



Projet SEDITERRA (N°CUP : I42F17000010006)



COMPOSANTE T3 - ÉVALUATION DES PILOTES ET RÉDACTION DES LIGNES DIRECTRICES POUR LE TRAITEMENT DURABLE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE DE L'AIRE MARITTIMO

COMPONENTE T3 - VALUTAZIONE DEI PILOTI E REDAZIONE DI LINEE GUIDA PER IL TRATTAMENTO SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI DRAGATI NELL'AREA MARITTIMO

LIVRABLE T3.2.3 : GUIDE PROJET SEDITERRA : LIGNES DIRECTRICES POUR LE TRAITEMENT DURABLE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE DANS L'AIRE MARITTIMO

DELIVERABLE T3.2.3 : GUIDA DEL PROGETTO SEDITERRA : LINEE GUIDA PER IL TRATTAMENTO SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI DRAGATI NELL'AREA MARITTIMO

Juin/Jiugno 2020



<p>Nom du livrable :</p> <p>Nome del deliverable :</p>	<p>GUIDE PROJET SEDITERRA</p> <p>GUIDA DEL PROGETTO SEDITERRA</p>
<p>Compilation (sur la base des livrables produits par le partenariat) par :</p> <p>Compilazione (sulla base dei deliverable prodotti dalla partnership) da :</p>	<p>Erwan Tessier (INSA de Lyon)</p>
<p>Validé par / Convalidato da :</p>	<p>Jacques Méhu (INSA de Lyon)</p> <p>&</p> <p>Partenariat/ Partnership SEDITERRA</p>

ANNÉE / ANNO : 2020

ORGANISATION DU DOCUMENT :

LIVRABLE EN FRANÇAIS – P7

LIVRABLE EN ITALIEN – P106

SOMMAIRE / SOMMARIO

LIVRABLE T3.2.3 : GUIDE PROJET SEDITERRA

I.	INTRODUCTION	7
II.	ZONE DE COOPÉRATION ET OBJECTIFS DU PROJET SEDITERRA	8
III.	PRÉSENTATION DU PARTENARIAT	9
IV.	SYNTHÈSE RÈGLEMENTAIRE DE LA GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE MARINS ET ESTUARIENS ET PROCÉDURES DE TRANSPORT	18
4.1	CADRE RÈGLEMENTAIRE FRANÇAIS	18
4.2	CADRE RÈGLEMENTAIRE ITALIEN	21
4.3	PROCÉDURES RÈGLEMENTAIRES RELATIVES AUX TRANSPORTS DES DÉCHETS	26
4.3.1)	TRANSPORT DES DÉCHETS EN FRANCE	26
4.3.2)	TRANSPORT DES DÉCHETS EN ITALIE	27
4.3.3)	TRANSPORT TRANSFRONTALIER DU DÉCHET SÉDIMENT	29
V.	SYNTHÈSE DE L'INVENTAIRE DES MÉTHODOLOGIES DE CARACTÉRISATIONS AVANT DRAGAGE, DES TRAITEMENTS, OUTILS EXISTANTS ET FILIÈRES DE DESTINATION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE MARINS ET ESTUARIENS DE L'AIRE MARITTIMO	32
5.1	SITUATION FRANÇAISE	32
5.1.1	MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION AVANT DRAGAGE	32
5.1.2	GESTION A TERRE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE	37
5.2	SITUATION ITALIENNE	44
5.2.1	MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION AVANT DRAGAGE - ZONES SIN	44
5.2.2	GESTION EN MILIEU MARIN-CÔTIER ET TERRESTRE - ZONES SIN	48
5.2.3	CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS AVANT DRAGAGE - ZONES HORS SIN	49
5.2.4	GESTION ITALIENNE DES SÉDIMENTS EN MILIEU MARIN-CÔTIER - ZONES HORS SIN	53
5.3	SPÉCIFICITÉ DES SÉDIMENTS MÉDITERRANÉENS : LES FIBRES DE POSIDONIES	57
VI.	SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES SÉDIMENTS ÉTUDIÉS DANS LE PROJET	65
6.1	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES PARTENAIRES FRANÇAIS	65
6.2	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES PARTENAIRES ITALIENS	66
6.3	PHASE DE CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE	68
6.4	CRÉATION D'UN SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG) EN LIGNE	69

VII.	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES TRAITEMENTS ET ESSAIS DE VALORISATION MIS EN ŒUVRE DANS LE PROJET	70
7.1	TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR SÉPARATION GRANULOMÉTRIQUE ET « SOIL WASHING » - ISPRA LIVOURNE (LIVRABLE T2.3.3)	71
7.2	TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR MYCOREMÉDIATION – DISTAV GÈNES (LIVRABLE T2.3.4)	76
7.3	TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR DÉSHYDRATATION - NAVICELLI / PROVINCE DE PISE (LIVRABLE T2.3.5)	80
7.4	TRAITEMENT PAR CALCINATION DES FRACTIONS DE FIBRES DE POSIDONIE – PROVADEMSE / INSA LYON (LIVRABLE T2.3.6)	82
7.5	SYNTHÈSE DES PILOTES DE TRAITEMENT ET VALORISATION DES SÉDIMENTS - PROVADEMSE / INSA LYON - ISPRA LIVOURNE - RAS / CAGLIARI (LIVRABLE T2.4.7)	88
VIII.	LIGNES DIRECTRICES POUR LE TRAITEMENT DURABLE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE DANS L'AIRE MARITTIMO (LIVRABLE T3.2.2)	98
8.1	PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION INTÉGRANT LES CONTRIBUTIONS POSSIBLES DES RÉSULTATS DE SEDITERRA AU SCHÉMA DÉCISIONNEL	101
8.2	SCHÉMA DÉCISIONNEL	104
IX.	ANNEXES	201

DELIVERABLE T3.2.3 : GUIDA DEL PROGETTO SEDITERRA

I.	INTRODUZIONE	106
II.	AREA DI COOPERAZIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO SEDITERRA	107
III.	PRESENTAZIONE DELLA PARTNERSHIP	108
IV.	SINTESI NORMATIVA DELLA GESTIONE DEI SEDIMENTI DI DRAGAGGIO MARINI E DEGLI ESTUARI E PROCEDURE DI TRASPORTO	116
4.1	QUADRO NORMATIVO FRANCESE	116
4.2	QUADRO NORMATIVO ITALIANO	119
4.3	PROCEDURE NORMATIVE RELATIVE AL TRASPORTO DEI RIFIUTI	124
4.3.1)	TRASPORTO DI RIFIUTI IN FRANCIA	124
4.3.2)	TRASPORTO DI RIFIUTI IN ITALIA	125
4.3.3)	TRASPORTI TRANSFRONTALIERI DI RIFIUTI	127
V.	SINTESI DELL'INVENTARIO DELLE METODOLOGIE DI CARATTERIZZAZIONE ANTECEDENTI AL DRAGAGGIO, DEI TRATTAMENTI, DEGLI STRUMENTI ESISTENTI E DELLE FILIERE DI GESTIONE NELL'AREA MARITTIMO	130
5.1	SITUAZIONE FRANCESE	130

5.1.1	METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE PRIMA DEL DRAGAGGIO	130
5.1.2	GESTIONE A TERRA DEI SEDIMENTI DRAGATI	135
5.2	SITUAZIONE ITALIANA	142
5.2.1	METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE PRIMA DEL DRAGAGGIO – AREE SIN	142
5.2.2	GESTIONE IN AMBITO MARINO-COSTIERO E A TERRA - AREE SIN	146
5.2.3	CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI PRIMA DEL DRAGAGGIO - AREE NON SIN	146
5.2.4	GESTIONE DEI SEDIMENTI IN AMBITO MARINO-COSTIERO - AREE NON SIN	151
5.3	SPECIFICITÀ DEI SEDIMENTI MEDITERRANEI: FIBRE DI POSIDONIA	154
VI.	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI STUDIATI NEL PROGETTO	162
6.1	SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DAI PARTNER FRANCESI	163
6.2	SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DAI PARTNER ITALIANI	164
6.3	FASE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	165
6.4	CREAZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO (SIG) ONLINE	167
VII.	SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DAI TRATTAMENTI E DAI TEST DI VALORIZZAZIONE IMPLEMENTATI NEL PROGETTO	167
7.1	TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI MEDIANTE SEPARAZIONE GRANULOMETRICA E LAVAGGIO DEL SUOLO - ISPRA LIVOURNE (DELIVERABLE T2.3.3)	168
7.2	TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI CON MYCOREMEDIATION – DISTAV GENOVA (DELIVERABLE T2.3.4)	172
7.3	TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI MEDIANTE DISIDRATAZIONE - NAVICELLI / PROVINCIA DI PISA (DELIVERABLE T2.3.5)	176
7.4	TRATTAMENTO DI CALCINAZIONE DI FRAZIONI DI FIBRE DI POSIDONIA - PROVADEMSE / INSA LYON (DELIVERABLE T2.3.6)	178
7.5	SINTESI DI TRATTAMENTI PILOTA E VALORIZZAZIONE - PROVADEMSE / INSA LYON - ISPRA LIVOURNE - RAS / CAGLIARI (DELIVERABLE T2.4.7)	184
VIII.	LINEE GUIDA PER IL TRATTAMENTO SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI DRAGATI NELL'AREA MARITTIMO (DELIVERABLE T3.2.2)	194
8.1	PROSPETTIVE DI SVILUPPO CHE INTEGRANO I POSSIBILI CONTRIBUTI DEI RISULTATI DI SEDITERRA AL PROCESSO DECISIONALE	196
8.2	ALBERO DI DECISIONE	200
IX.	ALLEGATI	201

LIVRABLE T3.2.3 : GUIDE PROJET SEDITERRA

« LIGNES DIRECTRICES POUR LE TRAITEMENT DURABLE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE DE L'AIRE MARITTIMO »

I. INTRODUCTION

L'amplification des phénomènes d'ensablement liée au changement climatique, au développement exponentiel des activités côtières et à la présence de pollutions d'origine anthropique piégées dans les sédiments conduisent à la nécessité d'en organiser une gestion qui intègre la maîtrise des risques associés. Les coûts du traitement et de la gestion des sédiments non immergeables, fragilisent ou mettent en péril l'activité économique et la compétitivité des ports. De plus, les données scientifiques utiles à l'écriture d'un encadrement réglementaire pour la gestion à terre des sédiments sont partielles, insuffisantes et souvent inaccessibles. Des réponses doivent être apportées, puisque les sédiments présents dans les ports, fleuves et canaux sont susceptibles d'impacter durablement les écosystèmes et à terme la santé des populations. D'où l'urgence de mettre en oeuvre des solutions opérationnelles maîtrisées et économiquement acceptables, conjointement, au niveau de l'espace maritime Italie-France.

S'inscrivant dans les objectifs définis dans la stratégie Europe 2020, le projet SEDITERRA valorise la production d'éco-matériaux issus de la gestion des sédiments. SEDITERRA propose la structuration opérationnelle de la gestion d'un nouveau déchet public : le déchet sédiment. L'objectif est de mutualiser les résultats d'expériences franco-italiennes via la mise en oeuvre et le suivi d'opérations pilotes de traitements et de valorisations menés à partir des sédiments des ports partenaires.

SEDITERRA vise à élargir un processus de capitalisation par un échange de bonnes pratiques et une appropriation à échelle transfrontalière (Italie/France) permettant l'émergence d'une réglementation adaptée, et commune, de la gestion à terre des sédiments de dragage non-immergeables.

Le projet SEDITERRA a bénéficié du soutien financier de l'Union Européenne, via le Programme Interreg Italie-France Marittimo 2014-2020. Ce programme transfrontalier est cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) sous l'égide de la Coopération Territoriale Européenne (CTE). L'objectif principal du programme Interreg Marittimo est de contribuer à renforcer la coopération transfrontalière entre les régions désignées et à faire de la zone de coopération une zone compétitive, durable et inclusive dans le panorama européen et méditerranéen.

II. ZONE DE COOPÉRATION ET OBJECTIFS DU PROJET SEDITERRA

La zone de coopération du programme Interreg Marittimo est représentée sur l'image suivante :

La coopération au coeur de la Méditerranée

CORSE	Toute la région
LIGURIE	Toute la région
PACA	Alpes-Maritimes Var
SARDAIGNE	Toute la région
TOSCANE	Grosseto Lucca Livorno Massa Carrara Pisa



6,5 MLN
Habitants



199.649.898 €
Financement



169.702.411 €
FESR
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Le territoire Marittimo est ainsi constitué par les zones littorales transfrontalières françaises et italiennes suivantes :

En France : Départements du Var et des Alpes-Maritimes, Collectivité de Corse

En Italie : Régions Ligurie et Toscane, Région Autonome de Sardaigne

Le projet SEDITERRA a disposé un budget global d'environ 1,85 millions d'euros pour (initialement) 36 mois d'activité, de mars 2017 à mars 2020. Suite aux événements sanitaires mondial (pandémie de coronavirus), le projet a bénéficié d'une prolongation pour s'achever en fin octobre 2020.

Les principaux objectifs du projet SEDITERRA peuvent-être résumés comme suit :

- Étendre au territoire Marittimo (Italie/France) les réflexions sur :
 - La gestion terrestre des sédiments de dragage non-immérgeables – en France
 - La gestion marine des sédiments de dragage – en Italie

- Tester et mettre en oeuvre des solutions de pré-traitement/traitement sur les sédiments dragués (Séparation granulométrique, Lavage ; Déshydratation par géotubes ; Mycoremédiation ; Pyrogazéification de fractions de fibres organiques)
- Promouvoir la production d'éco-matériaux (matériaux routiers, béton/mortier) issus de la gestion des sédiments et ainsi suivre les objectifs définis dans la stratégie Europe 2020
- Elargir un processus de capitalisation par un échange de bonnes pratiques et une appropriation à l'échelle transfrontalière (<https://sediterra.net/>)
- Créer un centre de Recherche et Développement (R&D) en méditerranée
- Proposer des « Lignes directrices » pour le traitement durable des sédiments de dragage de l'Aire Marittimo

III. PRÉSENTATION DU PARTENARIAT

Le projet SEDITERRA a mobilisé un partenariat de 7 acteurs français et italiens :

- Département du Var (Partenaire institutionnel - Chef de file du partenariat)
- INSA de Lyon (Laboratoire DEEP) (Partenaire scientifique - Coordonnateur du projet)
- Collectivité de Corse (Partenaire institutionnel)
- ISPRA Livourne (Partenaire scientifique)
- Province de Pise (Partenaire institutionnel et scientifique)
- Région Autonome de Sardaigne (Partenaire institutionnel et scientifique)
- Université de Gènes (laboratoire DISTAV) (Partenaire scientifique)

Ce partenariat s'est structuré selon le schéma suivant :



✓ **Département du Var (Toulon) – Partenaire institutionnel - Chef de file du partenariat**

Le Département du Var est une collectivité territoriale française qui intervient dans de nombreux domaines de compétence au service des citoyens. Depuis début 2000, le Département a travaillé sur la question de la gestion à terre des sédiments, tout d'abord dans le cadre de ses compétences en matière de gestion portuaire puis de ses compétences, reconnues au niveau national, en matière de gestion de déchets. Le Département a ainsi conduit deux projets majeurs relatifs aux sédiments. Le projet « Gestion des SEDiments MARins Dragués SEDIMARD 83 » visait à identifier le gisement des sédiments portuaires varois et à tester de multiples traitements. Le projet « Cap sédiments » a permis une capitalisation vulgarisée des projets sur la gestion des sédiments accessibles aux gestionnaires portuaires et fluviaux.

Le Département a poursuivi son action en matière de gestion des sédiments dans le cadre de sa compétence liée aux politiques d'enseignement supérieur et de recherche sur une problématique conduite en partenariat avec la Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur, la Métropole Toulon Provence Méditerranée et l'Agence de l'Eau, qui a abouti en 2015 à l'inauguration de la première plateforme méditerranéenne de traitements des sédiments.

En tant que chef de file du projet SEDITERRA, il a ainsi capitalisé 15 années de travaux sur le traitement durable et la maîtrise des sédiments de dragage.

Personnel technique impliqué : Jean-Luc AQUA, Ilaria FRANZETTI-TIVOLLE, Laurent LOUBRIEU, Loïc VINCENT

Personnel administratif impliqué : Aude PALMARO, Linda ARTETA-PERRIN

✓ **INSA (Institut National des Sciences Appliquées) de LYON – Laboratoire DEEP (Déchets Eau Environnement Pollution) - Partenaire scientifique - Coordonnateur du projet**

Créé en 1957 par le philosophe Gaston Berger et le recteur Jean Capelle, l'INSA de Lyon, organisme public, est le plus ancien et le plus important des six établissements du Groupe INSA. C'est aujourd'hui la plus importante école d'ingénieurs post-bac en France. Une formation d'ingénieur d'excellence en 5 ans post-bac dans 9 spécialités du Génie civil au Génie énergétique et Environnement en passant par les Télécommunications ou les Biosciences pour un total de 6300 étudiants (dont 5 200 élèves-ingénieurs) et 1300 diplômés chaque année.

L'INSA de Lyon est aussi un important centre de recherche avec 23 laboratoires, plus de 600 chercheurs et enseignants-chercheurs, 650 doctorants et plus d'un millier de contrats industriels avec le monde socio-économique, structurée autour de cinq grands enjeux sociétaux : Énergie pour un Développement Durable ; Environnement : Milieux naturels, Industriels et Urbains ; Information et Société Numérique ; Santé Globale et BioIngénierie ; Transport : Structures, Infrastructures et Mobilités.

Les entités de l'INSA de Lyon de l'enjeu Environnement, qui sont intervenus dans SEDITERRA sont le laboratoire DEEP et la plate-forme PROVADEMSE d'INSAVALOR (filiale de valorisation de l'INSA de Lyon).

Le laboratoire DEEP et la plate-forme d'innovation technologique PROVADEMSE de l'INSA de Lyon, opérée par sa filiale INSAVALOR travaillent conjointement à la problématique des sédiments depuis de nombreuses années. Les travaux réalisés concernent les thématiques suivantes : 1) sédiments continentaux issus des eaux pluviales (transfert de polluants, sédimentation, érosion, décantation) ; 2) dépollution et valorisation de sédiments marins et continentaux contaminés.

L'INSA de Lyon a été le principal acteur public contributeur du programme PCB AXELERA sur le développement et la validation à l'échelle pilote de technologies de traitement des sédiments du bassin du Rhône contaminés aux PCB. Le laboratoire DEEP et PROVADEMSE ont également participé à des travaux de recherche plus amont sur la définition des critères d'évaluation de l'impact environnemental des sédiments en scénarios de valorisation tels que l'ANR SEDIGEST ou le programme SEDIMARD du Département du VAR, tous deux ayant conduit à la production de guides d'application, valorisés à travers le site CAP-Sédiments.

Par ailleurs les experts du laboratoire DEEP et de PROVADEMSE interviennent auprès de la DG Environnement pour la vérification des écotechnologies (programme ETV) et auprès du Ministère de l'Ecologie pour la préparation des documents techniques concernant les guides pour la valorisation des matériaux en construction.

L'INSA de Lyon de par son expérience sur la question de la caractérisation physico-chimique et écotoxicologique, des traitements (ex. Essais de pyrogazéification des fibres de posidonies, Etude de la Réactivité des sédiments marins au contact de l'air) et de la valorisation des sédiments, aussi bien marins que continentaux, est reconnu comme expert français sur le sujet. Son expertise et ses moyens scientifiques et humains ont été mis au service du projet et du partenariat de SEDITERRA.

L'INSA de Lyon a assuré la coordination technique et scientifique du projet global. De plus, INSA Lyon a été en charge de l'analyse (avec ISPRA Livourne) des sédiments dragués par les partenaires du projet, de la mise en œuvre et du suivi des pilotes de valorisation, de la mise en œuvre du traitement des fibres organiques par pyrogazéification, de l'étude laboratoire de la réactivité des sédiments dragués au contact de l'air. L'INSA de Lyon a également eu la charge de mettre en place un centre de Recherche et Développement (R&D) en méditerranée (sur le site du CPEM ENVISAN à la Seyne/mer).

Personnel technique impliqué : Jacques MEHU, Erwan TESSIER, Vincent CHATAIN, Rémy BAYARD, Mathieu GAUTIER

Personnel administratif impliqué : Agnès BRUNELLA, Marjorie DUVOISIN, Corinne GRAN-IAFRATE, Nathalie GOUBET, Leslie GAILLARD

Interlocuteurs INSAVALOR - Plateforme PROVADEMSE : Mohamed ABDELGHAFOUR,
Emmanuel VERNUS

✓ **ISPRA LIVOURNE - Partenaire scientifique**

L'Institut Supérieur pour la Protection et la Recherche environnementale (ISPRA) est un organisme public italien de recherche, créé avec la loi n°133/2008, sous la surveillance du ministre de l'environnement et de la protection du territoire et de la mer.

L'ISPRA s'occupe de la protection de l'environnement et des situations d'urgences et mène des recherches et des expérimentations, des contrôles, des évaluations et des surveillances dans le domaine de l'environnement. Avec la loi n°132/16 est né "Le système de réseau national pour la protection de l'environnement" - SNPA qui comprend toutes les agences régionales de protection de l'environnement (ARPA et APPA) avec la coordination d'ISPRA pour la réalisation d'assistances techniques et scientifiques, de conseil stratégique, d'évaluation, de contrôle, d'inspection et d'information et de diffusion d'informations sur les questions environnementales, à la fois directement et en soutien du ministère de l'environnement et de la protection de la terre et de la mer.

