans la partie externe est stable à environ 37,5 ‰ alors qu'à l'intérieur de la ria elle passe d'environ 38 ‰ en 2001 à environ 35 ‰ en 2006.

Le pH, quant à lui, passe de valeurs proches de 8,3 pour toutes les stations en 2001 à environ 8,2 pour toutes les stations en 2006.

L'azote ammoniacal est absent de la station externe, alors que sa présence semble importante dans le Golfe (Port Authority Water Quality Report, 2008).

L'azote nitrique augmente entre 2001 et 2006, doublant sa concentration dans les stations les plus intérieures.

Le phosphore, tant total que sous forme orthophosphorique, a atteint un pic en 2004 dans les deux stations intérieures.

Le rapport de l'Université de Sassari, qui couvre les années 2001-2006, conclut que le niveau trophique du golfe intérieur d'Olbia est assez élevé, car il y a des contenus nutritionnels élevés (augmentés par rapport à 86-87) et des valeurs de biomasse algale élevées (inférieures à 86-87).

2.4 Porto di Tolone / Le Port de Toulon

2.4.1 La rada di Tolone / La rade de Toulon



La rada di Tolone è divisa in due parti da una diga foranea (costruita nel 1882 su un asse Nord-Sud, dimensioni: 1,4 Km x 3m): la piccola rada a ovest e la grande rada a est (Fig. 32).



La rade de Toulon est séparée en deux sous-parties par une digue (construite en 1882 sur l'axe Nord-Sud, dimension : 1.4 km × 3m): la petite rade à l'ouest et la grande rade à l'est (Fig. 32).

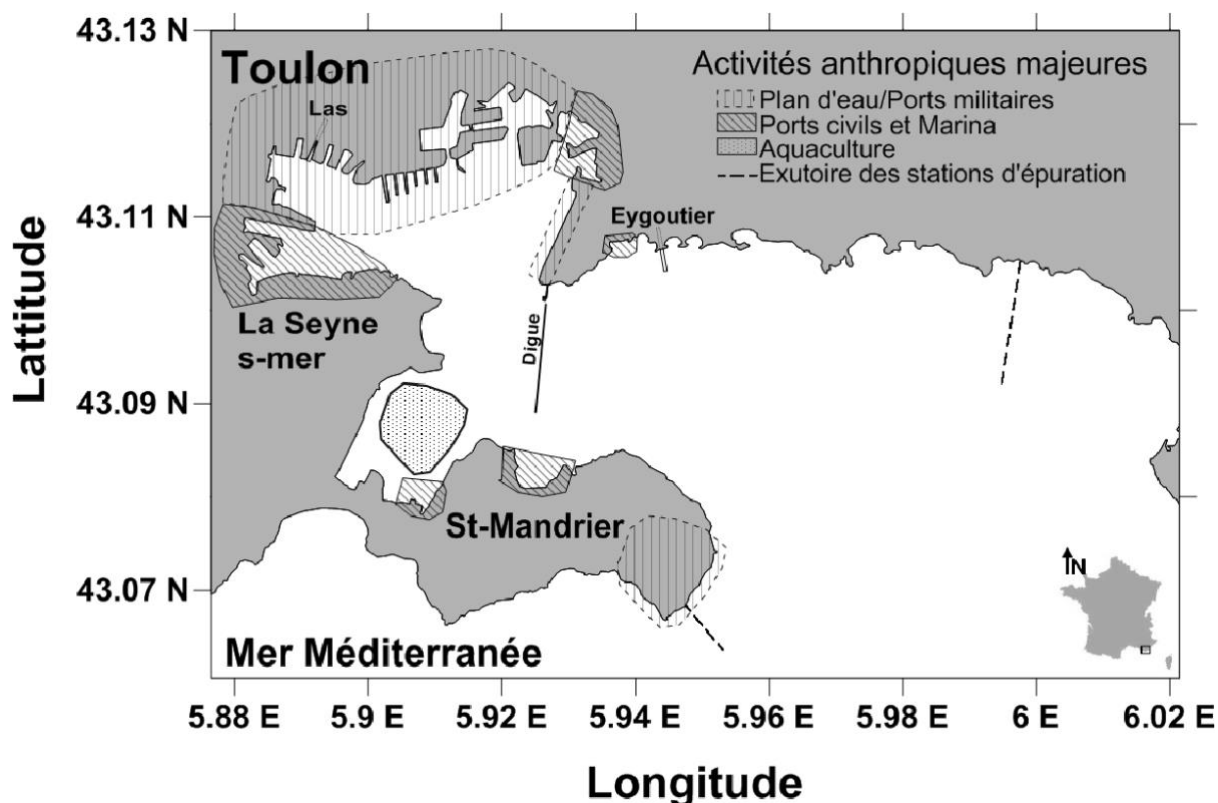


Fig. 32: Mappa della rada di Tolone con i maggiori apporti idrici (Las e Eygoutier) e delle attività antropiche maggiori.

Fig. 32: Carte de la rade de Toulon avec des apports majeurs en eau (Las et Eygoutier) et des activités anthropiques majeures.



Il clima della rada di Tolone è di tipo mediterraneo con (delle piogge stagionali) precipitazioni stagionali. Il 75% delle piogge (551 mm annui) si concentra su due periodi, da settembre a gennaio e da marzo a maggio (Nicolau et al., 2012). Queste piogge, di breve durata ma di forte intensità, sono all'origine del dilavamento del bacino idrografico e del trasporto verso il mare

di materia ricca in carbonio e nutritiva, ma anche di inquinanti (Elbaz-poulichet, 2005; Nicolau et al., 2006; Oursel et al., 2013). La piccola rada si estende su circa $9,8\text{km}^2$ e ha una profondità media di 12 m (Dufresne et al., 2014) (volume di acqua $\sim 92 \times 10^6 \text{ m}^3$); è semi-chiusa e il tempo di residenza medio dell'acqua è di 3 a 6 giorni circa. Gli apporti di acqua dolce nella piccola rada provengono dal Las (Nord-Ovest, Fig. 10) e dalle acque meteoriche di dilavamento. Il Las ha una portata media di $1730 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e sfocia nell'arsenale militare. Il suo bacino idrografico è di circa 60 km^2 ed è fortemente urbanizzato. La piccola rada è connessa alla grande rada nella parte Sud. La grande rada è aperta al largo e ha una superficie di 42 Km^2 con una batimetria crescente verso il largo (massimo 50 m (Dufresne et al., 2014)). L'Eygoutier è il rio principale che si immette nella grande rada. Il suo bacino idrografico è di circa 70 km^2 , con un uso essenzialmente agricolo e urbano. Questo corso d'acqua è anche caratterizzato dal regime climatico mediterraneo con una portata minima di $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ che può raggiungere $40\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ per 15 minuti in caso di pioggia (Nicolau et al., 2012). I venti forti influenzano il clima e la circolazione dell'acqua nella rada. Il tempo di circolazione dell'acqua della rada di Tolone è stimato a 3,4 giorni ma si riduce a soli 1,5 giorni in caso di vento forte e si prolunga fino a 7,5 giorni in condizioni di calma di vento (Dufresne et al., 2014).