ISPRA coopère également avec l'Agence européenne pour l'environnement et avec les institutions et organisations nationales et internationales actives dans le domaine de la protection de l'environnement. ISPRA promeut de nombreux programmes d'études nationaux et internationaux, également en collaboration avec d'autres organismes publics et privés de haute pertinence technique et scientifique.

En tant qu'observateur privilégié des réalités marines côtières nationales, l'ISPRA peut s'appuyer sur des expériences menées sur l'ensemble du territoire marin côtier italien.

ISPRA réalise des études, des recherches et des applications techniques/scientifiques dans le domaine du dragage portuaire concernant la caractérisation environnementale et la gestion des sédiments portuaires, y compris l'identification des sites de déversement contrôlé en mer et fournit un soutien législatif en formulant des lignes directrices tant pour la caractérisation des sites en mer que pour le traitement des sédiments contaminés. Les activités menées dans ce domaine concernent notamment :

- L'élaboration de critères intégrés (chimico-physiques, biologiques et surtout écotoxicologiques) pour la caractérisation, la gestion des sédiments et l'évaluation de la qualité des milieux marins
- L'expérimentation de technologies innovantes pour le traitement des sédiments marins en vue de leur réutilisation respectueuse de l'environnement et éco-durable (rechargement des plages côtières, matériaux de remplissage, utilisation pour les plates-formes routières)

- la définition de manuels techniques et de lignes directrices sur les questions décrites ci-dessus, pour la diffusion des bonnes pratiques environnementales et pour la mise en œuvre réglementaire et législative correspondante.

ISPRA dispose de sites répartis dans toute l'Italie, dont la section expérimentale pour l'évaluation des risques écologiques dans les zones marines côtières à Livourne. Le personnel d'ISPRA Livourne, en collaboration avec ses collègues du siège à Rome, possède des compétences et une expérience dans l'identification de critères pour l'évaluation de la qualité environnementale des sédiments et des environnements contaminés, ainsi que dans la surveillance du mouvement des fonds marins, dont ont résulté des réglementations récentes (DD 8-06-2016, DM 173/2016, DM 172/2016).

ISPRA dispose d'un savoir-faire utile pour définir les exigences de qualité des eaux portuaires, notamment en présence d'activités particulières (pêche, conchyliculture) et de milieux à valeur environnementale et naturaliste particulière (SIC, zones marines protégées). Le groupe de travail, détaché à Livourne, mène des activités de recherche et d'expérimentation concernant la distribution et les effets sur le biote des polluants traditionnels et émergents et développe des procédures d'investigation, des méthodologies innovantes et des critères d'évaluation pour la surveillance et la gestion de l'eau et des sédiments côtiers marins, en se basant sur des approches multidisciplinaires.

ISPRA fournit également un soutien technico-scientifique au ministre de l'environnement et de la protection de la terre et de la mer, aux administrations publiques et aux autorités portuaires sur les questions liées à la manipulation, à l'immersion en mer de matériaux d'excavation côtiers des fonds marins, dans le domaine de l'écotoxicologie et dans la mise en œuvre de la législation et des conventions internationales en vigueur dans le secteur.

L'expertise d'ISPRA dans le projet SEDITERRA est particulièrement pertinente pour la caractérisation et l'évaluation de la qualité environnementale des matrices solides (sédiments) et liquides (eau de mer et de traitement), le traitement expérimental et la gestion éco-compatible des sédiments de dragage soumis à des traitements physico-chimiques.

Personnel technique impliqué (ISPRA LIVOURNE) : Enrichetta BARBIERI, Fabiano PILATO, David PELLEGRINI, Andrea LA CAMERA, Davide SARTORI, Andrea BIANCO, Alice SCUDERI, Valentina VITIELLO, Lorenzo MORRONI, Stefano FERRARI

Personnel technique impliqué (ISPRA ROME) : Sara DASTOLI, Elena MUMELTER, Valentina TRAMA, Roberta GIRARDI, Gianluca CHIARETTI

✓ **DISTAV Gènes - Partenaire scientifique**

Le Département des Sciences de la Terre, de l'Environnement et de la Vie (DISTAV) de l'Université de Gènes rassemble dans une même structure des champs disciplinaires variés (géologie, géochimie, botanique, zoologie, écologie et océanographie) et les réunit autour d'intérêts scientifiques et professionnels communs. Cela permet d'étudier les composantes environnementales sous différents angles et avec différentes approches, et représente la base d'une recherche appliquée qui peut apporter une contribution tangible et efficace sur le territoire en influençant les politiques territoriales de gestion pour une planification pertinente.

Les compétences de DISTAV au sein du projet ont principalement concerné l'analyse de la législation appliquée à la gestion des sédiments portuaires dragués, le recensement des sédiments à draguer dans les ports liguriens, la caractérisation des sédiments portuaires et leur traitement avec l'application de la mycoremédiation. Le projet impliquait le Laboratoire d'océanographie physique, qui mène des activités technico-scientifiques dans le domaine de la surveillance des ports depuis plusieurs années, et le Laboratoire de mycologie qui s'occupe des micro- et macro-mycètes en se référant particulièrement aux aspects d'application inhérents à la biorestoration. Pour la partie législative et pour l'analyse chimique des sédiments dragués, le DISTAV a fait appel à la précieuse collaboration de l'Agence Régionale de Protection de l'Environnement Ligure (ARPAL).

Personnel technique impliqué (DISTAV Gènes) : Marco CAPELLO, Laura CUTRONEO, Greta VAGGE, Mirca ZOTTI, Grazia CECCHI, Simone DI PIAZZA, Ilaria SPOTORNO, Elena MORANDO, Stefano LESTER

Personnel technique impliqué (ARPAL) : Rosa Maria BERTOLOTTI, Maria Grazia PIZZONI

✓ **Région Autonome de Sardaigne (RAS) – Partenaire institutionnel et scientifique**

Le département des transports de la région autonome de Sardaigne est responsable des infrastructures et des services de transport public au niveau régional, des liaisons maritimes avec les petites îles et des liaisons aériennes avec la péninsule.

Le service pour l'infrastructure, la planification stratégique et l'investissement dans les transports effectue la planification, la coordination, la mise en œuvre et la supervision des interventions en matière d'infrastructure de transport ; les études de faisabilité ; la conception d'interventions infrastructurelles et participe aux comités techniques régionaux.

Parmi les responsabilités du département des transports figurent les suivantes : suivi, rapport et gestion des ressources communautaires, nationales et régionales sur les interventions d'infrastructure ; activité administrative sur les contrôles des opérations régionales concernant les ressources communautaires et nationales relevant de sa compétence ; activité technico-administrative liée à la mise en œuvre d'interventions communautaires, nationales et régionales dans le domaine des infrastructures de transport ; activités administratives et comptables liées à la mise en œuvre des plans d'investissement relatifs aux travaux d'infrastructure ; rédaction et mise à jour, en collaboration avec les autres Services, du Plan Régional de Transport (PRT) ; mise à jour des différents plans sectoriels d'importance communautaire, nationale, régionale et locale sur la mobilité, en liaison avec les autres services.

Gabriella Massidda est la directrice générale du ministère des transports et Delfina Spiga est la directrice du service des infrastructures, de la planification stratégique et des investissements dans les transports.

Les personnels impliqués dans le projet SEDITERRA sont les suivants :

Personnel administratif impliqué (RAS) : Enrica CARRUCCIU et Alessandra ZOPPEDDU

Personnel administratif impliqué (ADSP Mer de Sardaigne - Autorité de Système Portuaire) : Sergio MURGIA, Alessandra MANNAI

Personnel technique impliqué (Ville métropolitaine de Cagliari) : Giuseppina CARTA, Salvatore PISTIS, Marco DIANA

✓ **Province de Pise - Partenaire institutionnel et scientifique**

Le secteur "Environnement, Planification stratégique, Participations" de la province de Pise fusionne les services de développement économique, les politiques communautaires, la planification territoriale et le Système d'Information Territoriale (SIT) préexistants et s'occupe de l'interaction avec le territoire en ce qui concerne :

- Coordination de l'aménagement du territoire
- Système d'information territoriale (SIT)
- Protection et amélioration de l'environnement, dans la mesure où il est concerné
- Système public élargi et participations des entreprises

Au sein du secteur, le bureau des Politiques Communautaires favorise la participation des acteurs institutionnels, sociaux et économiques du territoire provincial aux Programmes communautaires de soutien aux territoires, en fournissant des informations sur les différentes possibilités de financement offertes par l'Union Européenne, en réalisant directement des activités administratives ou technico-administratives liées à la gestion des projets financés, en coordonnant les activités des communes et des autres sujets du territoire lorsqu'ils participent en tant que partenaires à la réalisation des actions de projet.

Le directeur du secteur Environnement, Planification stratégique, et Participations est Giuseppe Pozzana, qui est responsable de la réalisation du projet SEDITERRA.

Les activités administratives et de reporting du projet SEDITERRA ont été gérées par Luca Anghelè. Les activités techniques du projet ont été réalisées, en collaboration avec la Province de Pise, par deux partenaires tiers-conventionnés :

- La Société Navicelli di Pisa Srl : Navicelli di Pisa Srl est une société à capitaux entièrement publics, créée pour gérer le canal Navicelli et les zones voisines appartenant à l'État. Il prévoit le maintien de l'efficacité et de l'utilisation du canal, notamment en ce qui concerne les interventions de dragage et l'ouverture de ponts pour le passage des bateaux.
- Le Département des Sciences de la Terre de l'Université de Pise (DST) : Le DST encourage et coordonne les activités de recherche dans les domaines des sciences géologiques. Les activités de recherche menées couvrent les disciplines suivantes : paléontologie, géologie stratigraphique, géologie structurale, géomorphologie, géologie appliquée, minéralogie, pétrographie, géochimie, volcanologie, pétrographie appliquée et géophysique. Les chercheurs du DST mènent leurs recherches fondamentales dans le cadre de collaborations internationales grâce à l'acquisition de financements publics tels que les fonds ministériels italiens, les fonds régionaux, les fonds provenant du financement européen de la recherche ou les fonds d'autres organismes publics internationaux.

Les chercheurs du DST accordent une attention particulière au transfert de technologie en activant des accords avec des organismes publics et/ou des entreprises nationales et étrangères.

Personnel administratif impliqué (Province de Pise) : Luca ANGHELE, Giuseppe POZZANA

Personnel technique impliqué (Société Navicelli di Pisa Srl) : Nicola D'ANDRETTA, Salvatore PISANO, Gaetano PETRIZZO

Personnel technique impliqué (Université de Pise) : Giovanni SARTI, Irene SAMMARTINO

✓ **Collectivité de Corse - Partenaire institutionnel**

La Collectivité de Corse est née au 1^{er} janvier 2018 de la fusion de la Collectivité Territoriale de Corse (niveau régional) et des deux Conseils départementaux de Corse-du-Sud (2A) et de Haute-Corse (2B). Elle dispose de compétences particulières, fixées par le Code général des collectivités territoriales, dans les domaines de :

- L'éducation (schéma prévisionnel des formations ; construction et entretien des collèges, lycées, établissements publics d'enseignement professionnel, artistique, d'éducation spéciale, lycées professionnels maritimes, établissements d'enseignement agricole et centres d'information et d'orientation et certains établissements d'enseignement supérieur)
- La culture et communication (politique culturelle, développement de la langue et de la culture corses)
- Le sport et l'éducation populaire (promotion des activités physiques et sportives, d'éducation populaire et d'information de la jeunesse)
- Le plan d'aménagement et de développement durable
- Les transports (exploitation des transports ferroviaires, continuité territoriale avec le continent, routes nationales)
- La gestion des infrastructures de transport (ports maritimes de commerce et de pêche, aérodromes, réseau ferré)

En dehors de sa participation à une coopération européenne qui se base sur les programmes européens (MED, IEVP, Interreg, IF-Maritime ...) la Collectivité de Corse peut mener ou participer à des actions de partenariat avec des autorités locales étrangères pour lui permettre de mettre en avant les spécificités, les expériences et le savoir-faire des différents acteurs (institutions, entreprises, associations) de son territoire dans les secteurs les plus variés : économique, culturel, scolaire, sportif, humanitaire ...

Personnel administratif impliqué : Denis TOMA, Jean-Luc CAVATORTA, Dominique MOURIES, Pierre DOLFI

IV. SYNTHÈSE RÉGLEMENTAIRE DE LA GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE MARINS ET ESTUARIENS ET PROCÉDURES DE TRANSPORT APPLICABLES

4.1) CADRE RÉGLEMENTAIRE FRANÇAIS

Les opérations de dragage sont soumises aux procédures d'Autorisation ou de Déclaration au titre de la Loi sur l'Eau, suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques (articles L.214-1 à L.214.6 du Code de l'Environnement).

Pour les sédiments marins et estuariens, les conditions selon lesquelles le dragage est soumis à Autorisation (A) ou Déclaration (D) sont précisées dans l'article R.214-1, rubrique 4.1.3.0 du Code de l'Environnement : « Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin » et s'appuient sur la composition chimique des rejets et sédiments ; les quantités à prélever ; la localisation des sédiments à draguer et la façade maritime concernée. (Voir ANNEXE 1)

La demande d'Autorisation (rédigée selon article R. 214-6 du Code de l'Environnement) ou de Déclaration (rédigée selon article R. 214-32 du Code de l'Environnement) de dragage, qui présente de façon globale l'ensemble du projet de dragage (composition chimique des sédiments à draguer, quantités à prélever, localisation des sédiments à draguer et façade maritime concernée, objet du dragage, choix des techniques utilisées, exutoires disponibles, évaluation des impacts du projet sur l'environnement, évaluation des incidences Natura 2000, enquête publique,...) est déposée pour avis et validation à un unique service instructeur par le maître d'ouvrage. Sur la base de la proposition qui lui est faite, où toutes les possibilités sont envisagées, le service instructeur prononce sa décision et valide ou non le dossier de dragage.

L'instruction des dossiers de demande est assurée par le Préfet de Région et ses services techniques dont la police de l'eau (hébergés au sein de la DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) ou de la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement).

Le maître d'ouvrage est la personne physique ou morale en charge de l'opération de dragage, qui a la responsabilité du bon respect des procédures réglementaires liées à sa mise en oeuvre. En France, les maîtres d'ouvrage peuvent être, fonction du mode de gestion administratif de la zone à draguer, les Autorités portuaires ; les Collectivités territoriales ou locales ; la Marine Nationale ; ou des Opérateurs privés.

Les caractéristiques environnementales des matériaux à draguer, en particulier leur composition chimique, conditionnent donc leur devenir et contribuent à la définition du cadrage réglementaire de l'opération.

Ainsi, si les niveaux de contamination demeurent inférieurs aux niveaux N1 et N2 (seuils GEODE définis dans l'arrêté interministériel du 14 juin 2000, révisé par les arrêtés du 9 août 2006, 23 décembre 2009, 8 février 2013, et 17 juillet 2014) alors les sédiments pourront être orientés vers une gestion marine (immersion ou rejet en mer ou en zone estuarienne). Dans le cas contraire, et sauf dérogation des autorités compétentes (pouvant être basée sur une investigation complémentaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1), dès qu'un unique dépassement du niveau N2 est constaté alors le sédiment dragué doit être orienté vers une gestion terrestre (stockage ou valorisation) où le sédiment prend alors *de facto* le statut de déchet (Directive Cadre sur les Déchets du 19 novembre 2008 : Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil). (Voir ANNEXE 2)

Selon la liste européenne des déchets, définie à l'annexe II de l'article L. 541-8 du code de l'Environnement, les sédiments (ou boues) de dragage relèvent des rubriques suivantes :

- **17 05 05*** : Boues de dragage contenant des substances dangereuses
- **17 05 06** : Boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05

Pour déterminer le statut dangereux ou non-dangereux de chaque gisement de sédiments géré à terre, il est nécessaire de vérifier les 15 propriétés de danger énumérées à l'annexe I de l'article L. 541-8 du code de l'environnement (HP1 à HP15). Notons que les sédiments ne sont pas concernés par les propriétés HP1, HP2 et HP3. Les propriétés HP4, HP5, HP6, HP7, HP8, HP10, HP11 et HP13 peuvent être évaluées par comparaison directe des teneurs présentes dans le sédiment avec des valeurs seuils (définies par le groupe de Travail « Dangerosité » piloté par l'INERIS et le CEREMA – Voir ANNEXE 3). Les propriétés HP9 et HP15 n'ont pour l'heure aucune méthode d'évaluation. Le classement du déchet sédiment selon ces propriétés de danger se base sur la connaissance du déchet et son origine. La détermination du caractère écotoxique HP14 (selon protocole du 01/10/2009 établi par le groupe de travail « Dangerosité des sédiments » du MEEDDM pour la mesure de l'écotoxicité des sédiments marins et continentaux destinés à une gestion à terre – Voir ANNEXE 4) n'est à réaliser réglementairement que lorsqu'un unique paramètre dépasse les niveaux de référence S1 associés au sédiment définis dans l'Arrêté du 9 août 2006 (voir ANNEXE 2). Si le déchet sédiment ne répond à aucune des propriétés de danger, alors il est classé « non-dangereux » (Article R. 541-8 du code de l'environnement). Inversement, une réponse positive à une (ou plusieurs) des propriétés de danger classe automatiquement le sédiment dans la catégorie des déchets dangereux.

Un sédiment sera considéré inerte s'il respecte les teneurs en contenu total et lixiviable définis dans l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes (abrogé et remplacé par l'arrêté du 12 décembre 2014). Si le sédiment ne respecte pas les valeurs définies, alors il sera classé comme déchet non-inerte. (Voir ANNEXE 5)

La classification du déchet sédiment (*i.e.* dangereux/non-dangereux/inerte) permet de définir les filières de gestion légalement disponibles. En effet, lorsque le déchet sédiment ne peut être valorisé, il doit être stocké (éliminé) dans une installation de stockage des déchets (ISD).

En France, il existe 3 principaux types d'installation de stockage des déchets :

- 1) ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes (Décharge de Classe 3)
- 2) ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (Décharge de Classe 2)
- 3) ISDD : Installation de Stockage de Déchets Dangereux (Décharge de Classe 1)

Chacune de ces installations disposent de critères d'admission propres basées sur une évaluation du contenu total et lixiviable du déchet (Ex. Arrêté du 12/12/2014 pour stockage déchets inertes). (Voir ANNEXE 5)

Les possibilités de gestion à terre du sédiment dragué (*i.e.* Elimination vs. Valorisation) dépendent des caractéristiques physico-chimiques, environnementales et géotechniques du sédiment considéré. Différentes opérations de prétraitements et traitements sont disponibles (ex. Déshydratation ; Criblage/Dégrillage ; Bioremédiation ; Hydrocyclonage, Centrifugation ; Ajout de flocculants ou autres additifs chimiques ; Traitements thermiques ; etc.) pour permettre d'améliorer les caractéristiques du déchet sédiment et ainsi limiter les coûts économiques liés sa gestion (voir chapitre suivant).

Ces opérations ont pour objectifs, soit de diminuer sa charge polluante pour ainsi autoriser une valorisation ou pour gagner des classes de stockage ; soit d'isoler certaines fractions spécifiques du déchet pour limiter le volume à stocker et augmenter la part valorisable. Cela sous-entend qu'un sédiment initialement classé déchet dangereux, pourra néanmoins être en partie valorisé, si suite à une opération de prétraitement ou de traitement, la fraction dangereuse a pu être isolée et retirée de la fraction non-dangereuse.

En effet, la réglementation française n'autorise les opérations de valorisation que pour des sédiments classés comme déchets non-dangereux. La directive cadre sur les Déchets (2008/98/CE) stipule que « la valorisation des déchets est la filière de gestion prioritaire, l'élimination ne devant être envisagée qu'en l'absence de solution autre ».

Les principales filières de valorisation des sédiments de dragage sont les suivantes : Rechargement des plages ; Technique routière ; Génie Civil – Matériaux de construction ; Travaux Publics Maritimes ; Aménagements paysagers ; Réhabilitation de carrière ; Epannage agricole ; Couverture d'installation de stockage des déchets ; etc. (voir chapitre suivant).

Pour chaque opération de valorisation des sédiments, il est recommandé :

- De procéder à une évaluation environnementale de l'ouvrage de valorisation (selon norme NF EN 12920+A1 - Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées)

- De respecter les guides et référentiels existants propres à chaque filière (voir livrable T1.2.4)
- D'assurer une traçabilité des sédiments valorisés

N.B. : Un schéma synoptique des procédures réglementaires applicables au projet de dragage et au choix des filières de gestion (d'après « Guide pour la rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin – GEODE 2014 ») est présenté en ANNEXE 6.

4.2) CADRE RÉGLEMENTAIRE ITALIEN

En Italie, la réglementation des opérations de dragage est définie en fonction de la zone où sont situés les sédiments à draguer : soit dans des zones SIN (pour Sites d'Intérêt National) ; soit dans des zones non-situées dans un SIN. Les zones SIN sont des aires portuaires ou zones marines côtières présentant un besoin de « bonification », soit parce qu'elles présentent une contamination excessive qu'il est nécessaire de remédier, soit parce qu'elles présentent un intérêt écologique particulier qu'il faut préserver. Les zones non SIN sont des aires portuaires ou zones marines côtières non situées en zones SIN.

Les opérations de dragage réalisées au sein des SIN sont régies par l'article 5-bis de la Loi L. 84/1994 (et ses modifications et adjonctions successives) et par le Décret Ministériel (DM) 172/2016 (« Règlement régissant les modalités et normes techniques relatives aux opérations de dragage sur les Sites d'Intérêt National »), sur la base des résultats d'analyses physico-chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques, selon les termes du DM du 7/11/2008 et ses modifications et adjonctions successives.

Les opérations de dragage réalisées à l'extérieur des SIN sont régies par le DM 173/2016 ("Règlement fixant les modalités et les critères techniques d'autorisation de l'immersion en mer de matériaux excavés des fonds marins") et par le DM du 24/01/1996, sur la base des résultats d'analyses physico-chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques, définis dans ces mêmes décrets.

La gestion italienne des sédiments de dragage est orientée quasi-exclusivement vers une gestion marine. La gestion terrestre ne concerne que les sédiments de dragage interdits à une gestion marine (ex. sédiments dangereux) et dont l'exutoire est un stockage en décharge de déchets ; ou ceux dragués dans des zones « SIN », respectant des conditions strictes (cf. point 3 suivant), qui peuvent être employés à terre, tels quels, ou suite à des traitements de désalinisation ou d'élimination des substances polluantes. Comme indiqué précédemment, les méthodologies et les critères d'exécution des activités de caractérisation des sédiments à draguer en zone SIN sont définis dans le DM 7/11/2008 (modifié par le DM 04/08/2010).

Le plan d'échantillonnage prévu pour la caractérisation des sédiments à draguer doit permettre de formuler une hypothèse fiable sur la répartition de la contamination dans l'espace.

Dans la mesure du possible, l'analyse géostatistique doit être l'outil à privilégier. En l'absence d'élaboration géostatistique, un critère de précaution doit être utilisé pour calculer et caractériser les volumes à gérer.

Concernant la gestion des sédiments de dragage en zone SIN, les possibilités suivantes sont identifiées, en fonction d'exigence de qualités spécifiques définies selon leurs caractéristiques chimiques, physiques, microbiologiques et écotoxicologiques :

- 1)** Dépôt ou reflux dans les masses d'eau d'où ils proviennent ou utilisation pour le remblayage des plages et la formation de sols côtiers, ou pour améliorer l'état des fonds marins par des activités de « capping » : Ces possibilités de gestion marine concernent les sédiments issus des SIN qui présentent, directement ou suite à des traitements ayant pour seul but d'éliminer les polluants (à l'exclusion donc des procédés visant à immobiliser les polluants par solidification ou stabilisation), des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques similaires à celles du site de destination ; et qu'ils ne présentent pas de résultat positif aux tests écotoxicologiques.
- 2)** Refoulement à l'intérieur de casiers étanches, de vasques de collecte ou immobilisation dans des bassins de confinements réalisés en appliquant les meilleures techniques disponibles (conformément aux critères de conception formulés par les normes techniques internationales accréditées et adoptées dans les États membres de l'Union européenne). Les sédiments concernés par ces modes de gestion doivent présenter des caractéristiques garantissant l'absence de risques pour la santé et l'environnement, en relation avec l'obligation de ne pas détériorer la qualité des matrices écologiques, du sol, du sous-sol, des eaux souterraines, des eaux de surfaces, des eaux marines et de transition. Cette réutilisation est autorisée si les sédiments sont jugés non dangereux à l'origine ou suite à des traitements exclusivement destinés à l'élimination des polluants (à l'exclusion donc des procédés visant à immobiliser les polluants par solidification ou stabilisation).
- 3)** Utilisation à terre des sédiments à condition que, tels quels, ou après traitement de désalinisation ou d'élimination des polluants (à l'exclusion donc des procédés visant à immobiliser les polluants par solidification ou stabilisation), ils ne présentent pas, en fonction de la destination d'utilisation, des niveaux de contamination supérieurs à ceux indiqués aux colonnes A et B - Tableau 1 - Annexe 5 - Partie IV du D. Lgs. 152/2006, et qu'ils demeurent conformes aux valeurs limites en contenu lixiviable (« tests de cession » réalisés selon norme EN 12457-2) définies à l'annexe 3 du DM du 05/02/1998 pour la gestion à terre, révisé par l'article 252 du D. Lgs. 152/2006 (lui-même complété par le DM 172/2016 qui traite de la gestion environnementale des phases de dépôt à terre sur les sols). (Voir ANNEXES 7 et 7bis)

Par ailleurs, dans le cas d'une utilisation à terre des sédiments dans des zones à strates naturellement salées, il est possible d'obtenir une dérogation de dépassement des teneurs lixiviables définies à l'annexe 3 du DM du 05/02/1998 (voir ANNEXE 7bis) pour les sulfates et chlorures, à condition que, avec l'accord de l'autorité territoriale compétente de l'ARPA (Agence régionale de protection de l'environnement), toute modification des caractéristiques du sol récepteur soit évitée.

Pour ces 3 principales filières, le DM 172/2016 offre la description, pour toutes les phases de gestion des sédiments (du dragage au dépôt en passant par le transport, conformément aux usages prévus au paragraphe 2 de l'article 5 bis de la Loi L. 84/1994), des procédures applicables à ces opérations, ainsi que les mesures d'atténuation et les critères de préparation et de mise en oeuvre des activités de surveillance. Demeurent exclues de son champ d'application, les opérations d'entreposage, de transport et de traitement des matériaux qui ne répondent pas aux exigences de qualité établies pour leur utilisation conformément à l'art. 5 bis, L. 84/1994 (et qui restent soumis au régime général des déchets, visés partie IV du D. Lgs. 152/2006), ainsi que les opérations relatives aux matériaux résultant d'opérations de dragage dans les SIN mais destinées à être gérées en dehors des SIN (qui-elles sont régies en application du DM 173/2016 – voir après).

Comme indiqué précédemment, les opérations de dragage en dehors des SIN sont réglementées par le DM 173/2016 qui établit les modalités d'octroi de l'autorisation d'immersion volontaire en mer des matériaux visés au paragraphe a), alinéa 2, de l'article. 109 du décret législatif 152/2006 (matériaux d'excavation des fonds marins ou des fonds marins saumâtres ou des terres côtières de surface) pour garantir la protection du milieu marin.

Cette réglementation détermine également :

- Les critères homogènes pour l'ensemble du territoire national relatifs à l'utilisation des matériaux de dragage à des fins de remblayage ou dans des environnements adjacents. Il s'agit des critères, auxquels les régions doivent se conformer, de caractérisation, de classification et d'acceptabilité des matériaux afin d'atteindre ou de maintenir les objectifs de qualité environnementale des masses d'eau marine côtières
- La gestion des matériaux de dragage provenant de zones portuaires et côtières marines non comprises dans les SIN
- La gestion, à l'extérieur des SIN, des matériaux provenant des activités de dragage dans les ports côtiers et les zones marines à l'intérieur des SIN

L'annexe technique du DM 173/2016 réglemente l'ensemble du processus de caractérisation et de gestion des sédiments à déplacer, y compris la planification et la mise en oeuvre de l'échantillonnage, l'analyse en laboratoire (physique, chimique, écotoxicologique, biologique et microbiologique) et la classification de la qualité des sédiments, jusqu'à la formulation d'hypothèses de gestion respectueuses de l'environnement et l'élaboration de plans de surveillance des activités.

Des nouveaux critères d'évaluation intégrée et pondérée ont été introduits dans le DM 173/2016 pour compléter et conforter l'évaluation basée sur les seuls critères d'évaluation tabulaire qui utilisent pour la classification chimique : la comparaison des résultats avec les niveaux chimiques de référence nationaux L1 et L2 (Voir ANNEXE 8) ; pour la classification écotoxicologique : les résultats de la batterie d'essais biologiques utilisés. Les critères d'intégration pondérée appliqués aux analyses chimiques prennent en compte le type de paramètre, le nombre de contaminants supérieur aux seuils établis ainsi que l'importance du dépassement par rapport aux seuils établis, la toxicité pressentie des éléments selon qu'ils figurent dans la liste des substances « prioritaires » ou dans celle des matières « dangereuses et prioritaires » ou qu'ils soient mentionnés dans la Convention de Stockholm sur les POP (Polluants Organiques Persistants) et se fondent sur l'élaboration d'un Quotient de Risque chimique (HQC) permettant de pondérer les sédiments selon leur classement de « risque absent » à « risque très élevé ». Les critères d'intégration pondérée appliqués aux analyses écotoxicologiques prennent en compte les caractéristiques particulières des essais biologiques inclus dans la batterie employée, dont l'importance statistique de la différence d'effet entre l'échantillon et le contrôle ; la gravité de l'effet ; le type d'exposition (aigüe ou chronique) ; la représentativité environnementale de la matrice testée. La classification écotoxicologique pondérée se fonde donc sur un critère de risque écotoxicologique pouvant aller « d'absent » à « très élevé », élaboré à partir de l'intégration pondérée des résultats de toutes les composantes de l'ensemble des batteries d'essais biologiques utilisés.

La catégorie de Qualité des sédiments résulte donc de l'intégration de la classification chimique et écotoxicologique par l'application des critères tabulaires et des critères d'intégration pondérée. Cinq catégories de qualités des sédiments (A, B, C, D, E) ont ainsi été définies, allant de risque « absent – Catégorie A » à « risque élevé – Catégorie E ».

Ces 5 catégories d'appartenance du matériau définissent *in fine* les options de gestion disponibles :

Catégorie A :

- ✓ Remblayage de la plage émergée avec une teneur en fraction fine (silt + argile ; <math><63\mu\text{m}</math>) $\leq 10\%$ ou autre valeur établie sur une base régionale
- ✓ Remblayage de la plage immergée avec fraction sablonneuse prédominante
- ✓ Immersion volontaire dans des zones marines non côtières (au-delà de 3miles nautiques de la côte)
- ✓ Immersion dans un environnement marin côtier adjacent

N.B. : Pour chaque options une activité de surveillance environnementale doit-être prévue.

Catégorie B :

- ✓ Immersion volontaire dans des zones marines non côtières (au-delà d'une distance de 3 milles de la côte) avec surveillance environnementale
- ✓ Immersion dans un environnement contigu à la zone portuaire, y compris pour des opérations de capping, avec surveillance environnementale

Classe C :

- ✓ Immersion dans un milieu contigu de la zone portuaire, capable de contenir toutes les fractions granulométriques des sédiments dragués, y compris des opérations de capping à l'intérieur des zones portuaires avec des mesures de surveillance environnementale adaptées

Catégorie D :

- ✓ Immersion dans un environnement contigu imperméabilisé, avec des mesures de surveillance environnementale adaptées

Catégorie E :

- ✓ Eventuelle élimination de l'environnement marin avec prise de mesures garantissant la sécurité après évaluation des risques, selon les termes de la législation en vigueur

En plus des nouveaux critères d'évaluation intégrée et pondérée qui permettent la revue des classes de qualité des sédiments et des options de gestion, le DM 173/2016 introduit également d'autres éléments importants, tels que : la « Fiche d'Aménagement du Territoire » pour une collecte et une valorisation des informations antérieures en préalable aux phases suivantes ; la possibilité d'adapter le niveau de caractérisation des sédiments en fonction du type d'environnement (Axe 1 : Caractérisation complète pour les zones situées à l'intérieur des ports et les zones situées en dehors de l'entrée des ports et/ou les zones soumises à des obstructions récurrentes ou fortuites de l'accès maritime pour des volumes annuels totaux supérieurs ou égaux à 40 000 m³ / Axe 2 : Caractérisation simplifiée pour les zones côtières non portuaires, les embouchures de fleuves non portuaires, les zones situées à l'intérieur de ports exclusivement de plaisance, les zones situées à l'extérieur de l'entrée des ports et/ou les zones soumises à des obstructions récurrentes ou fortuites de l'accès maritime, pour des volumes totaux annuels de matières inférieurs à 40 000 m³) et en fonction des données déjà disponibles ; la priorité accordée aux résultats de la caractérisation écotoxicologique par rapport aux analyses chimiques. (Voir ANNEXE 9)

N.B. : Un schéma synoptique des procédures de caractérisation, classification et gestion des matériaux de dragage dans des zones NON SIN est présenté en ANNEXE 9.

4.3) PROCÉDURES RÉGLEMENTAIRES RELATIVES AUX TRANSPORTS DES DÉCHETS

Un sédiment de dragage orienté vers une gestion terrestre prend automatiquement le statut de déchet (17.05.05* ou 17.05.06). Ce nouveau statut du sédiment implique, qu'une fois à terre, la réglementation à respecter est celle liée aux déchets, y compris pour les opérations de transports.

4.3.1) TRANSPORT DES DÉCHETS EN FRANCE

La réglementation française encadre la gestion des déchets dans un objectif de protection environnementale et sanitaire. Selon le Ministère de la Transition écologique et solidaire, «Chaque personne qui participe à la gestion du déchet, que ce soit un producteur, un importateur, un exportateur, un exploitant d'une installation de traitement, un collecteur, un transporteur, (...), est tenue de posséder les informations relatives au déchet qu'elle produit, remet à un tiers ou prend en charge et doit tenir à jour un registre chronologique de la production, de l'expédition, de la réception et du traitement du déchet ». Le contenu de ce registre (qui doit être conservé pendant au moins 3 ans), tel que mentionnés aux articles R. 541-43 et R. 541-46 du Code de l'Environnement, est décrit dans l'arrêté du 29 février 2012.

Les informations obligatoires devant figurées au registre, pour chaque flux de déchets transportés ou collectés, sont les suivantes : dates d'enlèvement et de déchargement ; nature du déchet (dangereux/non dangereux) ; quantité ; numéro d'immatriculation du ou des véhicules de transport ; le cas échéant, numéro du ou des Bordereaux de Suivi de Déchets (BSD) ; nom et adresse de la personne remettant les déchets au transporteur ou au collecteur ; nom et adresse de l'installation vers laquelle le déchet est expédié.

Selon l'article R541-50 du Code de l'Environnement (modifié par Décret n°2013-301 du 10 avril 2013 - art. 4) : « Pour exercer l'activité de collecte ou de transport de déchets, les entreprises doivent déposer une déclaration auprès du préfet du département où se trouve leur siège social ou, à défaut, le domicile du déclarant :

- Dès lors qu'elles collectent ou transportent une quantité supérieure à 0,1 tonne par chargement de déchets dangereux définis à l'article R. 541-8
- Dès lors qu'elles collectent ou transportent une quantité supérieure à 0,5 tonne par chargement de déchets non dangereux.

Le transporteur de déchets est par ailleurs soumis à trois obligations principales selon l'article R541-51 du code de l'environnement (modifié par Décret n°2011-828 du 11 juillet 2011 - art. 14). Il doit ainsi s'engager à :

1. Ne transporter les déchets que vers des installations de traitement conformes à la réglementation relative aux déchets

2. Procéder à la gestion des déchets transportés par ses soins qu'il aurait abandonnés, déversés ou orientés vers une destination non conforme à la réglementation relative au traitement des déchets

3. Informer sans délai, en cas d'accident ou de déversement accidentel de déchets, le préfet territorialement compétent

De plus une copie du récépissé préfectoral (obtenu suite au dépôt du dossier de déclaration) doit être conservée à bord de chaque engin de collecte ou de transport et doit être présentée à toute réquisition des agents chargés du contrôle (article R541-53 du code de l'environnement).

4.3.2) TRANSPORT DES DÉCHETS EN ITALIE

Selon la loi italienne, les sédiments de dragage, une fois à terre, acquièrent le statut légal de « déchet ». Leur gestion doit donc être conforme à la réglementation prévue pour ces derniers.

Les normes régissant la gestion et la réhabilitation des sites contaminés sont décrites dans la partie IV du décret législatif du 3 avril 2006, n° 152, ainsi que dans les directives de l'UE, en particulier la directive 2008/98/CE, qui prévoient des mesures destinées à protéger l'environnement et la santé humaine, en prévenant ou réduisant les impacts négatifs de la production et de la gestion des déchets, en réduisant l'impact global de l'utilisation des ressources et en améliorant leur efficacité.

Les règles régissant les transferts de déchets, y compris les transferts transfrontaliers, sont quant à elles traitées dans le Règlement européen (CE) 1013 du 14 juin 2006.

Conformément à l'article 177, paragraphe 4, la traçabilité des déchets doit être garantie depuis leur production jusqu'à leur destination finale. À cette fin, la gestion des déchets doit être effectuée conformément aux obligations établies par le système de suivi de la traçabilité des déchets (SISTRI) visé à l'article 14-bis du décret législatif n°78 du 1er juillet 2009 ou, conformément aux obligations relatives à la tenue des registres d'entrée et de sortie et du formulaire d'identification.

Le formulaire d'identification des déchets (FID) est un document officiel qui garantit la traçabilité du flux de déchets pendant les différentes phases de transport, du producteur/détenteur jusqu'au site de destination. Le FID est l'un des trois instruments, avec le MUD (Modèle Unique de Déclaration environnementale) et le registre d'entrée et de sortie des déchets, prévus par le décret législatif n°22/1997 (Décret Ronchi) et par le décret législatif n°152/2006 dans le but de contrôler et comptabiliser le flux de production des déchets spéciaux.

Le formulaire doit contenir au moins les données suivantes :

- Données d'identification du producteur et du détenteur (même si elles sont identiques)
- Données d'identification du transporteur
- Origine, typologie et quantité du déchet
- Modalités de transport, date et itinéraire d'acheminement
- Données d'identification du destinataire
- Typologie de l'installation de destination

Le formulaire d'identification doit être rédigé en quatre exemplaires, compilé, daté et signé par le producteur des déchets et contresigné par le transporteur qui, ce faisant, atteste avoir reçu les déchets. Le producteur doit conserver une copie du formulaire. Parmi les trois autres copies, contresignées et datées à l'arrivée par le destinataire, une est conservée par le destinataire et deux par le transporteur, qui doit en transmettre une au producteur de déchets susmentionné dans les 3 mois suivant la date de la livraison (art. 193, paragraphe 2, du décret législatif n°152/06).

Les copies du formulaire doivent être conservées pendant 5 ans.

Les formulaires d'identification doivent être numérotés et authentifiés par les bureaux du Trésor italien ou les Chambres de commerce, d'industrie, d'artisanat et d'agriculture ou par les bureaux régionaux et provinciaux responsables des déchets.

Le modèle unique de déclaration environnementale (MUD) constitue une série de déclarations, présentées chaque année par des opérateurs, tels que les transporteurs et les producteurs de déchets, à la Chambre de Commerce concernée. Dans cette déclaration, les déchets sont regroupés par type (à l'aide de codes numériques identifiés dans le catalogue européen des déchets CED), par producteur et par source.

Le décret législatif n°152/2006 classe les déchets :

- Selon l'origine : déchets urbains et déchets spéciaux
- Selon les caractéristiques de dangerosité : déchets dangereux et déchets non dangereux

Les déchets dangereux sont ceux ayant les caractéristiques énumérées à l'Annexe I de la partie IV du décret. Comme déjà mentionné, la liste des déchets, telle qu'elle figure à l'Annexe D de la partie IV du décret, inclut les déchets dangereux et prend en compte l'origine et la composition des déchets et, le cas échéant, les valeurs limites de concentration des substances dangereuses.

Le transport de déchets pour compte propre est régi par l'article 212, paragraphe 8, du décret législatif n°152/2006 (et ses modifications ultérieures) et prévoit des simplifications et des allègements dans les deux cas suivants :

- Transport de déchets spéciaux non dangereux : sans aucune limitation de quantité
- Transport de déchets dangereux : en quantité ne dépassant pas 30 kg ou 30 L par jour

La simplification s'applique uniquement aux producteurs initiaux qui effectuent des opérations de collecte et de transport de leurs propres déchets (c'est-à-dire provenant uniquement de leur propre activité), à condition que «ces opérations constituent partie intégrante et accessoire de l'organisation de l'entreprise par laquelle les déchets sont produits».

Le transport de déchets doit être accompagné du formulaire d'identification.

4.3.3) TRANSPORT TRANSFRONTALIER DU DÉCHET SÉDIMENT

La convention de Bâle, qui encadre et limite le transfert des déchets à l'échelle internationale, est mise en application par sa transcription en droit européen spécifiée dans le règlement (CE) n° 1013/2006 du 14 juin 2006. Ce règlement établit « les procédures et les régimes de contrôle applicables au transfert de déchets, en fonction de l'origine, de la destination et de l'itinéraire du transfert, du type de déchets transférés et du type de traitement à appliquer aux déchets sur leur lieu de destination ».

Il s'applique aux transferts de déchets :

- a) entre États membres à l'intérieur de la Communauté ou transitant par des pays tiers
- b) importés dans la Communauté en provenance de pays tiers
- c) exportés de la Communauté vers des pays tiers
- d) qui transitent par la Communauté sur leur trajet depuis ou vers des pays tiers

En France, depuis le 1^{er} janvier 2016, l'Autorité compétente en charge de l'instruction des dossiers de transferts transfrontaliers de déchets est le Pôle National des Transferts Transfrontaliers de Déchets (PNTTD). Le PNTTD, par application du règlement (CE) n°1013/2006, gère les demandes d'exportation de déchets depuis la France ; d'importation de déchets depuis l'étranger ; ou de transit de déchets par la France. Il assure : L'instruction des notifications écrites préalables ; La délivrance des décisions de consentement ; L'appui aux administrations dans les cas de transferts transfrontaliers de déchets illicites ; Le suivi des procédures administratives en cas de transferts illicites ; La communication et l'information des personnes concernées ; La relation avec les autorités compétentes étrangères en charge de la délivrance des décisions de consentements pour leurs pays.