Condizioni di calma: la corrente prevalente nel Mediterraneo è quella superficiale, indotta dall'entrata della massa di acqua atlantica via Gibilterra, in senso antiorario. La corrente nel bacino Nord-Ovest del Mediterraneo segue quindi la zona della Liguria-Provenza-Golfo del Leone. Questa corrente ha una velocità massima di 10 cm s^{-1} e una larghezza di qualche Km su una profondità di qualche centinaio di m (Millot and Taupier-Letage, 2005). Questa corrente è all'origine dell'entrata di acqua dal largo verso la grande rada. Nella piccola rada, la massa di acqua entra dal fondo (circa 10 m) e esce dalla piccola rada dalla superficie (Duffa et al., 2011). In condizioni di vento, due direzioni di venti hanno un impatto sulla circolazione delle masse di acqua nonché sul trasporto/dispersione degli elementi:

- Il vento da Est amplifica la corrente liguro-provenzale, entrando nella rada a Sud. Questa corrente aumenta la temperatura dell'acqua marina nella grande rada. Questa corrente di entrata essendo superficiale esce dalla rada di Tolone dal fondo per raggiungere i canyon. Lo spostamento di queste acque provoca forti onde e moti ondosi, in particolare nella grande rada

(Duffa et al., 2011). Delle simulazioni di circolazione delle masse d'acqua hanno dimostrato che dei venti da Est superiori ai 5 m s^{-1} provocano delle correnti di fondo che escono dalla piccola rada a 30 cm s^{-1} , generando un trasporto idro-sedimentario dalla piccola rada verso la grande rada, e poi verso il largo (Dufresne et al., 2014).

- Il vento da Ovest (Maestrone) spinge l'acqua in uscita dalla rada dalla superficie, raggiungendo 10 cm s^{-1} su uno spessore d'acqua di 8 m. Questo spostamento è compensato da delle correnti di upwelling a nord-ovest della piccola rada. Secondo i risultati di modellazione idro-sedimentaria, il maestrone non genererebbe forti moti ondosi nella rada di Tolone (Duffa et al., 2011).



Le climat de la rade de Toulon est de type Méditerranéen avec des pluies très saisonnières. 75 % des pluies (551 mm annuelle) sont enregistrées sur la période Septembre- Janvier et une deuxième période de pluie est entre Mars et Mai (Nicolau et al., 2012). Ces pluies, de courte durée mais de forte intensité, sont responsables du lessivage du bassin versant et du drainage vers la mer de la matière carbonée et nutritive, ainsi que des polluants (Elbaz-poulichet, 2005; Nicolau et al., 2006; Oursel et al., 2013). La petite rade, ayant une superficie de $\sim 9.8 \text{ km}^2$ et une profondeur moyenne de 12 m (Dufresne et al., 2014) (volume d'eau $\sim 92 \times 10^6 \text{ m}^3$), est semi-fermée et le temps de résidence moyen de l'eau est d'environ 3 à 6 jours (Duffa et al., 2011). Les apports en eau douce de la petite rade proviennent notamment du Las (Nord-Ouest, Fig. 32) et des ruissellements des eaux de pluies. Le Las a un débit moyen de $1730 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ et se verse dans l'arsenal militaire. Son bassin versant est d'environ 60 km^2 et est principalement urbain. La petite rade est principalement connectée à la grande rade par la partie Sud. La grande rade est ouverte au large et a une superficie de 42 km^2 avec une bathymétrie croissante vers le large (max $\sim 50 \text{ m}$) (Dufresne et al., 2014). L'Eygoutier est la rivière principale se déversant dans la grande rade. Son bassin versant est d'environ 70 km^2 , majoritairement agricole et urbain. Cette rivière est également caractérisée par le régime climatique méditerranéen avec un débit en étiage de $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ et pouvant atteindre $40\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pendant 15 min en cas de pluie (Nicolau et al., 2012). Les vents forts influencent le climat et la circulation des eaux de la rade. Le temps de circulation moyenne des eaux de la rade de

Toulon est estimé à 3,4 jours mais est réduit à de 1,5 jours par temps de vent fort ou prolongé à 7,5 jours par temps calme (Dufresne et al., 2014).

Temps calme: Le courant dominant de la Méditerranée est celui de surface, induit par l'entrée de la masse d'eau Atlantique à travers Gibraltar, dont le sens est inverse de l'aiguille d'une montre. Le courant dans le bassin Nord-Ouest de la Méditerranée suit donc la zone de la Ligurie (Italie)-Provence-Golfe du Lion. Ce courant a une vitesse maximale de 10 cm s^{-1} et d'une largeur de quelques km sur l'épaisseur de quelques centaines de m (Millot and Taupier-Letage, 2005). Ce courant induit l'entrée d'eau du large dans la grande rade. Dans la petite rade, la masse d'eau entre par le fond ($\sim 10 \text{ m}$) et sort de la petite rade par la surface (Duffa et al., 2011).

Hors temps calme, deux directions de vents impactent la circulation des masses d'eau et donc le transport/la dispersion des éléments :

-Le vent d'Est amplifie le courant Liguro-Provençal, entrant dans la rade par le Sud. Ce courant augmente la température de l'eau de mer de la grande rade. Ce courant d'entrée étant de surface sort de la rade de Toulon par le fond pour rejoindre les canyons. Le déplacement de ces eaux va induire des fortes vagues et des houles, notamment dans la Grande rade (Duffa et al., 2011). Des simulations de circulation des masses d'eau ont démontré que des vents d'Est plus fort que 5 m s^{-1} induisent des courants de fond sortant de la petite rade à 30 cm s^{-1} entraînant un transport hydro-sédimentaire de la petite rade vers la grande rade puis le large (Dufresne et al., 2014).