En Italie, les autorités compétentes d'expédition et de destination sont les régions et les provinces autonomes, tandis que l'autorité de transit est le ministère de l'Environnement, de la Protection du territoire et de la Mer.

Pour définir les procédures applicables au transfert du déchet sédiment, il convient en 1^{er} lieu de déterminer son positionnement par rapport à la réglementation (CE) n°1013/2006 du 14 juin 2006 (modifiée par le règlement (UE) n°660/2014 du 15 mai 2014).

Ainsi, le déchet sédiment apparaît uniquement dans la catégorie suivante du présent règlement :

Annexe V : Déchets soumis à l'interdiction d'exporter définie à l'article 36

Partie 2 : Déchets énumérés à l'annexe de la décision 2000/532/CE

17 05 05* boues de dragage contenant des substances dangereuses

17 05 06 boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05

Selon les préconisations de l'article 36, pour les pays auxquels ne s'applique pas la décision de l'OCDE, les sédiments classés déchets dangereux (*i.e.* codifiés 17 05 05*) ne peuvent pas être exportés de la communauté pour être valorisés. En revanche, si le sédiment est classé déchet non-dangereux (*i.e.* codifiés 17 05 06), il est possible de les exporter vers ces pays.

Dans le cas général, chaque pays est en droit d'interdire l'importation de déchet dangereux (parmi lesquels les sédiments dangereux) sur son territoire (que ce soit pour des opérations d'élimination ou de valorisation).

Concernant, les procédures générales applicables au déchet sédiment telles que décrites à l'article 3 du titre II du règlement (CE) n°1013/2006, il ressort que le déchet sédiment fait partie de la catégorie des « déchets pour lesquels il n'existe pas de rubrique propre dans les annexes III, III B, IV ou IV A » ; et qu'il est donc soumis aux procédures de notification et de consentements écrits préalables pour son transport transfrontalier vers des installations d'élimination ou de valorisation.

Considérant les prescriptions de procédure prévues à l'article 18 du règlement, il apparaît que le transport transfrontalier du déchet sédiment, à des fins d'analyse en laboratoire et pour des quantités maximales de 25kg, peut être dispensé des procédures de notification et de consentement écrits préalables et n'a besoin d'être accompagné que par le document d'information (*i.e.* CERFA N° 14133*01).

Par ailleurs, « dans des cas exceptionnels et si une situation géographique ou démographique particulière le justifie, les États membres peuvent, pour le transfert transfrontalier vers les installations appropriées les plus proches situées dans l'espace frontalier situé entre les deux États membres concernés, conclure des accords bilatéraux prévoyant des assouplissements de la procédure de notification pour le transfert de flux spécifiques de déchets ».

Les conditions permettant ces assouplissements de procédures sont détaillées dans l'article 30 du règlement.

❖ PROCÉDURES DE NOTIFICATION ET DE CONSENTEMENT ÉCRITS PRÉALABLES

Lorsque le notifiant veut procéder à un transfert transfrontalier de sédiments pour des opérations d'Élimination ou de Valorisation, il adresse une notification écrite préalable à l'autorité compétente d'expédition (ex. le PNTTD en France), qui la relaie et, s'il procède à une notification générale (couvrant plusieurs transferts similaires), il se conforme à l'article 13 du règlement.

Les notifications doivent répondre aux exigences suivantes :

- Documents de notification et de mouvement :

La notification est effectuée au moyen des documents suivants :

- a) le document de notification (*i.e.* CERFA N°14131*01)
- b) le document de mouvement (*i.e.* CERFA N°14132*01)

➤ Informations et documents accompagnant les documents de notification et de mouvement :

Le notifiant inscrit sur le document de notification ou y annexe les informations et les documents énumérés à l'annexe II, partie 1 du règlement. Le notifiant inscrit dans le document de mouvement ou y annexe les informations et les documents énumérés à l'annexe II, partie 2 du règlement, dans la mesure du possible au moment de la notification.

➤ Informations et documents supplémentaires :

Si une des autorités compétentes concernées en fait la demande, le notifiant est tenu de fournir des informations et des documents supplémentaires. La liste des pièces supplémentaires pouvant être exigées est établie à l'annexe II, partie 3 du règlement.

➤ Conclusion d'un contrat entre le notifiant et le destinataire :

Pour tous les transferts de sédiments exigeant une notification écrite, un contrat (effectif au moment de la notification et pour la durée globale du transfert) doit être conclu entre le notifiant et le destinataire.

Les listes présentées dans ces annexes permettent au notifiant d'anticiper l'ensemble des informations et pièces administratives qu'il va devoir fournir à l'autorité compétente pour soumettre sa notification en respectant la réglementation.

Une notification est considérée comme étant en bonne et due forme lorsque l'autorité compétente d'expédition constate que le document de notification et le document de mouvement (ainsi que toute information et tout document supplémentaire demandé) ont été remplis conformément aux exigences réglementaires.

V. SYNTHÈSE DE L'INVENTAIRE DES MÉTHODOLOGIES DE CARACTÉRISATIONS AVANT DRAGAGE, DES TRAITEMENTS, OUTILS EXISTANTS ET FILIÈRES DE DESTINATION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE MARINS ET ESTUARIENS DE L'AIRE MARITTIMO

5.1) SITUATION FRANÇAISE

5.1.1) MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION AVANT DRAGAGE

Le préalable obligatoire à toute opération de dragage est la caractérisation physico-chimique des matériaux en place. Cette caractérisation a pour objectifs de statuer sur :

- Le cadrage réglementaire de l'opération de dragage : régime de déclaration ou d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau (cf. livrable réglementation T1.1.1)
- Le choix de la technique de dragage et les éventuelles mesures de protection à mettre en oeuvre pour minimiser les impacts sur l'environnement
- Le mode de gestion des matériaux dragués (gestion marine ou terrestre)

Les caractéristiques physique, granulométrique et géochimique des sédiments à draguer sont les paramètres déterminants qui vont influencer le choix de la technique de dragage.

En France, la technique la plus usitée reste majoritairement le dragage hydraulique (avec drague aspiratrice en marche), devant le dragage mécanique (avec emploi d'une benne étanche). Précisons que le dragage hydraulique est préférentiellement employé pour le dragage de gros volumes de sédiments faiblement contaminés ; alors que le dragage mécanique est plus adapté aux faibles volumes de sédiments plus fortement impactés.

Le principal dispositif de protection employé est la pose d'une géomembrane anti-dispersion mise en oeuvre pour contenir le panache de turbidité provoqué par les travaux de dragage et ainsi limiter l'impact sur l'écosystème maritime.

Les caractéristiques environnementales des matériaux à draguer conditionnent leur devenir. Ainsi, si les niveaux de contamination demeurent inférieurs aux niveaux N1 et N2 (seuils GEODE définis dans l'arrêté interministériel du 14 juin 2000, révisé par les arrêtés du 9 août 2006, 23 décembre 2009, 8 février 2013, et 17 juillet 2014) alors les sédiments pourront être orientés vers une gestion marine (immersion ou rejet en mer ou en zone estuarienne). Dans le cas contraire, et sauf dérogation des autorités compétentes, dès qu'un unique dépassement du niveau N2 est constaté alors le sédiment dragué doit être orienté vers une gestion terrestre (stockage ou valorisation) où le sédiment prend alors de-facto le statut de déchet.

- ÉCHANTILLONNAGE DES SÉDIMENTS AVANT DRAGAGE

Pour réaliser la caractérisation préalable des sédiments, il est primordial de procéder à un échantillonnage pertinent et représentatif des volumes concernés par les opérations de dragage. Dans ce but, la circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000 indique des « instructions générales d'échantillonnage et d'analyse des sédiments » permettant de donner un cadre opératoire de référence pour organiser puis affiner, le cas échéant, une analyse de sédiments.

La méthodologie proposée de mise en oeuvre du plan d'échantillonnage comporte deux étapes principales :

1 : l'établissement d'un zonage *a priori* de la qualité des sédiments réalisé à partir des caractéristiques du bassin versant et de la géomorphologie du secteur à caractériser (données historiques, bathymétrie, résultats quantitatifs et qualitatifs des investigations antérieures).

2 : l'implantation des prélèvements pour la réalisation d'un échantillon représentatif du lot de sédiments à caractériser. Ces prélèvements seront à adapter en fonction du zonage réalisé lors de la première étape.

La circulaire du 14 juin 2000 identifie 3 contextes différents pour les sédiments marins ou estuariens :

1 : Les **zones à échanges libres** qui sont caractérisées par des échanges importants de masse d'eau dus à de forts courants et/ou à une agitation importante.

2 : Les **zones confinées** qui sont caractérisées par un faible mouvement des masses d'eau notamment les bassins portuaires fermés.

3 : Les **ports de plaisance** pour lesquels il est tenu compte soit du volume à draguer défini pour les zones confinées, soit du nombre de bateaux. Le nombre d'échantillons à analyser correspond à la valeur la plus contraignante.

Selon ces 3 cas de figure, le nombre de prélèvements à effectuer pour correctement caractériser la zone à draguer est différent.

La circulaire préconise les démarches suivantes :

VOLUME A DRAGUER (en m ³)	Nombre d'échantillons			Port de plaisance	
	Zone Libre (matériaux homogènes)	Zone Libre (matériaux hétérogènes)	Zone Confinée	Nombre de bateaux	Nombre d'échantillons
< 5 000	1	3	1	100	1
< 25 000	1	3	1 par 5000 m ³	< 500	2
< 100 000	2 - 3	4 - 6	5 + 1 par 25 000 m ³	< 1 000	3
< 500 000	3 - 5	7 - 15	8 + 1 par 50 000 m ³	> 1 000	5
< 2 000 000	6 - 10	16 - 30			
> 2 000 000	+ 4 par million de m ³ supplémentaire	+ 10 par million de m ³ supplémentaire			

L'échantillonnage doit garantir le non mélange de sédiments de qualités différentes. L'arrêté ministériel du 30 mai 2008 indique que les échantillons de sédiments doivent être représentatifs du contexte local. En particulier, leur nombre et les modalités d'obtention doivent être cohérents avec la surface concernée (incluant le volume et l'épaisseur), la nature granulométrique et physico-chimique du sédiment (homogénéité). Afin d'assurer la représentativité de l'échantillon à analyser par rapport à l'environnement originel un minimum de 3 points de prélèvement (réplicats) par site est préconisé. Il est conseillé de prélever des répliques de sédiments de même nature et en quantités équivalentes. Il est également recommandé de réaliser le prélèvement sur l'intégralité de l'épaisseur de sédiments à draguer afin de moyenniser les différents épisodes éventuels de contamination survenus sur un même point.

Lors de la réalisation du prélèvement, une coupe verticale de l'épaisseur du dépôt à draguer est effectuée en mentionnant les informations suivantes :

- la localisation du prélèvement
- la texture des différentes strates sédimentaires (sables, graviers, vase) et leur épaisseur
- les propriétés organoleptiques des strates sédimentaires (texture, couleur, odeur)

- TECHNIQUE ET MOYENS DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS DE SÉDIMENTS

La technique de prélèvement est retenue en fonction du secteur à draguer (accessibilité du site et hauteur d'eau), de l'épaisseur et de la granulométrie des sédiments à retirer. 2 types de prélèvements sont différenciés : sur toute l'épaisseur de sédiments (via un carottage) ou en surface.

Pour les prélèvements de sédiments superficiels des bennes légères ou lourdes seront employées selon la profondeur (hauteur colonne d'eau) et la nature granulométrique des sédiments en place (*i.e.* vaseux, sableux, graveleux) : benne légère de type Eckman ; benne légère de type Van Veen ; benne lourde de type Shipeck ; benne lourde Smith-McIntyre ; etc.

Pour le prélèvement de carottes de sédiment, les principaux dispositifs employés sont les carottiers à main pour des profondeurs peu importantes (< 10 m) ; les carottiers-boîtes pour des prélèvements de grande section mais de faible hauteur ; les carottiers-tubes pour obtenir des carottes longues mais de faible section.

La préparation, le conditionnement et la conservation des échantillons doivent permettre d'assurer la préservation et la traçabilité des échantillons. Les lignes directrices pour la préparation des échantillons, leur conditionnement et leur conservation sont détaillées dans la norme NF EN 16179.

Les prélèvements doivent être homogénéisés pour constituer un échantillon. Lorsque les caractéristiques des sédiments le permettent, la méthode par quartage (norme X31-100) pourra être utilisée. Cette méthode permet de diminuer l'échantillon en ne conservant à chaque étape qu'une moitié de l'ensemble des prélèvements.

La norme ISO 5667-15 relative aux échantillons de boues et de sédiments précise les volumes de sédiments à prélever pour permettre de :

- Séparer les sous-échantillons pour chaque type d'analyse
- Répéter les analyses conformément aux exigences de contrôle qualité

Après leur conditionnement, les échantillons doivent être stockés à 4 °C et à l'obscurité. Les échantillons doivent être acheminés au laboratoire dans un délai maximal de 48 h.

Précisons que selon l'arrêté du 27 octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques au titre du code de l'environnement, les laboratoires doivent être accrédités selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par une instance d'accréditation (Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation équivalent).

- ANALYSES A RÉALISER POUR LA CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS A DRAGUER

La méthode de caractérisation recommandée par la circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000 comporte 3 phases :

Phase I : Propriétés physiques pour anticiper le comportement des sédiments pendant les opérations de dragage et d'élimination des matériaux : quantité des matériaux à draguer, granulométrie (% sable, vase, argile), % de matières sèches, densité, teneur en Al sur la fraction inférieure à 2mm, teneur en COT sur la fraction inférieure à 2mm.

Phase II : Propriétés chimiques : La liste des paramètres chimiques à rechercher est précisée dans l'arrêté du 9 août 2006 et ses arrêtés complémentaires (Arrêté du 23 décembre 2009 ; Arrêté du 8 février 2013 ; Arrêté du 17 juillet 2014). Ils concernent les teneurs présentes dans le sédiment en Eléments Traces Métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), Tributylétain (TBT), Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) – 16 composés, Polychlorobiphényles (PCB) – 7 congénères.

Selon le contexte local, il peut s'avérer pertinent d'évaluer la présence de nutriments (azote et phosphore) et la qualité bactériologique des matériaux (germes).

Phase III : Caractérisation biologique : Dans certain cas de dépassement du niveau N2, les impacts potentiels des matériaux de dragage devant être immergés peuvent justifier des caractérisations biologiques en complément de la caractérisation physique et chimique. Les analyses biologiques seront à effectuer sur des espèces représentatives suffisamment sensibles à la toxicité potentielle des sédiments et doivent permettre de déterminer les toxicités aiguë et chronique, ainsi que le risque de bio-accumulation.

Le respect de la méthodologie de caractérisation avant dragage donne le cadre juridique et opérationnel du dragage et permet de définir la destination des sédiments dragués. Si l'échantillonnage réalisé et les résultats d'analyse obtenus démontrent une absence d'impact sur le milieu maritime (ou à défaut un impact considéré comme acceptable) alors les sédiments retirés seront considérés aptes à une gestion marine, et ils pourront alors être immergés ou rejetés en mer sur des sites de clapage définis par Arrêté Préfectoral. Ce mode de gestion, qui concernait en 2016, près de 95% des sédiments dragués demeure la solution technique la plus facile et la plus économique à mettre en oeuvre. Dans le cas contraire, si, suite à leur caractérisation, les sédiments ne sont pas aptes à une gestion marine, ils sont alors orientés vers une gestion terrestre où ils prendront le statut de déchet.

5.1.2) GESTION A TERRE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE

Comme déjà indiqué dans la partie 4.1), si le déchet sédiment ne répond à aucune des propriétés de danger, alors il est classé « non-dangereux » (Article R. 541-8 du code de l'environnement). Inversement, une réponse positive à une (ou plusieurs) des propriétés de danger classe automatiquement le sédiment dans la catégorie des déchets dangereux.

La classification du déchet sédiment (*i.e.* dangereux/non-dangereux/inerte) permet de définir les filières de gestion légalement disponibles. En effet, lorsque le déchet sédiment ne peut être valorisé, il doit être stocké (éliminé) dans des installations de stockage des déchets (ISD).

Chacune des installations de stockage disposent de critères d'admission propres basées sur une évaluation du contenu total et lixiviable du déchet (Ex. Arrêté du 12/12/2014 pour stockage déchets inertes). Pour les Installations de Stockage de Déchets Non-Dangereux (ISDND) et Dangereux (ISDD), des critères d'acceptation (= valeurs seuils) ont été définis au niveau européen par la Décision n°2003/33/CE du 19/12/02 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE. (voir ANNEXE 5)

Installations Classées Pour l'Environnement ICPE : Le décret n°2010-369 du 13 avril 2010 stipule que le stockage, le transit et le traitement des sédiments gérés à terre sont réglementés au titre de la législation relative aux Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE). Les ICPE sont soumises aux régimes de Déclaration ou d'Autorisation. Les articles R511-1 et suivants et R512-1 et suivants du code de l'environnement définissent la nomenclature, les critères et les seuils de déclenchement de ces 2 procédures.

L'article L541-2 du code de l'environnement stipule que la gestion du déchet à terre relève de la responsabilité de son producteur ou de son détenteur. Il en est responsable jusqu'à son élimination ou sa valorisation finale et cela même s'il le confie à un tiers. Il est également responsable de la traçabilité des différentes opérations qui lui sont appliquées.

Précisons que lorsque le dépôt du déchet sédiment est limitée à la durée des opérations de dragage et lorsque le dépôt est situé à proximité immédiate du chantier, alors il est exempté du régime règlementaire des ICPE.

En France, trois types d'ICPE sont répertoriés pour la gestion à terre des sédiments. Il s'agit de celles réalisant les opérations suivantes :

- 1) Tri, transit, regroupement (codes ICPE : 2516, 2517, 2716, 2717/2718)
- 2) Traitement (codes ICPE : 2515, 2771/2791, 2770/2791)
- 3) Stockage définitif (codes ICPE : 2760-1, 2760-2)

- TRAITEMENTS DES SÉDIMENTS ET OUTILS EXISTANTS

Les possibilités de gestion à terre du sédiment dragué (*i.e.* Elimination vs. Valorisation) dépendent des caractéristiques physico-chimiques, environnementales et géotechniques du sédiment considéré.

Différentes opérations de prétraitements et traitements sont disponibles pour permettre d'améliorer les caractéristiques du déchet sédiment et ainsi limiter les coûts économiques liés sa gestion. Ces opérations ont pour objectifs, soit de diminuer sa charge polluante pour ainsi autoriser une valorisation ou pour gagner des classes de stockage (par exemple d'une classe 1 - ISDD vers une classe 2 – ISDND) ; soit d'isoler certaines fractions spécifiques du déchet pour limiter le volume à stocker et augmenter la part valorisable.

Rappelons que la réglementation française n'autorise les opérations de valorisation que pour des sédiments classés comme déchets non-dangereux. Par conséquent la valorisation de sédiments classés déchets dangereux est interdite et leur seul exutoire est le stockage (si suite à une opération de prétraitement ou de traitement, la fraction dangereuse n'a pas pu être isolée et retirée de la fraction non-dangereuse).

Opérations de pré-traitement des sédiments

- *Déshydratation*

Les sédiments dragués sortis du milieu aquatique sont très humides. L'eau qu'ils contiennent peut ainsi représenter des pourcentages supérieurs à 50% du volume total. Par conséquent, la principale opération de prétraitement consiste à les déshydrater pour diminuer leur volume et faciliter leur manutention. Pour cela, plusieurs techniques sont disponibles, une distinction est faite entre les techniques de déshydratation naturelle et mécanique.

La déshydratation naturelle, également appelé lagunage actif, consiste à étaler les sédiments dans des bassins drainant et à les retourner périodiquement pour que l'eau s'évapore. Cette technique est efficace et permet de traiter simultanément de larges volumes (fonction de la taille du bassin).

Son désavantage est qu'elle nécessite un temps d'action assez long (*i.e.* plusieurs mois en fonction de la teneur en eau et de la météorologie) et une surface importante. Le lagunage actif permet également d'initier une phase naturelle de bioremédiation, les bactéries contenues naturellement dans le sédiment vont, pour survivre et se développer, dégrader les polluants organiques présents, en particulier les hydrocarbures à chaînes courtes.

La déshydratation mécanique fait appel, comme son nom l'indique, à des procédés mécaniques pour déshydrater les sédiments. Plusieurs outils sont disponibles, les principaux étant les filtre-presses (à plateaux ou à bandes) et les centrifugeuses. Très performantes, ces technologies sont utilisées lorsque la déshydratation doit être réalisée rapidement ou lorsqu'il n'y a pas assez de place pour mettre en oeuvre un lagunage classique.

- *Criblage/Dégrillage*

Les sédiments dragués peuvent contenir différents exogènes (ex. macrodéchets) qu'il est nécessaire de retirer. Pour cela, des cribles mécaniques vibrants présentant différents seuils de coupures (ex. >20mm, >10mm, ...) peuvent être employés. Les cribles mécaniques peuvent être opérés par voie sèche ou par voie humide.

Opérations de traitement des sédiments

Les sédiments déshydratés et éventuellement criblés contiennent encore en grande partie leur charge polluante. Pour réduire ou stabiliser cette contamination et ainsi faciliter les perspectives de valorisation ou diminuer les classes de stockage, différents traitements peuvent être appliqués.

- *Traitement biologique*

Le traitement biologique, ou bioremédiation, est indiqué pour les contaminations organiques (principalement pour les hydrocarbures légers à chaînes carbonées courtes). La bioremédiation consiste à épandre les sédiments et à les retourner périodiquement pour les oxygéner et ainsi favoriser l'activité de dégradation des polluants organiques par les micro-organismes (*i.e.* bactéries). Il est également possible d'inoculer des bactéries spécifiques pour augmenter le nombre de bactéries et l'efficacité de la dégradation biologique.

- *Traitement physico-chimique*

Le traitement physico-chimique est appliqué aux sédiments présentant une contamination mixte, organique et inorganique, et qui ne peuvent donc pas être remédiés totalement par la voie biologique. Les sédiments sont traités par des procédés physiques (ex. hydrocyclonage, centrifugation) et chimiques (ajout de flocculants, ou d'autres additifs chimiques) pour aboutir à la constitution d'une fraction fine contaminée et de fraction(s) granulaire(s) lavée(s) prête(s) à être valorisée(s). La fraction fine, contaminée, est ensuite déshydratée pour être finalement éliminée dans une installation de stockage adaptée.

Si les polluants présents dans le sédiment ne peuvent pas être isolés et éliminés, l'impact de la pollution peut encore être réduit en immobilisant les polluants. Pour cela, les sédiments sont alors mélangés à des additifs spécifiques dans des installations de mélange mobiles (ex. phosphatation, chaulage, ajout d'additifs minéraux (zéolithes, hématites, smectites), ajout de liants hydrauliques (pour stabilisation/solidification)).

Précisons que ces différentes techniques peuvent être utilisées seules ou en association en fonction de la nature des polluants et des objectifs de dépollution.

- *Traitement thermique*

Les 2 principaux traitements thermiques existants sont la désorption thermique et l'incinération. Deux alternatives existent également avec les traitements par pyrolyse ou par vitrification. Si ces procédés peuvent être efficaces pour détruire ou volatiliser les polluants organiques et immobiliser les polluants métalliques, ils demeurent marginaux pour le déchet sédiment en raison de leur grande consommation énergétique et donc de leur coût.

BILAN : A l'heure actuelle, faute d'une réglementation incitative favorisant la mise en oeuvre de solutions de valorisation et en raison de son coût économique plus élevé, le traitement reste marginal en comparaison du stockage. Néanmoins, ce mode de gestion ne peut plus être pérenne (lié à l'évolution réglementaire entraînant une augmentation des quantités de sédiments gérés à terre, à l'obligation de ne stocker que des déchets ultimes, à l'augmentation des coûts d'acceptation en ISD, au déficit d'ouverture de nouvelles ISD et à la saturation des centres de stockage existants) et les solutions de traitement puis de valorisation des sédiments de dragage devront se banaliser.

- **FILIÈRES DE VALORISATION DISPONIBLES POUR LES SÉDIMENTS DE DRAGAGE**

Les principales filières de valorisation des sédiments de dragage sont les suivantes :

1. Rechargement des plages
2. Travaux Publics Maritimes – Renforcement de berges
3. Technique routière
4. Génie Civil – Matériaux de construction
5. Aménagements paysagers (Création espaces naturels, Remblais non recouverts, etc.)
6. Réhabilitation de carrière – comblement de cavités terrestres
7. Epannage agricole
8. Couverture d'installation de stockage des déchets

Pour chaque opération de valorisation des sédiments, il est recommandé :

- De procéder à une évaluation environnementale de l'ouvrage de valorisation (selon norme NF EN 12920+A1 - Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées)
- De respecter les guides et référentiels propres à chaque filière
- D'assurer une traçabilité des sédiments valorisés

Rechargement des plages : Les sables issus des sédiments de dragage peuvent être utiles à cette filière à condition que leurs caractéristiques soient compatibles : absence de contamination, granulométrie (teneur en sable > à 75%) et couleur adaptées à la plage à recharger. Les sédiments à valoriser doivent-être classés inertes (selon Arrêté du 28 octobre 2010 – remplacé par Arrêté du 12 décembre 2014) ou faire l'objet d'une étude spécifique selon la norme NF EN 12920 + A1.

Travaux Publics Maritimes – Renforcement de berges : Les sédiments à valoriser doivent-être classés inertes, ou, a minima, respecter les seuils acceptables pour l'immersion (Seuils Géode S1 ou N2– Arrêté du 9 août 2006). Les eaux émises par l'ouvrage de valorisation doivent respecter les seuils R1 et R2 de qualité des rejets dans les eaux de surface définis dans l'Arrêté du 9 août 2006. Les caractéristiques géotechniques des matériaux produits doivent respecter celles des matériaux classiques.

Technique routière : Les sédiments doivent-être classés inertes ou non-dangereux. Evaluation environnementale à réaliser telle que décrite dans le guide SETRA de mars 2011 « Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières - Évaluation environnementale ». Un déroulé en 3 étapes est exigé : 1. Description du déchet et de son gisement ; 2. Description du matériau alternatif, du matériau routier et de l'usage routier envisagé ; 3. Caractérisation environnementale du matériau alternatif et du matériau routier. La caractérisation environnementale (3ème étape) est elle-même basée sur une évaluation en plusieurs niveaux, dont les 2 premiers (0 et 1) sont obligatoires : Niveau 0 - prérequis indispensable : Caractérisation du déchet sédiment et évaluation de sa dangerosité ; Niveau 1 : Analyse en contenu total et lixiviable (essai de lixiviation selon NF EN 12457-2 ou 4) ; Niveau 2 : Essai de percolation (selon NF CEN/TS 14 405) et analyse des percolats ; Niveau 3 : Etude spécifique en plot expérimental (étude de l'altération du matériau et de l'émission des polluants, du devenir des polluants émis par l'ouvrage via leur transfert dans le sol et dans la nappe ainsi que leurs effets sur la cible « eau », la modélisation du comportement, etc.)

Génie Civil – Matériaux de construction : Les sédiments à valoriser doivent être classés inertes ou a minima non-dangereux (via étude spécifique selon la norme NF EN 12920 + A1). L'évaluation environnementale pourra être faite par comparaison des teneurs relarguées par l'ouvrage de valorisation avec les valeurs seuils proposées dans le cadre des Normes de Qualité Environnementale (NQE) ou avec les valeurs seuils proposées dans les normes sanitaires pour les eaux destinées à l'alimentation des populations humaines. Les caractéristiques géotechniques des matériaux produits devront respecter celles des matériaux classiques.

Réalisation de terre-plein ou polder - Aménagements paysagers : Les sédiments doivent être classés inertes ou non-dangereux (via étude spécifique selon la norme NF EN 12920 + A1). Cette voie de valorisation est soumise aux procédures de déclaration ou d'autorisation au titre de la loi sur l'eau. La création d'aménagements paysagers est gouvernée par la hauteur et la surface des ouvrages réalisés (ex. exhaussements de sol de surface supérieure à 2 hectares et de hauteur supérieure à 2 m sont soumis à étude d'impact avec production d'une EQRS (Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires)).

Réhabilitation de carrière – comblement de cavités terrestres : Les modalités d'admission de déchets en tant que matériaux de remblayage de carrières sont définies par arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation qui s'appuie sur la réglementation ICPE, et en particulier sur l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrière. Cette filière de valorisation est réservée aux seuls sédiments classés inertes. Sur le plan géotechnique, la stabilité finale du remblaiement ou du comblement est le point prépondérant qu'il est impératif de maîtriser. En particulier la siccité des sédiments à valoriser devra être supérieure à 50 %.

Epandage agricole : L'épandage de boues autres que les boues issues du traitement des eaux usées peut être soumis à procédure de déclaration ou d'autorisation au titre de la rubrique 2.1.4.0 de la Loi sur l'Eau en fonction du volume ou des flux annuels épandus en azote total ou en DBO5. Pour les épandages relevant du régime de l'autorisation, une étude d'impact est requise avec production d'une enquête publique (et cela même si le dragage relève du régime déclaratif). L'arrêté du 8 janvier 1998 qui fixe les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues issues du traitement des eaux usées sur les sols agricoles sert de référence réglementaire. En application de ces textes, des analyses préalables des sols agricoles et des sédiments sont requises, ainsi qu'une étude agrobiologique établissant la valeur agronomique des sédiments et l'aptitude des sols à les recevoir.

Couverture d'installation de stockage des déchets non-dangereux : 3 sortes de couvertures (Arrêté du 9 septembre 1997) : 1) Périodique : situées à l'intérieur du casier de confinement, elles peuvent être constituées de déchets non dangereux, dont les sédiments ; 2) Intermédiaire : mises en oeuvre en attendant que la couverture finale soit réalisée, elles doivent être constituées de déchets inertes, dont les sédiments ; 3) Finale : plusieurs couches qui ont pour but de limiter les infiltrations vers les déchets et vers l'extérieur, la nature des matériaux utilisés pour ces couches n'est pas précisée dans l'arrêté. Utilisation de sédiments non dangereux possible sous réserve d'innocuité à démontrer par la mise en oeuvre d'une étude spécifique selon la norme NF EN 12920 + A1. Spécifications techniques requises relatives aux paramètres de nature, d'état et aux comportements mécaniques des sédiments.

- PRINCIPALES FILIÈRES DE DESTINATION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE FRANÇAIS

D'après les données publiées dans l'enquête nationale annuelle sur les dragages des ports maritimes (CEREMA, Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), en **2015**, la quantité de sédiment draguée en France (métropole et outre-mer compris) s'élève à 34,6 millions de tonnes de matière sèche, soit 6,3 % d'augmentation par rapport aux 32,6 millions de tonnes de matière sèche enregistrées en 2014.

Les grands ports maritimes français (Bordeaux, Rouen, Nantes-Saint-Nazaire, Guyane, Dunkerque, Guadeloupe, Le Havre, La Réunion, La Rochelle, Marseille, Martinique) représentent 29,1 millions de tonnes, soit 84 % du total national de 2015.

La technique de dragage la plus utilisée dans les grands ports maritimes est le dragage hydraulique et plus spécifiquement le recours à des dragues aspiratrices en marche. Dans les autres ports, 88,3 % des quantités de matière sèche sont également retirées par dragage hydraulique simple et 10,5 % via les techniques de dragage mécanique.

En 2015, l'immersion des sédiments demeurent toujours de très loin la principale destination utilisée pour les déblais de dragage : 25,7 millions de tonnes de matériaux ont été immergées ou rejetées en mer ou en zone estuarienne, ce qui représente 74,3 % de la quantité totale de sédiments dragués pour l'année. En 2014, l'immersion concernait 91 % de la quantité totale de sédiments dragués dans l'année (26,3 millions de tonnes de matériaux immergés). En 2015, les grands ports maritimes représentent à eux seuls 22,7 millions de tonnes de matériaux immergés ou rejetés en mer ou en zone estuarienne soit 87,8 % de la quantité totale de sédiments immergés (57 permis d'immersion ou de rejet en mer ont été utilisés sur les 106 valides).

Le rechargement de plage concerne en 2015, 151 149 tonnes de matière sèche (0.4% du total dragué) : 11 354 tonnes sur la façade Manche-Mer du Nord / 32 191 tonnes sur la façade Atlantique / 44 189 tonnes sur la façade Méditerranée / 63 415 en outre-mer.

Pour l'ensemble des façades, un total de **3 441 110 tonnes de sédiment a été déposées à terre**, soit environ 10% du total dragué. Notons que 2 146 000 tonnes ont été utilisées pour l'extension de la seule grande rade de Cherbourg (constitution d'un polder).

Les autres destinations recensées en 2015 sont des opérations de dispersion des matériaux par injection d'eau, par rotodévasage, ou par dragage à l'américaine (Guyane). En France métropolitaine, c'est sur la façade Atlantique que l'on rencontre en partie ces méthodes avec la méthode par injection d'eau (Jetsed) utilisée par le seul grand port maritime de Nantes Saint-Nazaire et le rotodévasage en Charente-Maritime et dans le Morbihan. En outre-mer, la Guyane procède en 2015, comme les années précédentes, à la dispersion d'environ 3,5 millions de tonnes de sédiments par dragage à l'américaine.

5.2) SITUATION ITALIENNE

Les opérations de dragage réalisées au sein des sites de bonification d'intérêt national (SIN) sont régies par l'article 5-bis de la loi 84/1994 et ses modifications et adjonctions successives.

Les opérations de dragage réalisées à l'extérieur des SIN sont régies par le décret ministériel 173/2016.

5.2.1) MÉTHODOLOGIE DE CARACTÉRISATION AVANT DRAGAGE - ZONES SIN

Les méthodologies et critères relatifs à la caractérisation des sédiments à draguer en vertu du décret ministériel 7/11/2008 et ses modifications et adjonctions successives sont exposés ci-après.

- STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Schéma d'échantillonnage : Le schéma d'échantillonnage doit tenir compte de l'hétérogénéité bathymétrique des fonds, du modèle conceptuel formulé, de la variabilité qualitative des sédiments attendue sur la base des informations recueillies, de la dynamique d'accumulation et/ou d'érosion présente, ainsi que de l'articulation structurelle interne de la zone d'intervention.

Le schéma prévoit une répartition uniforme des stations d'échantillonnage, avec une densité d'échantillonnage au moins équivalente à celle que l'on peut obtenir avec un système de maillage de dimensions égales à :

1 : 50x50 m ; 2 : 100x100 m ; 3 : 200x200 m

Le schéma d'échantillonnage décrit ci-dessus s'applique aux zones portuaires dites internes, aux entrées portuaires, aux zones situées juste à l'extérieur du port mais adjacentes à celui-ci, le long des digues de protection externes, le long des brise-lames et dans les canaux d'accès au port.

Quelle que soit la surface concernée par les activités de dragage, le nombre de sites d'échantillonnage ne doit pas être inférieur à trois.

Profondeur d'échantillonnage :

Une carotte d'une longueur supérieure à 50 cm (et d'au moins 2 m de longueur) de l'épaisseur du sédiment à draguer doit être prélevée à chaque site de prélèvement.

La « hauteur d'excavation » correspond à la hauteur réelle du projet de dragage, arrondie aux 50 cm supérieurs. La longueur de la carotte est mesurée à partir du haut (désigné comme le niveau « 0 »).

Des sections de sédiments doivent être prélevées sur chaque carotte conformément aux instructions suivantes :

- Par hauteur d'excavation inférieure à 2 m
- Par hauteur d'excavation supérieure à 2 m

Toutes les sections prélevées doivent être soumises à une analyse.

- MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

Le prélèvement des sédiments doit être effectué de manière à déstructurer le moins possible l'échantillon et à éviter une éventuelle contamination due à une utilisation inadaptée des instruments.

Les personnes procédant à l'échantillonnage doivent être expérimentées dans le domaine des sondages en milieu marin et disposer des moyens appropriés pour répondre aux besoins techniques des opérations à réaliser.

L'emplacement réel de chaque site d'échantillonnage doit être enregistré à l'aide d'instruments GPS différentiels appropriés (DGPS) et la profondeur réelle au moyen d'un appareil de sondage approprié.

Les coordonnées géographiques et les hauteurs ellipsoïdales doivent se référer à l'ellipsoïde WGS84.

Le prélèvement des sédiments réalisé conformément au schéma d'échantillonnage doit être effectué à l'aide de carottiers de type vibrofonceurs ou de carottiers rotatifs. Le sondage doit être effectué de manière verticale. La carotte doit être récupérée sur toute sa longueur, en une seule opération et sans interruption, à l'aide de tiges d'une hauteur adaptée à l'épaisseur de la matière à caractériser et en tenant compte de la nécessité d'obtenir une récupération égale à 100 %. Le diamètre des instruments doit permettre de récupérer une quantité de matière suffisante pour procéder aux déterminations analytiques prévues.

L'échantillon doit également rester intact pendant l'extrusion. Les produits détergents normalement utilisés pour nettoyer ou optimiser le fonctionnement des instruments (lubrifiants, CRC, etc.) sont interdits.

Afin de comparer les résultats obtenus, il est suggéré d'utiliser les mêmes instruments d'échantillonnage et les mêmes pratiques de sous-échantillonnage pendant une même campagne.

Sous-échantillonnage et préparation des échantillons :

Une fiche récapitulative contenant les informations suivantes doit être préparée pour chaque site de prélèvement :

- Code d'identification de la station d'échantillonnage
- Date et heure d'échantillonnage
- Coordonnées GPS réelles du site
- Hauteur du fond
- Longueur de la carotte prélevée
- Description stratigraphique de la carotte
- Sections prélevées
- Description macroscopique des sections et codes des échantillons associés

Les codes d'identification de la station d'échantillonnage et de l'échantillon doivent être uniques.

La carotte doit être ouverte ou extrudée dans les heures qui suivent son prélèvement du fond marin. Immédiatement après l'ouverture ou l'extrusion, les carottes doivent être mesurées sur toute leur longueur, photographiées et inspectées visuellement par un personnel spécialisé. Une fois mesurées, les carottes doivent être immédiatement sous-échantillonnées.

Les actions suivantes doivent être réalisées sur chaque section identifiée :

- Prélèvement de l'aliquote destinée à la détermination des composés volatils sur les sections prévues à cet effet
- Mesure pH et Eh sur toutes les sections choisies

Les aliquotes prévues pour tous les paramètres restants seront sous-échantillonnées et homogénéisées immédiatement après.

- **TRAITEMENT ET CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS**

Le sous-échantillon à utiliser pour les analyses physiques, chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques doit être rapidement séparé en différentes aliquotes qui devront être stockées et transportées selon diverses méthodes et à différentes températures.

Selon les besoins des laboratoires responsables, les aliquotes des échantillons pour les différents types de contaminants peuvent être regroupées dans le même contenant dès la phase de sous-échantillonnage.

Une fois scellés, les aliquotes de matière destinées aux vérifications et/ou analyses de contrôle doivent être conservées par l'autorité portuaire ou, à défaut, par l'organisme compétent. La durée de conservation des aliquotes ne doit pas être inférieure à un an à compter de la fin de l'enquête réalisée par l'administration compétente.

- **CRITÈRES POUR LE CHOIX DES LABORATOIRES CHARGÉS DES ANALYSES**

Analyses chimiques, physiques et microbiologiques : Les procédures analytiques servant à déterminer les paramètres recherchés doivent être choisies parmi les plus récentes dans les protocoles nationaux et/ou internationaux (ex : EPA, ISO, UNI EN, APAT/IRSA-CNR, ASTM, etc.). En l'absence d'un protocole tel que ceux spécifiés ci-dessus, la validité de la procédure utilisée doit être documentée.

Analyses écotoxicologiques (tests biologiques de toxicité) : Les procédures d'analyse utilisées doivent être choisies parmi celles prévues par les protocoles nationaux et/ou internationaux ou doivent avoir une validité internationalement reconnue (ASTM, EPA, ISO, AFNOR, CNR-IRSA, APAT, etc.).

Les analyses doivent être effectuées par des organismes et/ou établissements publics, ou bien des laboratoires privés possédant une accréditation conformément à la norme UNI EN ISO/IEC 17025/2005.

- ANALYSES PRÉVUES

Les analyses physiques, microbiologiques et écotoxicologiques doivent être réalisées sur l'échantillon tel quel et la restitution des données analytiques doit être présentée par rapport au poids sec de la matière analysée.

Tous les résultats d'analyse peuvent être considérés comme valides pendant trois ans, à condition qu'aucun événement naturel ou artificiel (ex. dragages, déversements accidentels) n'ait modifié la situation actuelle.

- MODALITÉ DE RESTITUTION DES RÉSULTATS

La documentation fournie par le laboratoire, ainsi que les données, doivent garantir l'exactitude de la procédure d'examen, l'univocité des informations et la qualité des données. Les laboratoires doivent fournir un rapport d'essai, daté et signé par le responsable du laboratoire, contenant le nom et le siège social du laboratoire.

- ÉLABORATION ET ÉVALUATION DES RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION

Le schéma de caractérisation réalisé doit permettre de formuler une hypothèse fiable sur la répartition de la contamination dans l'espace. Dans la mesure du possible, l'analyse géostatistique doit être l'outil privilégié pour ce type d'étude. Les élaborations géostatistiques effectuées sur les résultats de la caractérisation doivent être reproductibles par le contrôleur. L'autorité portuaire ou, à défaut, l'organisme compétent, peut travailler en collaboration avec l'ISPRA sur les aspects techniques et scientifiques de l'élaboration géostatistique des résultats de la caractérisation. En l'absence d'élaboration géostatistique, un critère de précaution doit être utilisé pour calculer différemment les volumes à gérer. La zone d'étude doit être divisée en fonction des spécificités des stations d'échantillonnage.