-Le vent d'Ouest (Mistral) pousse l'eau sortant de la petite rade par la surface, pouvant atteindre 10 cm s^{-1} sur une épaisseur d'eau de 8 m. Ce déplacement est compensé par des courants d'upwelling au nord-ouest de la petite rade. D'après les résultats de modélisation hydro-sédimentaire, le Mistral ne semble pas généré de houle significative dans la rade de Toulon (Duffa et al., 2011).

2.4.2 Elementi storici e contesto economico e sociale / Éléments historiques et contexte socio-économique

a. Storia delle principali attività nella rada di Tolone / a. Historique des activités majeures dans la rade de Toulon



La città di Tolone è situata a Sud-Est della Francia, tra le due grandi metropoli della Regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra, ossia Nizza e Marsiglia. La posizione strategica della città, sommata alle caratteristiche della rada, semi-chiusa, fa di Tolone un punto tattico sin dall'Antichità. La rada di Tolone accoglieva delle navi mercantili greche e romane. Nel Medioevo, la città era tra i porti da pesca più dinamici della Provenza fino al XVI secolo, quando la storia militare della città ebbe inizio con la costruzione di una fortezza, la "*Grosse Tour*" di Tolone (attualmente *Tour Royale*) e del forte Balaguier, da un'ordinanza di Luigi XII (1462-1515) e Francesco I (1494-1547) (Faucherre, 1993). La costruzione di Tolone come porto di guerra ha dovuto aspettare il 1599, anno in cui il Parlamento di Provenza ha sancito la cessione da parte del re Enrico IV di terreni acquistati grazie a lavori eseguiti nella rada, e ha stipulato che una parte di questi terreni sarebbe adibita alla costruzione di vascelli (nella zona chiamata oggi "*Vieille Darse*") (Cros, 2011). Tolone è diventata una delle basi della Marina Reale francese grazie a Richelieu (Vergé-Franceschi, 2002). Luigi XIV (1638-1715) fece costruire il "*Port Neuf*" (oggi "*Darse Neuve*") per poter accogliere grandi vascelli. Questo porto strategico fu chiamato "*Port-Royal*" per distinguerlo dai porti mercantili di Tolone (Forest de Bélidor, 1753).

Molti monumenti (Forte Saint-Louis e *Tour Royale* a est; Forte Balaguier e Forte dell'Eguillette a ovest) testimoniano l'importanza di Tolone come uno dei maggiori porti militari francesi e città fortificate nel corso di sette secoli (Académie du Var, 2007). L'arsenale ha quasi quadruplicato la sua superficie in qualche decennio per raggiungere la sua capacità massima alla fine del XIX secolo, con delle nuove darsene (*Darse Castigneau* e *Darse Missiessy*), i pontili di Milhaud e il molo Noël (Grasset, 2011; Cros, 2011).

Durante la Seconda Guerra Mondiale, Tolone e il suo arsenale furono il teatro dell'autoaffondamento della sua flotta del 27 novembre 1942. L'evento avvenne durante

l'attuazione dell'Operazione Lila, nel corso dell'Operazione Anton, ovvero il tentativo di occupazione da parte dell'esercito tedesco della "zona libera" francese al fine di: a) proteggere la costa mediterranea francese dallo sbarco degli Alleati; b) acquisire la flotta francese; c) installare una base sottomarina. L'operazione è durata solo tre ore e mezza e l'auto-affondamento due ore e un quarto, provocando la distruzione di un quarto della flotta militare francese (173 navi) (Grasset, 2011). Queste navi, tra le quali corazzate, incrociatori, cacciatorpediniere, torpediniere e sommergibili, corrispondono a 382 000 tonnellate in fondo alla rada.



La ville de Toulon se situe dans le Sud-Est de France, entre deux grandes métropoles de Nice et Marseille de la région Provence-Alpes-Cotes-d'Azur. Le positionnement stratégique de la ville en plus des caractéristiques de la rade semi-fermée fait de Toulon un point tactique depuis l'Antiquité. La rade de Toulon abritait des navires grecs ou romains avec une vocation commerciale. Au Moyen Âge, la ville faisait partie des ports de pêche dynamiques de la Provence jusqu'en XVI^e siècle où l'histoire militaire de la ville a débuté avec la construction de la Grosse Tour de Toulon (actuellement Tour Royale) et la Tour de Balaguier sous ordonnance de Louis XII (1462-1515) et François I^{er} (1494-1547) (Faucherre, 1993). La construction de Toulon comme port de guerre a dû attendre l'an 1599 où le Parlement de Provence a enregistré la cession du roi Henri IV (1553-1610) sur la libre organisation territoriale dont une partie serait réservée à la fabrique des vaisseaux (actuellement Vieille Darse) (Cros, 2011). Toulon est devenu base de la Marine Royale grâce à Richelieu (Vergé-Franceschi, 2002). Louis le Grand (Louis XIV, 1638-1715) a fait construire le Port Neuf (actuellement Darse Neuve), en plus de la Vieille Darse pour accueillir de grands vaisseaux. Ce port stratégique a été nommé Port-Royal pour être distingué des ports marchands de Toulon (Forest de Bélidor, 1753).

Une multitude de monuments restant à nos jours (fort de Saint-Louis et Tour Royale à l'est ; Fort de Balaguier et fort de l'Eguillette à l'ouest de Toulon) témoignent du rôle que jouait Toulon comme un des ports militaires majeurs et une des villes fortes pendant 7 siècle de fortification (Académie du Var, 2007). L'arsenal a presque quadruplé sa superficie en quelques décennies pour atteindre son maximum à la fin du XIX^e siècle, avec des nouvelles darses (Darse Castigneau et Darse Missiessy) et les appointements de Milhaud et le quai Noël (Grasset, 2011; Cros, 2011).

Dans l'histoire moderne et notamment la 2nde Guerre Mondiale, Toulon et son arsenal ont été le théâtre de guerre stratégique du sabordage de la flotte à Toulon le 27 novembre 1942 (Fig.33). Cet évènement est lié à l'opération Lila consistant en la tentative de l'occupation de la zone française libre de l'armée allemande dans le but de (i) protéger le littoral français méditerranéen du débarquement allié, (ii) de s'emparer de la flotte française et (iii) d'installer la base de sous-marins. L'opération n'aura duré que 3h30 et le sabordage 2h15, entraînant la destruction d'un quart de la flotte militaire française (173 navires) (Grasset, 2011). Ces navires comptent des cuirassés, croiseurs, torpilleurs, contre-torpilleurs, sous-marins, pétroliers... totalisent 382 000 tonnes au fond de la rade.

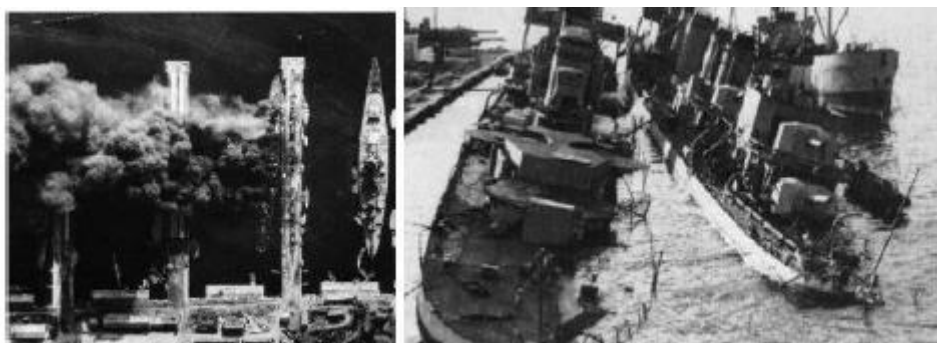


Fig. 33: Autoaffondamento della flotta, pontile di Milhaud e darsena Missiessy. Collezione J.Y. Broussard (sinistra) e del Mogador e del Valmy. Collezione M. Saibène (destra).

Fig. 33: Sabordage de la Flotte de Haute Mer, appontement de Milhaud et darse Missiessy. Collection J.Y. Broussard (gauche) et du Mogador et Valmy. Collection M. Saibène (droite).



Gli anni seguenti (autunno 1943 - primavera 1944) furono segnati dalla distruzione della città e dell'arsenale, da bombe, proiettili e bombardamenti alleati e tedeschi (Guillon, 1989). Dopo la fine della guerra e la ricostruzione della città, Tolone rimane un porto strategico, sul piano militare, ma anche sul piano economico. L'arsenale di Tolone è oggi la principale base navale francese, ospitando gran parte della sua flotta militare (la portaerei Charles de Gaulle, le navi di proiezione e di comando Mistral e Tonnerre, sottomarini di attacco nucleare, fregate missilistiche...). Tra le altre attività storiche nella rada di Tolone, spiccano i Cantieri Navali (1711-1989) della Seyne-sur-mer. Nel periodo di maggiore attività, i cantieri si estendevano su una superficie di 25 ettari e su 1400 m di costa. Questi cantieri sono stati la sede di costruzione di

velieri civili e di vascelli militari della Marina Reale ma anche, seguendo l'evoluzione dell'industria navale, di grandi navi moderne nei secoli XIX e XX.



Les années suivantes (Automne 1943 – Printemps 1944) témoignent de la destruction des villes et de l'arsenal par des bombardements, des projectiles et bombes alliées et allemandes (Guillon, 1989). Depuis la fin de la guerre, la reconstruction a repris et Toulon est toujours un point de stratégie, non seulement militaire mais aussi économique. L'arsenal de Toulon est actuellement la principale base navale française, abritant une grande partie de la force d'action navale (le porte-avion Charles de Gaulle, des bâtiments de projection et de commandement Mistral et Tonnerre, des sous-marins d'attaque nucléaire, des lance-missiles et des frégates...). Parmi les autres activités historiques de la rade de Toulon on compte les Chantiers Navals (1711-1989) à la Seyne-sur-mer (Fig. 32). Au maximum de l'activité des chantiers ils s'étendaient sur 25 hectares et 1 400 m de front de mer. Ces chantiers ont témoigné de l'évolution de l'industrie navale à partir des bateaux civils à voiles et des bateaux de guerre de l'ancienne Marine Royale jusqu'aux grands bateaux modernes à travers la métallurgie et les nouvelles technologies des XIX^e et XX^e siècles.

b. La rada di Tolone oggi e l'eredità del passato / La rade de Toulon d'aujourd'hui et l'héritage du passé



Oggi, l'agglomerato tolonese è una zona urbana che ospita svariate attività industriali, commerciali, in particolare turistiche. Il Comune comprende 427 000 abitanti (INSEE, 1° gennaio 2014) su 36 600 ettari. La rada di Tolone ospita delle attività militari, industriali e turistiche, nonché di acquacoltura. Nel 2010, il porto commerciale di Tolone ha registrato un traffico passeggeri di 1 700 000, un trasporto veicoli di 500 000 e un trasporto merci pari a 1 500 000 tonnellate (Fonte: CCI Var). Le marine di Tolone (Tolone, Mourillon, La Seyne-sur-mer e Saint-Mandrier) possono ospitare 2330 barche. Le attività di acquacoltura sono concentrate nella baia di Lazaret, situata nella parte Sud della piccola rada. L'attività di mitilicoltura si estende su 10 ettari e produce un centinaio di tonnellate di cozze all'anno (Arnal et al., 2001). Inoltre le attività di itticultura producono 200 tonnellate di branzini e di orate all'anno (Dalias et al., 2009).



L'agglomération Toulonnaise est actuellement une zone urbaine et le siège d'activités industrielles, commerciales et notamment touristiques. Toulon et son agglomération compte actuellement 427 000 habitants (INSEE, 1er Janvier 2014) sur 36 600 hectares. La rade de Toulon regroupe des activités militaires, industrielles, touristiques (activités portuaires, transport maritime...) mais aussi aquacole (pisciculture et mytiliculture). L'activité du port de commerce de Toulon a accueilli, en 2010, 1 700 000 de passagers, transporté 500 000 véhicules et 1 500 000 tonnes de frets (Source : CCI Var). Des ports de plaisance de Toulon (Toulon, Mourillon, La Seyne-sur-mer et Saint Mandrier) peuvent accueillir en total 2 330 bateaux. Des activités aquacultures sont concentrées dans la baie du Lazaret, située dans le sud de la petite rade. L'activité de mytiliculture s'étend sur 10 hectares et produit une centaine de tonnes de moules à l'année (Arnal et al., 2001). En parallèle, 200 tonnes de loups et de daurades royales sont produites par l'activité de pisciculture (Dalias et al., 2009).