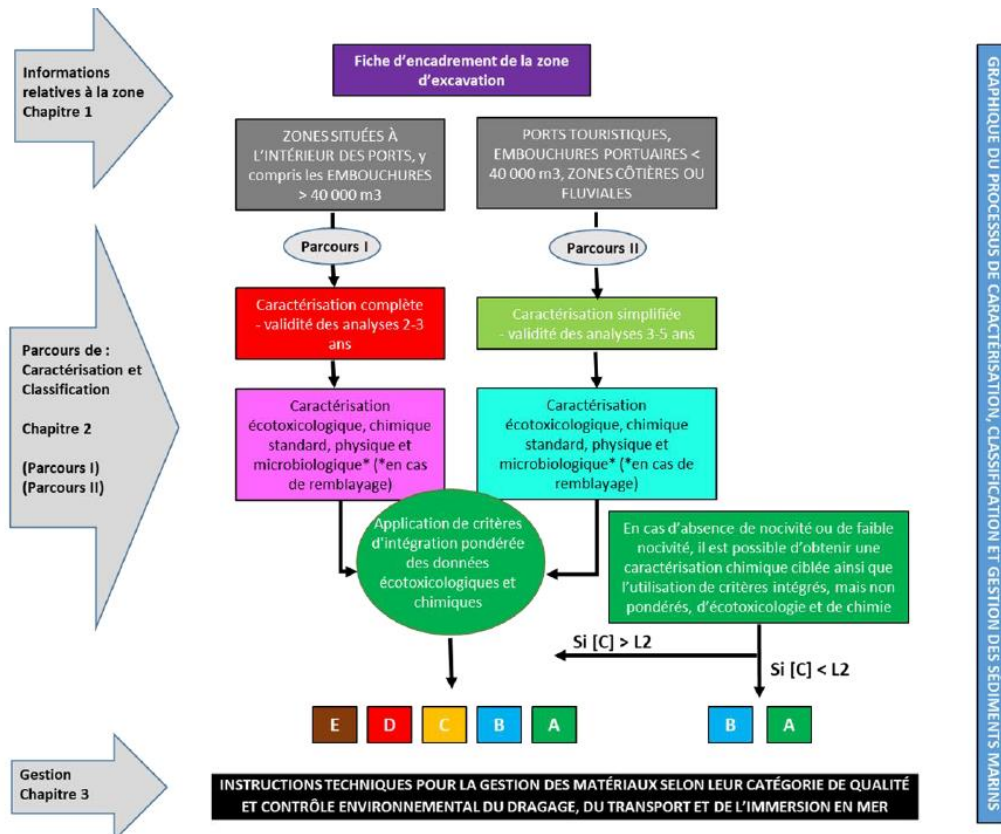
5.2.2) GESTION EN MILIEU MARIN-CÔTIER ET TERRESTRE - ZONES SIN

Concernant la gestion des sédiments de dragage (c'est-à-dire chaque fraction granulométrique obtenue après séparation par des méthodes physiques), les possibilités suivantes sont identifiées, en fonction des exigences de qualité spécifiques définies selon leurs caractéristiques chimiques, physiques, microbiologiques et écotoxicologiques :

- Dépôt ou reflux dans les masses d'eau d'où ils proviennent
- Utilisation à terre de la matière telle quelle ou après traitement de dessalement ou d'élimination des polluants
- Reflux à l'intérieur de zones de dépôt, de réservoirs de collecte ou dans des structures de confinement ou de délimitation

5.2.3) CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS AVANT DRAGAGE - ZONES HORS SIN

PRÉAMBULE : Le schéma synthétique des procédures de caractérisation, de classification et de gestion des matières excavées dans les zones hors SIN est présenté à la figure suivante. Ces procédures seront approfondies dans les paragraphes suivants.



- FICHE D'ENCADREMENT DE LA ZONE D'EXCAVATION

Les informations suivantes doivent être fournies aux fins de la caractérisation avant dragage. Ces informations doivent être intégrées à un document spécialement rédigé et intitulé « Fiche de référence de la zone d'excavation ».

1. Informations générales sur l'emplacement de la zone d'excavation
2. Liste des pressions majeures (industrielles, présence d'installations aquacoles, etc.) exercées sur la zone
3. Cartographie des principaux éléments à caractère naturel présents dans la zone et dans les zones environnantes, des zones de conservation et des objectifs sensibles (par exemple, espèces protégées)

4. Informations sur les caractéristiques physico-chimiques et hydrodynamiques de la colonne d'eau
5. Informations sur les activités d'excavation antérieures
6. Informations sur les caractéristiques morpho-bathymétriques et les caractéristiques des fonds
7. Informations sur les caractéristiques physico-chimiques, écotoxicologiques et microbiologiques (s'il s'agit de sédiments de plage) des sédiments
8. Informations sur les organismes animaux et végétaux présents dans la zone d'excavation
9. Informations antérieures sur les activités d'immersion/d'utilisation des sédiments
10. Informations sur les activités précédentes de surveillance environnementale dans la zone
11. Programmation des activités d'excavation et de gestion des matières
12. Informations sur les initiatives entreprises/prévues visant à améliorer la qualité des fonds par la réduction de la pollution

- STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'un des deux axes d'étude ci-après doit être suivi en fonction du type de zone excavée :

- L'axe I, qui prévoit une caractérisation complète
- L'axe II, qui prévoit une caractérisation simplifiée

L'axe I s'applique aux zones situées à l'intérieur des ports (qu'ils soient en partie industriels, commerciaux, prévus pour le service de passagers ou pour les navires de pêche) et aux zones situées en dehors de l'entrée des ports et/ou aux zones soumises à des obstructions récurrentes ou fortuites du passage d'accès maritime, pour des volumes annuels totaux de matières égaux ou supérieurs à 40 000 m³.

L'axe II s'applique aux zones côtières non portuaires, aux embouchures de fleuves non portuaires, aux zones situées à l'intérieur de ports exclusivement de plaisance, aux zones situées à l'extérieur de l'entrée des ports et/ou aux zones soumises à des obstructions récurrentes ou fortuites du passage d'accès maritime, pour des volumes totaux annuels de matières inférieurs à 40 000 m³.

Schéma d'échantillonnage : La stratégie d'échantillonnage doit permettre une caractérisation représentative de la surface totale et du volume de matière à draguer.

Pour les zones concernées par l'axe I, le schéma d'échantillonnage prévoit une répartition uniforme des stations d'échantillonnage, avec une densité d'échantillonnage au moins équivalente à celle pouvant être obtenue avec trois différents types de mailles (zones unitaires) de dimensions suivantes :

- 50 m x 50 m (Type 1)
- 100 m x 100 m (Type 2)
- 200 m x 200 m (Type 3)

Pour les zones concernées par l'axe II, le schéma d'échantillonnage prévoit une répartition uniforme des stations d'échantillonnage, avec une densité d'échantillonnage au moins équivalente à celle pouvant être obtenue avec trois différents types de mailles (zones unitaires) de dimensions suivantes :

- 100 m x 100 m
- 200 m x 200 m

Un site d'échantillonnage représentatif de la zone unitaire doit être identifié à l'intérieur de chaque zone unitaire (échantillonnage à mailles carrées) et pour tous les types.

Profondeur d'échantillonnage : Une carotte devra être prélevée sur chaque site d'échantillonnage. Si les études portent sur des couches supérieures à 50 cm, la taille de chaque carotte doit être au moins égale à l'épaisseur de la couche à prélever. Si les études sont limitées aux 50 premiers centimètres du fond marin, d'autres outils tels que des bennes et des carottiers à boîte peuvent également être utilisés.

Choix des échantillons : Des sections de 50 cm, 100 cm ou 200 cm, ou des sections résiduelles d'au moins 20 cm représentatives du niveau le plus profond, doivent être identifiées pour chaque carotte.

Préparation de l'échantillon : Une aliquote de sédiments doit être prélevée sur chaque section de la carotte de manière à ce que l'échantillon soit aussi représentatif que possible.

L'échantillon prélevé doit être homogénéisé et divisé selon les aliquotes prévues pour les différentes analyses. La quantité de matière prélevée pour chaque échantillon doit être suffisante pour garantir toutes les analyses physiques, chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques, y compris l'aliquote de réserve à conserver pour d'éventuels approfondissements et/ou vérifications.

Pour les zones de l'axe I, tous les échantillons prélevés doivent être transférés à l'étape suivante d'analyse et de classification.

Pour les zones de l'axe II, il est possible de former des échantillons composites aux fins d'analyses ultérieures, obtenus en mélangeant des échantillons individuels provenant de zones unitaires contiguës ayant des caractéristiques macroscopiques similaires. Il demeure toutefois possible d'analyser les échantillons individuels, dont une aliquote conservée doit toujours être disponible.

Modalités de transport et de conservation de l'échantillon : Les modalités de transport et de conservation des aliquotes destinées aux différentes analyses diffèrent des modalités de conservation, de transport et de température. La durée de conservation de l'aliquote de matière destinée à d'éventuelles contre-analyses et/ou vérifications ne doit pas être inférieure à trois mois à compter de la fin des activités de gestion des matières draguées.

Critères pour le choix des laboratoires chargés des analyses :

Analyses chimiques, physiques, microbiologiques et écotoxicologiques

Les procédures d'analyse servant à déterminer les paramètres recherchés doivent être conformes à des protocoles nationaux et/ou internationaux standardisés ou mentionnés dans des manuels et directives du système national des agences.

Les analyses doivent être réalisées par des organismes et/ou établissements publics possédant une expérience confirmée, ou par des laboratoires privés accrédités par des organismes reconnus conformément à la norme UNI CEI EN 17011/05.

Analyses prévues :

- Analyses physiques
- Analyses chimiques
- Analyses microbiologiques
- Analyses écotoxicologiques (tests biologiques de toxicité)
- Analyses des communautés benthiques

Validité des analyses : La durée de validité des résultats d'analyse est différente selon qu'il s'agit de l'axe I ou de l'axe II.

En général, on suppose que dans une zone portuaire, côtière ou fluviale, les 50 premiers centimètres du fond marin sont soumis à des phénomènes de perturbation.

Les résultats d'analyse sont jugés valides pendant une période de 2 ans pour les zones de l'axe I et de 3 ans pour les zones de l'axe II.

Cette validité peut être prolongée jusqu'à 3 ans pour les zones de l'axe I et jusqu'à 5 ans pour les zones de l'axe II.

Modalités de restitution des résultats des analyses : La documentation fournie par le laboratoire, ainsi que les données, doivent garantir l'exactitude de la procédure d'examen, l'univocité des informations et la qualité des données.

CLASSIFICATION DES SÉDIMENTS : La classification des sédiments peut être basée sur des critères tabulaires ou des critères d'intégration pondérée.

Analyses chimiques : Le critère tabulaire prévoit une comparaison des résultats avec les niveaux chimiques nationaux de référence (L1 et L2 avec $L1 < L2$). Les critères d'intégration pondérée tiennent compte de la typologie des paramètres, du nombre de contaminants dépassant la référence spécifique, ainsi que de l'ampleur de ces dépassements par rapport aux limites prévues.

Tests écotoxicologiques : Le critère tabulaire pour les analyses écotoxicologiques est utilisé dans le cas d'études comprenant un grand nombre d'échantillons et où la grande majorité des échantillons se révèle particulièrement toxique ou ne présente aucun effet (toxicité nulle). Les critères d'intégration pondérée pour les analyses écotoxicologiques tiennent compte des aspects importants et des caractéristiques spécifiques des tests biologiques inclus dans la batterie utilisée, y compris la signification statistique de la différence d'effet entre l'échantillon et le témoin, la gravité de l'effet, le type d'exposition, et la représentativité environnementale de la matrice testée. La classification écotoxicologique est donc basée sur une évaluation du danger écotoxicologique (d'absent à très élevé) réalisée grâce à l'intégration pondérée des résultats de toutes les composantes des essais biologiques.

Modalités de classification des sédiments : Les critères à utiliser pour les analyses chimiques et écotoxicologiques dépendent des analyses écotoxicologiques. En effet, si les critères tabulaires ont été utilisés pour les analyses écotoxicologiques, les résultats des analyses chimiques doivent également être comparés aux critères tabulaires. Toutefois, si les critères d'intégration pondérée ont été appliqués aux analyses écotoxicologiques, le même critère doit également être suivi pour les analyses chimiques.

Le niveau de qualité des sédiments est donc le résultat de l'intégration de la classification chimique et écotoxicologique.

Le niveau de qualité des sédiments est exprimé avec les lettres A, B, C, D, E qui correspondent à cinq niveaux de danger, d'absent à très élevé.

5.2.4) GESTION DES SÉDIMENTS EN MILIEU MARIN-CÔTIER - ZONES HORS SIN

Les différentes options de gestion précédentes peuvent être mises en oeuvre selon le niveau de qualité des sédiments.

- RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES SÉDIMENTS

Toutes les données relatives à l'échantillonnage, à la caractérisation, aux performances analytiques, à la classification et aux options de gestion proposées doivent être consignées dans un rapport technique accompagné de la fiche de référence de la zone d'excavation, des fiches de terrain et des rapports d'essai.

- TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS

Les caractéristiques chimiques, physiques et biologiques des sédiments contaminés sont d'une importance fondamentale pour déterminer l'applicabilité et la durée d'un traitement de remédiation, en particulier lorsqu'il existe une coexistence de différentes familles de polluants.

Les différentes technologies de remédiation, en tenant compte des interventions *in situ* et *ex situ*, sont brièvement expliquées ci-après.

Technologies de traitement *in situ* :

La particularité des traitements *in situ* réside dans le fait qu'ils ne nécessitent pas l'élimination des sédiments contaminés. Ils peuvent donc représenter une solution appropriée tant du point de vue économique qu'écologique. Les technologies de traitement *in situ* ont un impact limité sur le plan écologique.

Les traitements *in situ* doivent être choisis en priorité, à condition qu'ils soient réalisables dans l'environnement en question.

Les traitements *in situ* peuvent être de type :

- Biologique
- Chimique

Deux autres types de traitement *in situ* sont cités dans la bibliographie internationale : le confinement des sédiments (capping) et la solidification/stabilisation.

- Confinement des sédiments (capping)
- Solidification/stabilisation

La phytoremédiation est une technologie de traitement des sols et des sédiments contaminés qui s'appuie sur la capacité des plantes à dégrader, éliminer ou concentrer les contaminants.

Les traitements de phytoremédiation peuvent être appliqués *in situ*, avec des plantes autochtones, dans des zones faisant face à la côte.

Sur la base du mécanisme responsable de la décontamination du sédiment, les traitements de phytoremédiation peuvent être divisés comme suit :

- Phytoextraction
- Rhizofiltration
- Phytodégradation
- Phytostabilisation
- Phytostimulation ou biodégradation dépendant de la rhizosphère
- Phytovolatilisation

L'application d'un traitement de phytoremédiation nécessite une analyse préliminaire permettant d'identifier les espèces végétales les plus appropriées dans les conditions de référence spécifiques.

Technologies de traitement *ex situ* :

Les traitements *ex situ* prévoient le dragage des sédiments contaminés, suivi d'une phase de traitement.

Une fois le dragage des sédiments contaminés réalisé, le traitement se déroule en deux phases:

- Phase de prétraitement
- Phase de traitement

Le prétraitement a deux objectifs :

- Homogénéiser la matière de façon à obtenir une variabilité limitée des caractéristiques physiques
- Réduire les volumes à transporter

Les prétraitements peuvent prévoir la séparation des différentes classes granulométriques et/ou l'élimination de l'eau (déshydratation).

Pour la phase de traitement, de nombreuses technologies peuvent être utilisées en fonction de la nature des contaminants présents et des caractéristiques physiques des sédiments.

Selon la technologie utilisée pour l'élimination des contaminants, les traitements peuvent être divisés comme suit :

- Traitements biologiques
- Traitements physico-chimiques
- Traitements thermiques

- **PRINCIPALES FILIÈRES DE DESTINATION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE ITALIENS :**

Jusqu'en 2016, l'Italie ne possédait pas d'organe institutionnel national capable de collecter auprès des gestionnaires portuaires les données chiffrées des différentes opérations de dragage. Par conséquent les volumes totaux de sédiment dragué sur le territoire national n'étaient pas connus précisément. Un observatoire national a été créé dans ce but en 2016 et a initié ce travail de capitalisation.

En excluant les quantités draguées pour désensabler l'avant des ports et les embouchures des fleuves, le dragage des sites portuaires concernerait entre 0.2 et 1.5 millions de m³ de sédiments. Ce quantitatif, qui ne prend en compte que les dragages ayant obtenus une autorisation de rejet en mer, minimise considérablement le volume total de sédiments effectivement dragué sur le territoire national.

Concernant les techniques de dragage mises en oeuvre en Italie, elles dépendent du type de matériaux à excaver (sédiment fins, sables, graviers, etc.), de la zone à draguer (zone exposée aux vents et aux courants, zones enclavées, etc.), et des quantités totales à draguer. Les mêmes techniques de dragage que celles usitées en France sont disponibles, à savoir les dragages hydrauliques (en fonctionnement stationnaire ou en marche) ou mécaniques.

Comme pour les quantités draguées, l'absence d'organe central (jusqu'en 2016) qui collecterait les informations relatives à l'organisation des dragages sur le territoire, ne permet pas de connaître précisément la technique majoritairement utilisée.

Concernant la destination des matériaux dragués, jusqu'en 1999, l'exutoire en mer était la seule option disponible pour la gestion des sédiments provenant des activités de dragage des petites et moyennes entités portuaires réparties sur l'ensemble du territoire italien. Les données relatives aux sédiments valorisés en ré-engraissement de plages ou autres filières, par exemple les dépôts en bassins de confinement, ne sont pas connus précisément.

Ces dernières années, l'attention se porte de plus en plus sur la préservation de l'environnement marin italien et une tendance à une gestion éco-durable des activités côtières est observée.

Un schéma récapitulatif relatif au réemploi des sédiments dragués en Italie, indiquant les normes en vigueur, est présenté en ANNEXE 10.

5.3) SPÉCIFICITÉ DES SÉDIMENTS MÉDITERRANÉENS : LES FIBRES DE POSIDONIES

Au problème récurrent de la contamination des sédiments marins méditerranéens s'ajoute la présence en quantités variables (mais souvent conséquentes) de feuilles ou de fibres issues de la dégradation des herbiers de posidonie. Ces résidus organiques se retrouvent mélangés dans les différentes fractions granulométriques des matériaux de dragage et occasionnent des difficultés de gestion lors du dépôt à terre.

L'espèce *Posidonia oceanica* est une plante à fleurs aquatique (phanérogames marines) endémique de la mer méditerranée présente sur une large partie de son littoral entre la surface et 45m de profondeur. Les posidonies forment de vastes herbiers (prairies sous-marines) qui occupent une surface comprise entre 1 à 2 % des fonds méditerranéens soit 3.5 à 3.7 millions d'hectares (Rico-Raimondino, 1995 ; Pasqualini, 1997).

Cette plante marine angiosperme (*i.e.* qui porte des fleurs) est constituée par des tiges rampantes ou dressées, appelées rhizomes, généralement enfouies dans le sédiment. Les rhizomes se terminent par des groupes de 4-8 feuilles (appelés faisceaux) de 20 à 80 cm de longueur et de 1 cm de largeur environ. Les rhizomes portent également des racines, qui peuvent descendre jusqu'à 70 cm dans le sédiment. De nouvelles feuilles se forment toute l'année, et vivent en moyenne entre 5 et 8 mois.

La matre de posidonie est l'ensemble constitué par les rhizomes, les écailles (ou pétiole), les racines et par le sédiment qui remplit les interstices. Exceptées les feuilles, les parties mortes de la plante sont très peu putrescibles, ce qui explique leur très longue conservation (plusieurs siècles ou millénaires) à l'intérieur de la matre (Boudouresque et al., 2006). La matre sert d'ancrage à l'herbier mais joue également un rôle important dans la stabilisation des fonds.

Les pelotes que l'on trouve souvent sur les plages sont nommées "aegagropiles" (ou "pelotes de mer"). Elles mesurent de 2 à 10 cm de diamètre et sont constituées par l'effilochage des fibres des feuilles mortes de la plante, agglutinées à des fragments de rhizome. Après dégradation des feuilles mortes, le ressac les agglomère en pelotes sur les petits fonds, en avant des plages.

La dynamique des herbiers à *Posidonia oceanica* est fortement influencée par toute une série de facteurs abiotiques (hydrodynamisme, morphologie sous-marine, lumière, salinité, température, nutriments) et biotiques (compétition vis à vis d'autres macrophytes, broutage par des espèces herbivores). A l'automne, l'augmentation de la masse de feuilles mortes (rythme de chute des feuilles, taille des feuilles) se conjugue aux conditions météorologiques (renforcement de l'hydrodynamisme, tempêtes d'équinoxe) pour transporter de grandes quantités de cette matière végétale morte vers les plages (Boudouresque et Meinesz, 1982 ; Pergent et al., 1997 ; Walker et al., 2001).

Le cycle naturel de croissance des posidonies, cumulé aux diverses dégradations subies par les herbiers, provoque ainsi la libération d'une quantité importante de feuilles et de fibres de mattes qui finissent, sous l'action de la houle et des courants marins, soit par s'échouer sur le littoral pour s'accumuler et former des banquettes de posidonies, soit par se mélanger directement au sein des sédiments, qui deviendront alors leur réceptacle ultime.