2.4.3 Risultati del monitoraggio delle acque portuali / Résultats de la surveillance des eaux portuaires

Contaminazioni / Contaminations



Numerosi studi realizzati dal laboratorio M.I.O. nella rada di Tolone hanno evidenziato un'importante contaminazione dei sedimenti, nonché della colonna d'acqua: tesi di E. Tessier (2010-2012), tesi di H. Dang (2011-2014). I porti sono le zone più contaminate in Cu nella rada di Tolone [Coclet et al., 2018; Layglon et al.; tesi di Huy Dang (2011-2014) e Gaël Durrieu (2017-2020); post-dottorato di Heleen Vanneste (2017-2019)]. Inoltre, il Cu disciolto immesso nei porti della rada di Tolone può essere trasportato fuori dalla rada, per via delle correnti, verso una destinazione che dipende dalla direzione e dalla forza del vento (tesi di Camille Mazoyer (2015-2019) e post-dottorato di Heleen Vanneste (2017-2019)).

Dalle diverse campagne di campionamento nella rada di Tolone è emerso che le concentrazioni in Cu (come per altri parametri) nella colonna d'acqua dipendono fortemente dalle condizioni meteorologiche (Fig.34). Il Cu presenta dei valori più elevati nella piccola rada, con un gradiente

di concentrazione dalla piccola verso la grande rada. I valori rilevati sono ampiamente al di sopra delle concentrazioni riscontrate comunemente in mare aperto nel Mediterraneo (circa 0,06 nM, Morley et al. 1997). La contaminazione proviene presumibilmente dai porti civili e militari.



De nombreuses études menées par le laboratoire M.I.O. sur la Rade de Toulon ont démontré la contamination importante des sédiments mais également de la colonne d'eau : thèse de E. Tessier (2010-2012), thèse de H. Dang (2011-2014). Les ports sont bien les zones les plus contaminées en Cu dans la rade de Toulon [Coclet et al., 2018; Layglon et al., soumis; thèses de Huy Dang (2011-2014) et Gaël Durrieu (2017-2020); post-doctorat d'Heleen Vanneste (2017-2019)]. Par ailleurs, le Cu dissous émis dans les ports de la rade de Toulon peut être exporté en dehors de la rade sous l'effet des courants, vers une destination dépendante de la direction et de la force du vent (thèse de Camille Mazoyer (2015-2019) et post-doctorat d'Heleen Vanneste (2017-2019)).

Les différentes campagnes d'échantillonnage sur la Rade de Toulon ont montré que les teneurs en cuivre (ainsi que pour d'autres paramètres) dans la colonne d'eau dépendent fortement des conditions météorologiques (Fig. 34). De façon récurrente, les teneurs en Cu sont plus fortes dans la petite Rade, avec un gradient de concentration de la petite vers la grande rade. Les teneurs mesurées sont largement au-delà des concentrations usuelles en mer méditerranée ouverte (aux alentours de 0,06 nM, Morley et al. 1997). Les sources de contamination semblent logiquement être les ports civils et militaires.

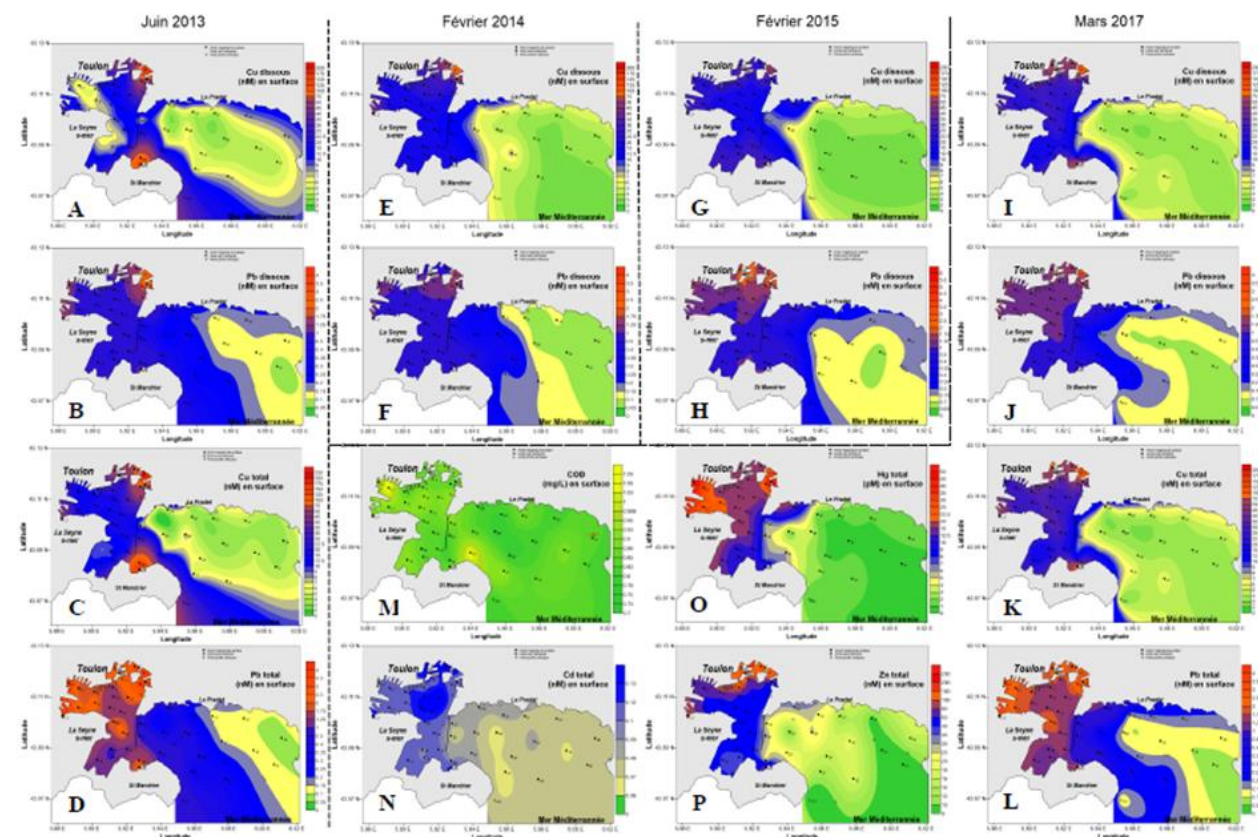


Fig. 34: Distribuzione spaziale di Cu e Pb a Giugno 2013 (A, B, C, D), Febbraio 2014, (E, F,) Febbraio 2015 (G, H,) e Marzo 2017 (I, J, K, L) e di COD (M), Cd (N), Hg (O) e Zn (P) a Marzo 2017 (relazione di tirocinio N. Layglon, 2017, dati non pubblicati).