- STATUT RÉGLEMENTAIRE DES POSIDONIES :

En France, les posidonies (même mortes) font parties des espèces marines protégées (Loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la Nature ; Arrêté interministériel du 19 juillet 1988 relatif à la liste des espèces végétales marines protégées ; Article L.411-1.2 du Code de l'Environnement).

Les herbiers de posidonie sont référencés « Habitats prioritaires d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation (ZSC) » dans la Directive Européenne sur les habitats naturels (92/43/CEE). Ce référencement « ZSC » des herbiers de posidonie les classent automatiquement parmi les sites Natura 2000. La posidonie est également protégée au titre des Conventions de Barcelone de 1976 (adoptée en 1995) et de Berne de 1979 (adoptée en 1996).

En Italie, les autorités ont mis en place une procédure qui vise à assurer la protection des herbiers de posidonie. Il s'agit de la Loi "Nuovi interventi in campo ambientale" (n°426 – 9/12/98) et plus récemment de la Loi sur les "Disposizioni in campo ambientale" (n°93 – 23/3/2001). Ces textes, bien que très généraux, ciblent néanmoins les herbiers de posidonies avec notamment des dispositions financières pour la réalisation d'études et de programmes pour la protection et la cartographie de *P. oceanica*. La région de Ligurie a, pour sa part, adopté en 2001 une réglementation pour l'évaluation de l'impact des projets d'aménagement sur les sites d'importance communautaire (Directive Habitats), dans lequel sont inclus les herbiers à *P. oceanica* (Deliberazione di Giunta Regionale n° 646 du 8 juin 2001).

Les posidonies (et les herbiers qu'elles constituent) sont donc un objectif majeur de protection et de gestion du milieu marin méditerranéen. Cependant, malgré sa protection, cet écosystème subit encore des perturbations multiples qui provoquent sa régression dans toute la région méditerranéenne. Ainsi au cours du siècle les estimations de perte de superficie des prairies s'étendent de 10% à 50% (Thomas et al., 2005 ; Gonzalez-Correa et al., 2007 ; Deter et al., 2013 ; Marbà et al., 2014). L'augmentation des activités de plaisance, les mouillages sauvages répétés et concentrés induisent une dégradation mécanique et l'arrachement des feuilles et de la matte. La multiplication des aménagements littoraux, la baisse de la qualité des eaux et l'introduction d'espèces invasives compétitrices (ex. *Caulerpa taxifolia*) vont également contribuer au déclin des prairies de posidonies (Boudouresque et al., 2009).

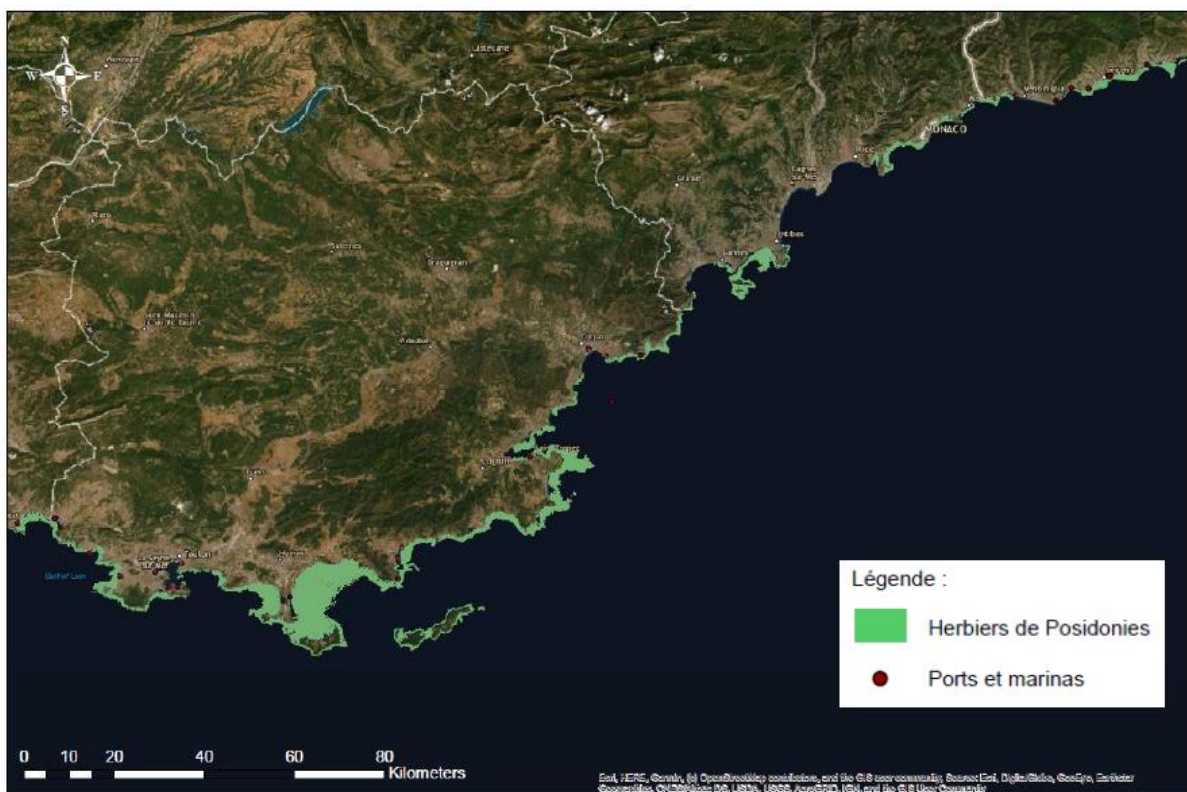
- **LOCALISATION DES HERBIERS DE POSIDONIES SUR LA ZONE DU PROJET SEDITERRA :**

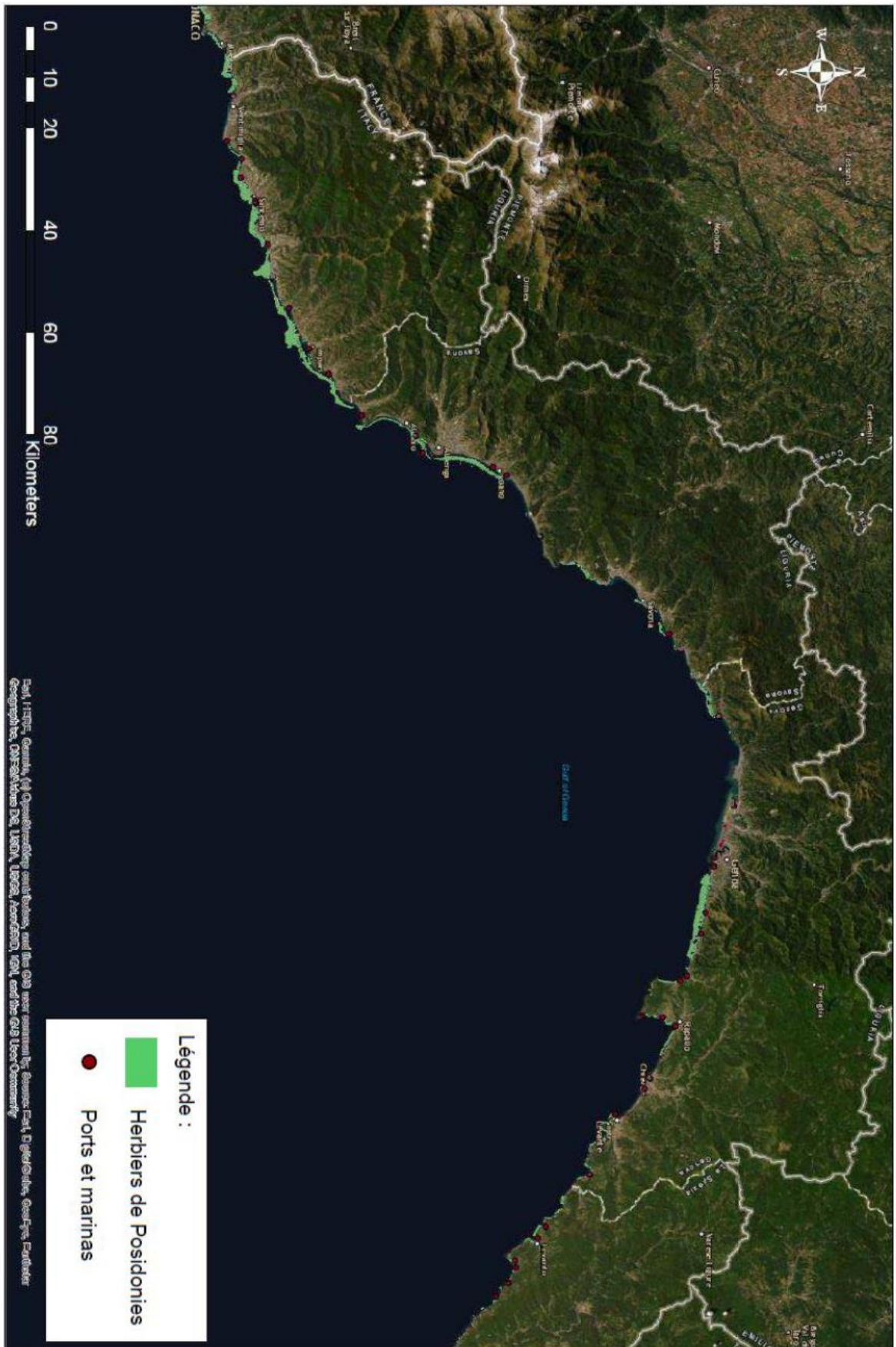
Les cartes suivantes indiquent la localisation des herbiers de *Posidonia Oceanica* sur le territoire Marittimo France-Italie. Elles ont été extraites de la plateforme EMODnet (réseau européen d'observation et de données du milieu marin) :

<https://www.emodnetseabedhabitats.eu/access-data/launch-map-viewer>

Le littoral méditerranéen est fortement artificialisé par des ports et des aménagements côtiers (digues, épis, brise lames, etc.). Les littoraux les plus concernés sont ceux des Alpes-Maritimes avec 1 port ou abris tous les 3.1 km, la province de Gênes, la Ligurie, et une partie de la Sardaigne (Boudouresque et al., 2006).

Les herbiers de Posidonies recouvre entre 30 000 et 40 000 km² de la Méditerranée. Le Nord-Ouest du bassin méditerranéen est bien représentatif avec des herbiers remarquables par leur surface et leur état de conservation. Le Nord-Est de la Sardaigne semble être le secteur le plus représentatif avec une très forte densité de ports et marinas à proximité d'herbiers de Posidonies. Les autres régions potentiellement concernées par la problématique de posidonies dans les sédiments sont : le littoral ligurien entre Vintimille et Loano (Ouest Ligurie, IT), la région de Livourne (Toscane, IT), la région de Toulon (Var, FR).









- GESTION A TERRE DES RÉSIDUS DE POSIDONIES :

La présence, en quantités variées, des résidus de posidonies dans les sédiments de dragage occasionne des difficultés de gestion supplémentaires qui s'additionnent aux problématiques déjà existantes liées à la gestion terrestre du « déchet » sédiment. Par exemple, ces résidus organiques peuvent : augmenter considérablement le volume des sédiments à gérer ; perturber leur déshydratation et leur bioremédiation ; limiter leur possibilité de valorisation directe et compléxifier leurs possibilités de traitement préalable à leur valorisation. De plus le statut réglementaire particulier de ces résidus constitue un frein pour la recherche et le développement d'une activité économique spécifique capable de proposer des solutions de gestion efficaces et pérennes.

Une étape importante liée à la gestion de ces résidus est leur séparation des sédiments (principalement via des procédés physiques de séparation tels que criblage, séparation par différence de densité et flottation, hydrocyclonage, etc.). Les procédés usités doivent permettre de récupérer un sédiment (et en particulier ses fractions valorisables telles que les sables) exempt de fibres. Une fois séparée des sédiments, il reste encore à trouver un exutoire capable « d'absorber » les quantités en jeu. Même pour un simple stockage en décharge, les propriétés physico-chimiques (ex. dégradabilité ; teneurs en sels) et le statut juridique des fibres de posidonies, provoquent des difficultés opérationnelles de gestion.

Plusieurs essais de valorisation ont été tentés à l'échelle internationale (ex. : Production d'isolants ; Compost - fertilisants ou milieu de culture ; Média de dépollution des eaux ; Production de composites ; Substituant des fibres polymères ; Valorisation énergétique - Production de méthane – Production de bioéthanol ; etc.) cependant aucune des applications testées n'a permis de proposer une solution transposable à une échelle industrielle.

L'étude bibliographique réalisée dans le projet SEDITERRA (voir livrables T1.4.7 - T1.5.8 – Collectivité de Corse) n'a donc pas permis de faire ressortir une solution pratique pertinente à cette problématique de gestion des sédiments riches en fibres de posidonies. Les essais de séparation et de valorisation menés à partir des sédiments du projet, en particulier ceux de Centuri (Corse) et de Toulon - riches en fibres végétales, doivent-permettre de tirer des conclusions de faisabilité.

VI. SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES SÉDIMENTS ÉTUDIÉS DANS LE PROJET

Le livrable T2.1.1 du projet SEDITERRA constitue le rapport de synthèse des activités de caractérisation environnementale et géotechnique préliminaire des sédiments prélevés dans les ports de Toulon, Gênes, Livourne, Centuri (Corse), dans le canal « Navicelli », qui relie Pise à Livourne, et dans le port de Cagliari.

Le but de la caractérisation était de définir la qualité des matériaux afin d'évaluer leur utilisation potentielle en tant que matières premières secondaires et d'établir les quantités de sédiments destinés aux activités pilotes ultérieures de traitement et de valorisation.

La phase d'échantillonnage et la phase de caractérisation analytique des paramètres physicochimiques et écotoxicologiques des sédiments ont été réalisées simultanément par les laboratoires de l'ISPRA et de l'INSA de manière croisée et partagée.

Dans chacun des 6 sites portuaires associés au projet SEDITERRA, 3 points d'échantillonnage différents ont été identifiés (à l'exception du port de Gênes où un seul échantillon a été prélevé), à partir desquels des aliquotes de matière homogénéisée ont été collectées et envoyées aux laboratoires de l'ISPRA, de l'INSA et au Service géologique de la ville métropolitaine de Cagliari.

6.1) SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES PARTENAIRES FRANÇAIS

Les sédiments étudiés dans le projet ont été analysés par application des procédures françaises de caractérisation dans le cadre de l'identification des conditions de gestion des sédiments dragués.

Ces analyses et essais ont été menés sur les échantillons de sédiments de six provenances différentes sur la zone Marittimo (Toulon, Gênes, Livourne, Centuri (Corse), Pise (canal Navicelli), et Cagliari), la plupart de ces sites de prélèvement ayant fait l'objet de trois prélèvements distincts. Au total 16 échantillons de sédiments ont été prélevés en vue de leur caractérisation.

Deux sites de prélèvement sont situés en France (Centuri en Corse et Toulon dans le Var) et quatre sites de prélèvement sont situés en Italie (Cagliari, Pise, Gênes, Livourne).

La France applique, *a priori*, pour les sédiments gérés à terre, la règle générale de définition du caractère dangereux ou non des déchets, issue de la transcription en droit français de la Directive européenne 2008/98/CE du 19 novembre 2008.

La caractérisation physico-chimique et écotoxicologique des sédiments, réalisée selon la démarche actuellement en vigueur en France (par PROVADEMSE prestataire de INSA LYON), montre que seul le sédiment de Livourne présente les caractéristiques d'un déchet dangereux vis-à-vis de la propriété de danger HP14 « Écotoxique ». Par conséquent, excepté le sédiment de Livourne, tous les sédiments étudiés pourraient faire l'objet d'une valorisation sans traitement préalable. La valorisation du sédiment de Livourne nécessite une opération de traitement préalable permettant de supprimer son caractère dangereux HP14.

L'application aux sédiments des six provenances du protocole d'essai de lixiviation européen EN 12457-2 permet de positionner ces sédiments vis-à-vis des conditions d'acceptabilité en installation de stockage d'une part et de valorisation en technique routière d'autre part.

Les six sédiments se situent tous dans la catégorie des déchets potentiellement admissibles en Installation de stockage de déchets non dangereux mais non admissibles directement en Installation de stockage de déchets inertes. Sous réserve de vérification de leur variabilité, les six sédiments de SEDITERRA sont conformes au niveau 1 de caractérisation environnementale des matériaux alternatifs utilisés en technique routière (« Guide SETRA mars 2011 »).

L'application de l'essai européen de percolation en colonne CEN/TS 14405 aux quatre sédiments sélectionnés pour des essais de valorisation (Toulon, Centuri, Cagliari, Livourne) montre qu'aucun des quatre sédiments sélectionnés n'est conforme, en l'état, aux conditions du niveau 2 de caractérisation environnementale pour une utilisation en technique routière.

Néanmoins, le guide SETRA (« Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières - Évaluation environnementale, mars 2011 ») laisse la possibilité de justifier l'acceptabilité des sédiments en technique routière sur la base d'une étude spécifique nécessitant la réalisation de lysimètres ou de planches d'essai.

Enfin, les essais complémentaires de caractérisation du comportement à la lixiviation des sédiments sous l'influence du pH, réalisés selon le protocole européen EN 14429 montrent que les quatre échantillons testés présentent tous une sensibilité à un contexte basique ce qui doit conduire à une vigilance particulière quant au risque de solubilisation d'éléments contenus dans les sédiments lorsqu'ils sont incorporés dans des matériaux à base de liants hydrauliques ou pouzzolaniques.

6.2) SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES PARTENAIRES ITALIENS

Le document italien (Livrable T2.1.1) présente les méthodes et les résultats analytiques obtenus par les partenaires italiens.

Les quantités pour analyse ont été choisies en fonction des activités analytiques prévues et envoyées avec une documentation transfrontalière conformément au Règlement (CE) n°1013/2006 du Parlement européen et du Conseil du 14 juin 2006.

Phase de caractérisation analytique : Les laboratoires de l'ISPRA ont réalisé, sur chacun des échantillons prélevés, des analyses physico-chimiques et éco-toxicologiques.

Le bilan des données physico-chimiques et biologiques qui ont permis d'identifier les zones de prélèvement de sédiments destinés aux phases ultérieures de traitement et valorisation pilotes sont reportés ci-dessous :

Site de prélèvement retenu	Paramètres critiques (Selon le référentiel règlementaire italien et/ou les caractéristiques standard des sites portuaires)
CENTURI 1	TBT : 355 ng TBT g ⁻¹ (d.w.) Indice Hydrocarbure (C10-C40) : 120,77 µg/g (p.s.) Test développement embryonnaire oursin de mer <i>Paracentrotus lividus</i> : toxicité HAUTE
LIVORNO 1	Indice Hydrocarbure (C10-C40) : 33,75 µg/g (p.s.) Test développement embryonnaire oursin de mer <i>Paracentrotus lividus</i> : toxicité MOYENNE
CAGLIARI 1	Contamination par : Zinc, Cadmium, Plomb Indice Hydrocarbure (C10-C40) : 127,99 µg/g (p.s.) Test développement embryonnaire oursin de mer <i>Paracentrotus lividus</i> : toxicité HAUTE
TOLONE 1	Contamination par : Nickel Indice Hydrocarbure (C10-C40) : 92,19 µg/g (p.s.) ΣHAP: 1278,86 ng/g (p.s.)
NAVICELLI 1	Contamination par : Chrome, Zinc, Cuivre, Cadmium TBT : 1180ng TBT g ⁻¹ (d.w.) Indice Hydrocarbure (C10-C40) : 204,20 µg/g (p.s.) ΣHAP : 906,69 ng/g (p.s.) Test développement embryonnaire oursin de mer <i>Paracentrotus lividus</i> : toxicité TRES HAUTE Test MTX <i>Vibrio fisheri</i> : toxicité MOYENNE
GENOVA	Indice Hydrocarbure (C10-C40) : 63,81 µg/g (p.s.) ΣHAP: 144,58 ng/g (p.s.) Test développement embryonnaire oursin de mer <i>Paracentrotus lividus</i> : toxicité MOYENNE

6.3) PHASE DE CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE

Dans cette partie les normes techniques françaises et italiennes qui régissent l'évaluation de la qualité des sols ont été rapportées à leur utilisation éventuelle dans la construction ou l'entretien d'ouvrages routiers.

Sur la base des caractéristiques des sédiments, les essais nécessaires ont été réalisés pour parvenir à la « classification selon nature » de la norme française NF P11-300 et de la classification italienne CNR UNI 10006.

Les analyses ont été effectuées par le Laboratoire géotechnique du service géologique de la ville métropolitaine de Cagliari, tiers conventionné de la région Sardaigne dans le projet SEDITERRA.

Pour chaque échantillon, la courbe granulométrique a été reconstituée et la sensibilité à l'eau a été évaluée à travers la détermination des limites de consistance (limite de liquidité, limite de plasticité) et le calcul de l'indice de plasticité (IP) et de l'indice de groupe (IG).

Les normes NF P11-300 et CNR UNI 10006 ont permis de formuler un avis d'aptitude, dans le domaine routier, des sédiments prélevés dans les différents ports.

Les conditions de « compactibilité » (optimum Proctor) de chacun des échantillons ont été évaluées au moyen de l'essai Proctor modifié (AASHO mod.). La courbe du pourcentage humidité/densité sèche a été reconstituée pour chaque échantillon et la valeur de densité sèche maximale/% d'humidité optimal a été évaluée.