Fig. 34: Distribution spatiale de Cu et Pb pour juin 2013 (A, B, C, D), février 2014, (E, F,) février 2015 (G, H,) et mars 2017 (I, J, K, L) et du COD (M), Cd (N), Hg (O) et Zn (P) en Mars 2017 (rapport de stage N. Layglon, 2017, données non publiées).

Modellazione della dispersione di contaminanti / Modélisation de la dispersion de contaminants



Diversi esperimenti di modellazione della dispersione di inquinanti sono stati realizzati nella zona della rada di Tolone sulla base di due elementi principali: a) modelli numerici oceanografici, innestati a cascata? e b) un modello lagrangiano di trasporto passivo di contaminanti.

a) **La cascata OGCM** è basata su (i) una configurazione NEMO PSY4V3R1 a 1/12 di grado dell'intero Mar Mediterraneo, prodotta da Mercator-Océan International, (ii) una configurazione NEMO GLAZUR64 di 1/64 di grado del Mediterraneo nord-occidentale

(Ourmieres et al, 2011), prodotta presso il laboratorio MIO, (iii) una configurazione NEMO NIDOR192 a 1/192 gradi della costa del Var, dinamicamente annidata in GLAZUR64 (Declerck et al., 2016), tramite il modulo AGRIF, (iv) una configurazione MITGCM TBAY100 a 100 m di risoluzione della rada di Tolone, prodotta presso il laboratorio MIO (Mazoyer et al., submitted). La figura 1 mostra l'estensione delle diverse configurazioni. I forzanti atmosferici tra GLAZUR64, NIDOR192 e TBAY100 sono simili (MétéoFrance), il che garantisce un alto grado di coerenza nelle strutture oceaniche dinamiche ottenute con le configurazioni innestate.



Des expériences de modélisation du transport de polluants ont été effectuées sur la zone de la rade de Toulon en se basant sur deux éléments principaux: a) une cascade de modèles numériques océanographiques et b) un modèle lagrangien de transport passif de contaminants.

a) La cascade d'OGCM est basée sur (i) une configuration NEMO PSY4V3R1 au 1/12 de degré de la mer méditerranée complète, produite par Mercator-Océan International, (ii) une configuration NEMO GLAZUR64 au 1/64 de degré de la méditerranée Nord-occidentale (Ourmieres et al., 2011), produite au laboratoire MIO, (iii) une configuration NEMO NIDOR192 au 1/192 de degré de la zone du littoral varois, emboîtée dynamiquement dans GLAZUR64 (Declerck et al., 2016), via le module AGRIF, (iv) une configuration MITGCM TBAY100 à 100 m de résolution de la rade de Toulon, produite au laboratoire MIO (Mazoyer et al., soumis). La figure 1 montre l'emprise des différentes configurations. Les forçages atmosphériques entre GLAZUR64, NIDOR192 et TBAY100 sont similaires (MétéoFrance) ce qui garantit une grande cohérence des structures océaniques dynamiques obtenues avec les configurations emboîtées.

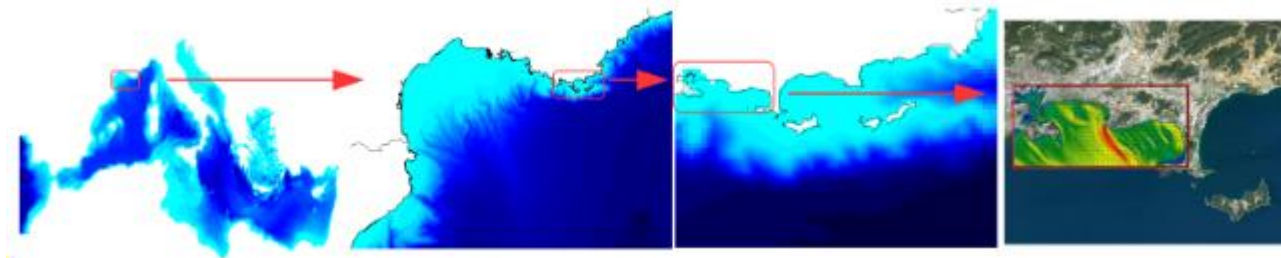


Fig. 35: Cascata di modelli idrodinamici annidati; da sinistra a destra: NEMO PSY4V3R1, NEMO GLAZUR64, NEMO NIDOR192, MITGCM TBAY100.

Fig. 35: Cascade de modèles hydrodynamiques emboîtés ; de gauche à droite : NEMO PSY4V3R1, NEMO GLAZUR64, NEMO NIDOR192, MITGCM TBAY100.



b) **Il modello lagrangiano** utilizzato è integrato all'ultimo livello del modello annidato, cioè TBAY100. Le fonti in mol/l sono introdotte in diversi punti e possono essere rilasciate in modo puntuale o continuo.

Una prima parte del lavoro è stata quella di descrivere i diversi regimi idrologici e meteorologici della zona. Questi aspetti sono registrati nella tesi di Camille Mazoyer (Mazoyer 2019) e in un articolo in revisione (Mazoyer et al., in revisione). Così, dopo aver identificato i tipici regimi di vento di grandi dimensioni che danno luogo a modelli di circolazione tipici, sono stati eseguiti esperimenti di dispersione degli inquinanti. Sulla base delle mappe di concentrazione degli inquinanti disciolti ottenute dalle campagne in situ, il modello è stato parametrizzato per rilasciare continuamente inquinanti in 3 zone di sorgente identificate, tutte situate nell'area del piccolo porto di Tolone (vedi Figura 2 e Mazoyer, 2019). I risultati sono mostrati nella Figura 36 con modelli di dispersione che variano a seconda delle condizioni meteorologiche.



b) **Le modèle lagrangien** utilisé est intégré au dernier niveau de modèle emboîté, c'est à dire TBAY100. Des sources en mol/l sont introduites à différents endroits et peuvent être relarguées de manière ponctuelle ou continue.

Une première partie du travail a été de décrire les différents régimes hydrologiques et météorologiques de la zone. Ces aspects sont consignés dans la thèse de Camille Mazoyer (Mazoyer 2019) ainsi que dans un article en révision (Mazoyer et al., en révision). Ainsi, après

avoir identifié les grands régimes de vent typiques donnant lieu à des schémas de circulation typique, des expériences de dispersion de polluants ont été effectuées. En se basant sur les cartes de concentration de polluants dissous obtenues par les campagnes in-situ, le modèle a été paramétré pour relarguer de manière continue des polluant à 3 zones sources identifiées, toutes localisées dans le zone de la petite rade de Toulon (cf figure 2 et Mazoyer, 2019). Les résultats sont montrés figure 36 avec des schémas de dispersion s'individualisant suivant les conditions météorologiques.

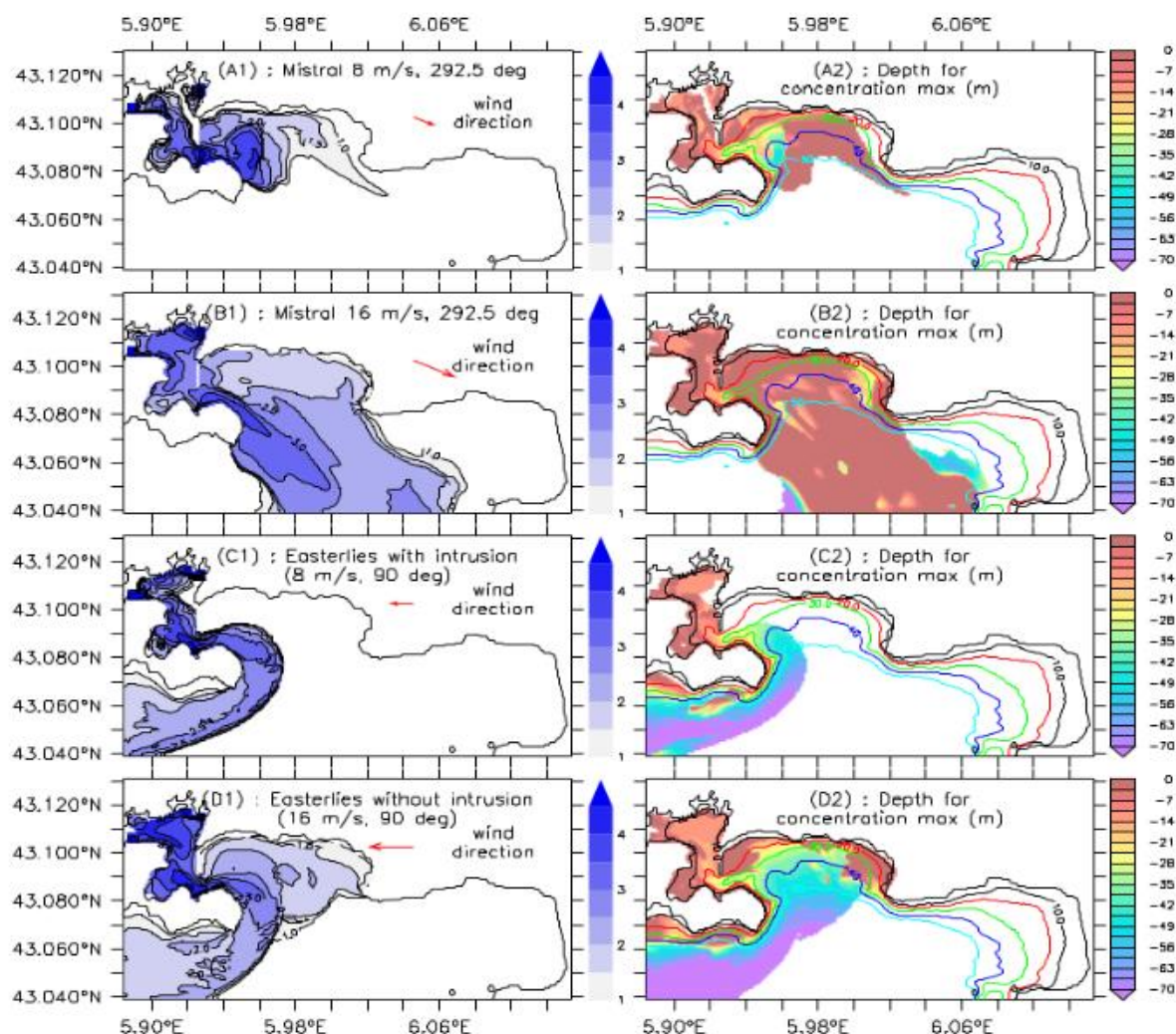


Fig. 36: Dispersione degli inquinanti disciolti per 4 casi tipici: A) Maestrale debole, B) Maestrale forte, C) Est debole, D) Est forte. Colonna sinistra: concentrazione integrata sulla verticale. Colonna di destra: profondità della concentrazione massima.

Fig. 36: Dispersion de polluants dissouts pour 4 cas typiques : A) Mistral faible, B) Mistral fort, C) Est faible, D) Est fort. Colonne de gauche : concentration intégrée sur la verticale. Colonne de droite : profondeur du maximum de concentration.

Bibliografia / Bibliographie

- Académie du Var, 2007. Toulon ville forte - Sept siècles de fortification. Autre temps, 176 pp.
- Autorità Portuale della Spezia, 2010. Piano regolatore Portuale La Spezia vigente ai sensi della L.84/94 ed approvato nel 2010.
- Autorità Portuale di Genova, 2001. Piano regolatore Portuale, approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 35 del 31 Luglio 2001, rettificata con Deliberazione n. 61 del 13 Novembre 2001.
- Autorità Portuale Nord Sardegna, 2015. Piano di gestione dei rifiuti prodotti dalle navi e dei residui di carico.
- Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2018. Rapporto di indagine ambientale. Rev. 0 del 01/06/2018.
- Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, 2019. Ports of Genoa, www.portsofgenoa.com
- Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale, 2019. <https://www.adspmarligureorientale.it>
- Centro Documentazione Bacini Idrografici - CEDOC- Regione Sardegna <http://82.85.20.58/sardegna/webapp/index.php>
- Coclet, C., Garnier C., Delpy F., Jamet D., Durrieu G., Le Poupon C., Mayer M., Misson B. 2018. Trace metal contamination as a toxic and structuring factor impacting ultraphytoplankton communities in a multicontaminated Mediterranean coastal area. Progress in Oceanography 163 (2018) 196–213.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin 62, 2588–2597. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
- Comune di Genova, 2017. Progetto edilizio per la realizzazione di fabbricato a destinazione produttiva con funzioni logistiche comportante un aggiornamento del P.U.C.:Relazione geologica.

- Cros, B., 2011. Le patrimoine militaire de la rade de Toulon : histoire, territorialité et gestion patrimoniale. *Situ Rev. du Patrim.*
- Dalias, N., Crouzic, T., Hennequart, F., 2009. Etude sur l'offre et la demande en poissons sauvages et d'élevage sur le territoire de Toulon Provence Méditerranée. 136 pp.
- Declerck A., Ourmieres Y. and Molcard A. Assessment of the coastal dynamics in a nested zoom and feedback on the boundary current: the North-Western Mediterranean case, 2016. *Ocean Dynamics*, 66 (11), 1529–1542.
- De Girolamo, P., 2008. Autorità Portuale di Olbia e Golfo Aranci - Studio Idrodinamico.
- Duffa, C., Dufois, F., Coudray, S., 2011. An operational model to simulate post-accidental radionuclide transfers in Toulon marine area: preliminary development. *Ocean Dyn.* 61, 1811–1821.
- Dufresne, C., Duffa, C., Rey, V., 2014. Wind-forced circulation model and water exchanges through the channel in the Bay of Toulon. *Ocean Dyn.* 64, 209–224.
- Elbaz-poulichet, F., 2005. River inputs of metals and arsenic. In: Saliot, A. ed., *The Mediterranean Sea*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 211–235.
- European Commission, 1997. Euthanasia of experimental animals. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Faucherre, N., 1993. Louis XII, François Ier et la défense des côtes provençales. In: *Bulletin Monumental*, pp. 293–301.
- Forest de Bélidor, B., 1753. *Architecture hydraulique: l'art de diriger les eaux de la mer & des rivières à l'avantage de la défense des places, du commerce et de l'agriculture. Partie II, Tome II* (Charles-Antoine Jombert, Ed.) Librairie du Roi pour l'Artillerie et le Génie, 663 pp.
- Grasset, D., 2011. Histoire d'une tragédie navale: Le sabordage de la flotte française Toulon - 27 novembre 1942. *Académie des Sci. Lettres Montpellier*, 203–220.
- Gregory, M.R., 1996. Plastic 'Scrubbers' in Hand Cleansers: a Further (and Minor) Source for Marine Pollution Identified. *Marine Pollution Bulletin* 32, 867-871. DOI: 10.1016/S0025-326X(96)00047-1
- Guillon, J.-M., 1989. *La Résistance dans le Var, Essai d'histoire politique*. Doctorat d'Etat, Université de Provence, 1198 pp.

ISPRA, 2009. Traffico marittimo e gestione ambientale nelle principali aree portuali nazionali. Rapporti 95/2009.

Mazoyer C., Vanneste H., Dufresne C., Ourmieres Y., Magaldi M. and Molcard A. Impact of wind-driven circulation on contaminant dispersion in a semi-enclosed bay. In revision for Estuarine, Coastal and Shelf Science.

Mazoyer Camille, 2019. Modélisation du transport de polluants dans la rade de Toulon. Thèse Université de Toulon.

Millot, C., Taupier-Letage, I., 2005. Circulation in the Mediterranean Sea. In: Saliot, A. ed., The Mediterranean Sea, Springer Berlin Heidelberg, pp. 29–66.

Morley N H, Burton, J D, Tankere, S.P.C, Martin, J-M, 1997. Distribution and behaviour of some dissolved trace metals in the western Mediterranean Sea. Deep-Sea Research II. 44, 34, p. 675-691.

Navone, A., De Vecchio, C., 2008. Autorità Portuale di Olbia e Golfo Aranci Studio del comparto della Mitilicoltura.

Nicolau, R., Galera-Cunha, A., Lucas, Y., 2006. Transfer of nutrients and labile metals from the continent to the sea by a small Mediterranean river. Chemosphere 63, 469–76.

Nicolau, R., Lucas, Y., Merdy, P., Raynaud, M., 2012. Base flow and stormwater net fluxes of carbon and trace metals to the Mediterranean Sea by an urbanized small river. Water Res. 46, 6625– 6637.

Nuovo Consorzio Cooperative Pontis, 2019. <http://www.consorziopontis.net>

Porto petroli di Genova S.p.A., 2019. <http://www.portopetroli.com>

PRAGMA - Autorità Portuale di Olbia e Golfo Aranci - Carta Bionomica – (2008). Nuovo Piano Regolatore Portuale Porto di Olbia

Progetto MONIQUA. 2006. Programma Comunitario INTEREGG III – Misura 2.1. Campagna di mantenimento del controllo della qualità delle acque marino costiere.

Regione Liguria, 2019. Sito ufficiale della Regione Liguria per l'Ambiente; <http://geoportale.regione.liguria.it/geoviewer/pages/apps/ambienteinliguria/mappa.html?id=1640&ambiente=I>

Ourmières Y., Zakardjian B., Béranger K., Langlais C., 2011. Assessment of a NEMO-based downscaling experiment for the North Western Mediterranean region: impacts on the Northern Current and comparison with ADCP data and altimetry products. *Ocean Modelling*, 39, 386-404.

Oursel, B., Garnier, C., Durrieu, G., Mounier, S., Omanović, D., Lucas, Y., 2013. Dynamics and fates of trace metals chronically input in a Mediterranean coastal zone impacted by a large urban area. *Mar. Pollut. Bull.* 69, 137-49.

Sechi, N., 2008. Autorità Portuale di Olbia e Golfo Aranci - Studio della qualità delle acque.

Vergé-Franceschi, M., 2002. Dictionnaire d'histoire maritime (R. Laffont, Ed.) 1620 pp.

Vergé-Franceschi, M., 2002. Dictionnaire d'histoire maritime (R. Laffont, Ed.) 1620 pp.

<http://www.sardegnaoportale.it/index.html>