L'indice de portance CBR des différents échantillons a été déterminé sur chacune des éprouvettes Proctor. En plus de la valeur CBR% en corrélation avec la valeur de densité Proctor modifié maximale, une mesure de la portance pour différents pourcentages d'humidité absorbée par le sol a été effectuée.

Les tables de synthèse des données géotechniques, l'évaluation de la qualité géotechnique des échantillons individuels, et la documentation photographique des phases d'échantillonnage et de tests sont également répertoriés.

Le tableau ci-après présente la synthèse du classement géotechnique des sédiments analysés:

LOCALISATION	NF P11 - 300	CNR UNI 10006	Evaluation CNR UNI 10006	Classifiés comme utilisables pour route et couche de forme NF P11- 300
PORT DE TOULON 1	A1	A4	MEDIOCRE	NON
PORT DE TOULON 2	A1	A4	MEDIOCRE	NON
PORT DE TOULON 3	A1	A4	MEDIOCRE	NON
PORT DE GENES	B1	A2-4	BON	OUI
CANAL NAVICELLI PISE-LIVOURNE 1	A1	A7-5	MAUVAIS	NON
CANAL NAVICELLI PISE-LIVOURNE 2	A1	A4	MEDIOCRE	NON
CANAL NAVICELLI PISE-LIVOURNE 3	A2	A7-5	MAUVAIS	NON
CENTURI 1 (Corse)	D1	A3	BON	OUI
CENTURI 2 (Corse)	D1	A1-b	BON /EXCELLENT	OUI
CENTURI 3 (Corse)	D1	A1-b	BON / EXCELLENT	OUI
PORT DE LIVOURNE 1	A1 h	A4	MEDIOCRE	NON
PORT DE LIVOURNE 2	B5 h	A1-b	BON / EXCELLENT	OUI
PORT DE LIVOURNE 3	A1	A4	MEDIOCRE	NON
PORT CAGLIARI 1	B5	A2-4	BON	OUI
PORT CAGLIARI 2	B5	A2-4	BON	OUI
PORT CAGLIARI 3	A1	A4	MEDIOCRE	NON

6.4) CRÉATION D'UN SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE (SIG) EN LIGNE

Un système d'information géographique (ou SIG) est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter des données spatiales et géographiques, sous forme de cartes numériques.

Le SIG (Système d'Information Géographique) réalisé dans le cadre du projet SEDITERRA a consisté en la production et la mise en ligne de données cartographiques de caractérisation des gisements de sédiments présents sur l'aire Marittimo (France-Italie). La base de données constituée a été exploitée sur une plateforme web de type Système d'Information Géographique (SIG).

Les données exploitées pour réaliser le SIG ont été récoltées durant le projet SEDITERRA par les partenaires, en particulier, par le département du Var pour les données françaises, et par la Région Sardaigne pour les données italiennes. Une collaboration avec les partenaires du projet Interreg Marittimo SEDRIPORT a également été développée.

L'outil utilisé dans ce contexte a été ArcGIS Online® dont les droits d'accès sont supportés par la collectivité de Corse.

Les codes d'accès utiles pour visualiser le travail produit sont réservés aux partenaires du projet et aux financeurs.

VII. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR LES TRAITEMENTS ET ESSAIS DE VALORISATION MIS EN ŒUVRE DANS LE PROJET

Les sédiments utilisés pour les essais de traitement et de valorisation ont été prélevés sur les sites des partenaires, à savoir :

- Port de Centuri (Corse - France)
- Vasque de stockage de Livourne (Toscane – Italie)
- Vasque de stockage de Cagliari (Sardaigne – Italie)
- Centre de traitement (CPEM) de la Seyne/sur mer (Var – France)
- Port de Gênes (Ligurie – Italie)
- Canal Navicelli à Pise (Toscane – Italie)

Notons que ces différents lots de sédiments, issus d'opérations de dragage, n'ont pas tous été utilisés pour mener l'entièreté des expérimentations réalisées dans le projet SEDITERRA.

Les essais de traitement des sédiments par séparation granulométrique et « soil washing » ont été menés à ISPRA Livourne sur les sédiments de Livourne et de Cagliari, et à La Seyne/mer sur le sédiment de Centuri et sur celui prélevé sur le CPEM ENVISAN – désigné par la suite « sédiment Toulon » (cf. livrable T2.3.3).

Les essais de traitement par mycoremédiation ont été menés sur l'ensemble des sédiments disponibles : Gênes, Livourne, Cagliari, Centuri, Toulon et Canal Navicelli de Pise (cf. livrable T2.3.4).

Les essais de traitement par déshydratation ont été menés sur le seul sédiment du Canal Navicelli de Pise (cf. livrable T2.3.5).

Les essais de traitement par calcination (pyrogazéification) ont été menés sur les fibres végétales extraites du sédiment « Toulon » (cf. livrable T2.3.6).

Enfin, les essais pilotes de valorisation ont été menés à La Seyne/mer sur les sédiments de Centuri et Toulon, et à Livourne sur les sédiments prélevés à Cagliari et Livourne (cf. livrable T2.4.7).

7.1) TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR SÉPARATION GRANULOMÉTRIQUE ET « SOIL WASHING » - ISPRA LIVOURNE (LIVRABLE T2.3.3)

Une zone expérimentale dédiée à l'application du traitement, aussi bien à l'échelle pilote qu'à l'échelle de laboratoire, a été mise en place dans les locaux de ISPRA à Livourne.

- PRINCIPES ET OBJECTIFS DU TRAITEMENT

L'objectif principal du traitement mis en oeuvre à ISPRA sur l'installation pilote est de séparer les différentes fractions granulométriques qui composent les sédiments marins étudiés afin d'en extraire la composante sableuse, partie du sédiment habituellement la moins contaminée et la plus susceptible d'être valorisée. Selon la littérature, les granulométries de coupe sur lesquelles la séparation est effectuée vont de 63 à 40 μm , dimensions qui répondent aux exigences technologiques et économiques et aux exigences relatives à la teneur en polluants que les sables peuvent contenir.

- MATÉRIELS ET MÉTHODES DE MISE EN OEUVRE DU TRAITEMENT

La séparation du sable peut avoir lieu par le biais d'une classification par voie humide du sédiment, qui, dans un milieu fluide, se fonde sur la vitesse maximale de déplacement des grains dans un champ de forces gravitationnelles (classificateurs à sédimentation) et/ou dans un champ de forces centrifuges (hydrocyclones). La fraction fine du sédiment (plus polluée) est acheminée vers la phase de « dewatering », tandis que les eaux de traitement sont collectées dans des réceptacles prévus à cet effet et éliminées de manière adéquate par des entreprises spécialisées.

L'installation expérimentale comprend les modules suivants :

1. Module pour l'élimination des matériaux de faible densité, tels que les fibres végétales (ex. *Posidonia Oceanica*) et les fragments de plastique
2. Vibro-tamissage
3. Hydrocyclones
4. Cellules d'attrition
5. Classificateur à spirale

Chaque expérience de séparation mécanique des différentes fractions granulométriques a nécessité l'utilisation de 4 m³ de sédiments (correspondant à environ 6 tonnes).

L'eau de traitement, préalablement stockée dans des citernes de stockage d'un volume de 2,5m³, suit un circuit fermé, sans aucune évacuation pendant le processus de traitement et est éliminée en fin de traitement en tant qu'effluent liquide selon les normes en vigueur.

Les fractions en sortie de l'installation (solides et liquides) ont été échantillonnées en mélangeant plusieurs prélèvements collectés pendant le fonctionnement de l'installation en attribuant aux échantillons les acronymes suivants :

TQ = SÉDIMENT BRUT EN L'ÉTAT

SG = SABLE GROSSIER

SF = SABLE FIN

PE = PÉLITES

Au terme du processus de traitement, les fractions de sédiment récupérées, triées en fonction de leurs classes granulométriques respectives, ont été soumises à des analyses chimiques, physiques et biologiques, en vue de l'évaluation de la qualité des matériaux et de l'identification des solutions de gestion et de réutilisation.

- PRINCIPALES CONCLUSIONS FORMULÉES PAR ISPRA LIVOURNE

Le soil washing (lavage du sol) exploite la tendance des polluants à se concentrer dans la fraction fine, en raison de sa plus grande surface spécifique, donc plus soumise aux phénomènes d'adsorption concernant à la fois la substance organique que les contaminants eux-mêmes.

Par rapport à la matrice sableuse, principalement composée de silice et de carbonates, la fraction limoneuse-argileuse est essentiellement caractérisée par des minéraux argileux, des oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium et des matières organiques, toutes des espèces chimiques très actives dans les processus d'échange ionique et de complexation.

Le traitement de soil washing a permis d'obtenir un sable de bonne qualité environnementale, adapté aux opérations de réutilisation indiquées par les autres partenaires du projet SEDITERRA, et une fraction fine principale destinatrice pour la migration des polluants.

La réalisation de tests de rejet menés sur les eaux de traitement et sur les éluats des sédiments a été jugée utile pour analyser la mobilité des polluants dans des matrices complexes comme les sédiments marins afin de comprendre les modalités de variation de la libération de ces éléments dans l'environnement marin côtier et lors de la réutilisation à terre.

En plus de l'évaluation qualitative des sédiments, ces tests ont également été utiles pour évaluer la capacité de transfert des contaminants des sédiments vers l'eau de traitement, en simulant les impacts potentiels que différentes options de gestion et de réutilisation (par exemple, matériaux de route, engraissement des plages, matériaux de construction, etc.) pourraient avoir sur l'environnement.

Outre la concentration de départ des éléments chimiques recherchés dans les sédiments et la grande variabilité environnementale du site de prélèvement des sédiments traités, un certain nombre de facteurs physico-chimiques (tels que le pH, le potentiel Redox, la solubilité, la température, les concentrations d'Oxygène et de Carbone Organique), en interagissant entre eux, peuvent avoir un impact sur les processus de mobilité des polluants, et complexifient l'évaluation qualitative des différents paramètres examinés et donc du processus de traitement utilisé. Ces facteurs d'interférence devraient être étudiés plus en détail lors d'expériences ultérieures.

Le rapport final sur les activités de surveillance confiées à ARPAT (*N.B. Agence Régionale de Protection de l'Environnement*) contient les conclusions formulées par ARPAT qui – en résumé – indiquent dans les eaux de process « une tendance générale à la migration des polluants surveillés, avec une augmentation de leur concentration » et dans les fractions solides récupérées « une augmentation générale de la concentration des polluants surveillés dans les fractions fines par rapport aux fractions sableuses ».

La comparaison avec les valeurs chimiques de référence italiens (L1 et L2) pour les zones limitrophes à faible contamination présentant une fraction fine comparable a fait ressortir une situation de départ (TQ – Tel Quel) relativement peu compromise.

L'application du procédé de séparation mécanique montre une concentration de métaux dans les fractions les plus fines (PE) en faveur des sables grossiers (SG), qui ne sont pratiquement plus contaminés et donc réutilisables : les valeurs trouvées sont généralement inférieures à L1, à l'exception du cadmium pour lequel, cependant, il n'y a pas d'association évidente avec la composition granulométrique.

Afin de réutiliser les matériaux récupérés, il convient d'examiner les processus de transfert et de solubilisation de certains éléments chimiques, car les essais réalisés ont fait ressortir une augmentation de la concentration de certains métaux dans les eaux de traitement par rapport aux eaux en entrée, preuve du passage de certains métaux du sédiment à l'eau.

L'évaluation des concentrations en composés organostanniques fait ressortir des valeurs différentes entre Livourne et Cagliari. En particulier pour Livourne : en partant de niveaux sur brut supérieurs à L1, on parvient à des valeurs supérieures à L2 dans les fines, mais dans tous les cas, des fractions sableuses SG et SF réutilisables, grâce à l'abattement de cette pollution.

En ce qui concerne la pollution aux hydrocarbures, l'attention est attirée uniquement sur les concentrations d'hydrocarbures lourds (C>12) qui sont supérieures à la valeur "L2" dans presque toutes les fractions mais avec des valeurs négligeables dans les sables grossiers. Il n'y a aucune preuve de transfert des sédiments vers l'eau de traitement.

Pour les HAP de Cagliari, bien que l'analyse des eaux de traitement ne fasse ressortir aucune augmentation spécifique de la concentration des congénères présentant les concentrations les plus élevées, s'agissant toutefois, de substances dangereuses prioritaires, il convient de consacrer une attention particulière à la gestion des fractions sableuses, malgré l'excellente efficacité d'abattement de l'installation pilote pour d'autres polluants.

Les hydrocarbures lourds ne suscitent aucune inquiétude, même en tenant compte du fait que, s'agissant d'une pollution non-spécifique, il conviendrait de procéder à des analyses supplémentaires afin de déterminer quels sont les composés réellement responsables de la teneur élevée.

Les recherches relatives aux teneurs en PCB font ressortir une concentration de ces substances dans les fractions fines et une libération négligeable entre le sédiment brut (TQ) et l'eau.

L'usine pilote a rempli avec efficacité et précision sa fonction de séparation mécanique des sédiments selon les différentes classes granulométriques qui les composent. Les résultats obtenus indiquent que les sédiments portuaires traités par l'installation pilote peuvent fournir des matériaux appropriés de bonne qualité physico-chimique : la réutilisation des fractions de sable SG récupérées est donc possible.

- SYNTHÈSE GÉNÉRALE DE ISPRA LIVOURNE

L'installation pilote pour le traitement expérimental des sédiments a rempli de manière efficace et précise sa fonction de séparation mécanique des sédiments entre les différentes classes granulométriques dont ils sont composés.

Les résultats obtenus indiquent que les sédiments portuaires traités par l'installation pilote fournissent des matériaux appropriés de bonne qualité physico-chimique : il est en effet possible de réutiliser les fractions de sable grossier [SG] récupérées (par ex. pour : matériaux routiers, remblayage de plages, matériaux de construction, etc.).

Le processus de soil washing a permis d'obtenir des sables présentant des bonnes qualités environnementales, adaptés pour des activités de réutilisation, ainsi qu'une fraction fine, destination principale de la migration des polluants.

À partir d'un matériau brut (TQ : Tel Quel) de bonne qualité environnementale, même la fraction sableuse fine (SF) pourrait être également valorisée ; la fraction fine résiduelle (PE : Pélites) représente un volume plus réduit de sédiments à éliminer par rapport au volume initial de sédiment brut, ce qui apporte des avantages tant du point de vue économique que du point de vue environnemental.

Par ailleurs, l'analyse chimique des eaux en contact avec les sédiments durant le traitement a permis d'évaluer le transfert des contaminants présents dans les sédiments vers les eaux de process et a constitué ainsi une analyse grossière des impacts potentiels que les différentes options de gestion et de réutilisation pourraient avoir sur l'environnement.

Cela a révélé que, tant la concentration initiale des éléments chimiques dans les sédiments, que la variabilité environnementale des sites de collecte des sédiments traités, ainsi que les différents paramètres physico-chimiques - tels que le pH, le potentiel Redox, la solubilité, la température, les concentrations d'Oxygène et de Carbone organique - en interagissant entre-eux, influencent les processus de mobilité des polluants et complexifient l'évaluation qualitative des différents paramètres étudiés et du processus de traitement utilisé. L'étude de ces facteurs combinés pourrait être approfondie lors d'expériences ultérieures, notamment en utilisant des sédiments marins présentant des niveaux de contamination plus élevés que ceux testés à l'occasion de ce projet.

D'autres expériences similaires à celles menées dans le cadre du projet SEDITERRA sont nécessaires et souhaitables, afin de mettre en oeuvre et de promouvoir la récupération et l'utilisation des matériaux traités dans le cadre de travaux de réemplois bénéfiques.

7.2) TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR MYCOREMÉDIATION – DISTAV GÈNES (LIVRABLE T2.3.4)

- PRINCIPES ET OBJECTIFS DU TRAITEMENT

Afin d'améliorer les caractéristiques chimiques des sédiments dragués dans les ports en vue de leur réutilisation future, le laboratoire DISTAV (Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita) de l'Université de Gênes a proposé l'activité pilote de traitement des sédiments par mycoremédiation. La mycoremédiation (via l'utilisation de micromycètes) fait partie des traitements connus sous le nom de bioremédiation, une alternative "verte" aux méthodes traditionnelles de traitement des polluants dans les sédiments et les eaux.

Les stratégies de bioremédiation consistent à stimuler et à exploiter les microorganismes qui sont des composants des cycles biogéochimiques naturels. Ces microorganismes sont capables de dégrader les polluants organiques et de bio-accumuler les polluants inorganiques (métaux) par des processus biologiques qui se produisent naturellement (sécrétion d'enzymes et d'acides organiques par les microorganismes qui peuvent interagir avec les polluants).

- MATÉRIELS ET MÉTHODES DU TRAITEMENT

L'activité de mycoremédiation du DISTAV Gênes a été réalisée sur des sédiments prélevés dans 6 zones différentes : le port de Gênes, le réservoir de remplissage du port de Livourne, le canal Navicelli de Pise, le réservoir de remplissage du port de Cagliari, le port de Centuri et le port de Toulon. Pour chaque site, 30 kg de sédiments ont été échantillonnés puis soumis au processus de mycoremédiation.

Dans un premier temps, l'activité a consisté à caractériser la flore fongique autochtone présente dans chaque sédiment. Sur la base des informations contenues dans la bibliographie, les espèces de microchampignons, identifiées dans les sédiments de chaque zone, qui sont les plus efficaces pour la dégradation des composés organiques et l'accumulation des métaux, ont été sélectionnées. Enfin, les espèces indigènes sélectionnées sur chaque site ont été exploitées pour évaluer la capacité de ces microorganismes à réduire ou éliminer les polluants présents dans les sédiments dont ils sont extraits.

La caractérisation de la flore fongique a été réalisée afin d'utiliser les microchampignons naturellement présents dans chaque zone sans introduire de nouvelles espèces, en vue de l'application possible du protocole de mycoremédiation directement dans l'environnement.

Plus particulièrement, les sédiments prélevés dans les réservoirs de remplissage (cas de Livourne et de Cagliari) ont été exposés aux conditions climatiques pendant de longues années, les sédiments prélevés dans le canal Navicelli de Pise sont saumâtres et les sédiments du port de Centuri sont caractérisés par la présence de fibres de posidonies mortes.

Chaque échantillon a d'abord été homogénéisé, puis les fractions de sédiments suivantes ont été prélevées :

- 5 g pour la caractérisation mycologique du sédiment et pour la sélection du microchampignon pour l'activité de mycoremédiation
- 215 g pour la caractérisation physique du sédiment
- 1,5 kg pour la caractérisation chimique du sédiment
- 25 kg pour effectuer la mycoremédiation (15 kg pour le port de Centuri)

Les souches fongiques ont été isolées du sédiment par la méthode de dilution sur plaque. L'échantillon a été dilué dans de l'eau stérile dans un rapport de 1:10 (p/v).

Après agitation mécanique pendant 10-20 min, la solution obtenue a été diluée par un facteur de 10. 1 ml de suspension a été inoculé dans chaque plaque de Pétri. Enfin, les plaques ont été incubées pendant une semaine dans l'obscurité à une température de 24 °C. Pour favoriser la croissance fongique, des milieux de culture spécifiques ont été utilisés, additionnés d'antibiotiques afin de limiter la croissance des souches bactériennes. Les colonies de champignons ont été comptées chaque semaine et les morphotypes ont été isolés dans des cultures pures, en éprouvette. À ce stade, l'identification morphologique et moléculaire des souches isolées a été effectuée en utilisant une approche polybasique.

Une fois que toutes les espèces trouvées ont été correctement identifiées, celles qui conviennent le mieux aux essais de mycoremédiation tant pour les contaminants organiques qu'inorganiques, pour chaque sédiment, ont été sélectionnées en fonction de la fréquence d'isolement et des connaissances bibliographiques.

Une fois les pools d'espèces à utiliser identifiés, il a été procédé à des inoculations liquides de sols de culture appauvris (à teneur réduite en éléments nutritifs) afin de favoriser la croissance fongique juste assez pour que les champignons eux-mêmes dans les sédiments soient activés et stimulés pour dégrader et/ou accumuler d'autres substances. Un inoculum de 0,5L a été préparé pour chaque bac. Une fois préparé et inoculé avec les champignons sélectionnés, il a été mis en agitation pendant 4 jours avant d'être ajouté au sédiment lui-même.

- PRINCIPALES CONCLUSIONS FORMULÉES PAR DISTAV GÈNES ET PERSPECTIVES

Les essais de mycoremédiation ont montré que le traitement fongique était plus efficace pour l'accumulation des métaux lourds que pour la dégradation des contaminants organiques. L'une des principales limites des expériences réalisées a été de travailler avec des taux de contamination plutôt faibles : tant les valeurs des métaux que celles des contaminants organiques se situaient souvent en dessous des niveaux de tolérance standard.

La contamination étudiée ici peut être qualifiée de résiduelle. Cependant, au moins en ce qui concerne les métaux, les résultats sont très encourageants et prometteurs.

Dans la plupart des sédiments, il a été constaté une réduction des contaminants et une augmentation de la concentration de métaux sur les membranes de feutre inoculées avec des champignons indigènes. S'agissant d'organismes vivants, un certain degré de sélectivité dans l'accumulation des métaux a été constaté : en effet, les espèces fongiques sont capables d'absorber certains métaux mieux que d'autres, et elles n'ont pas toutes développé leur capacité de bioaccumulation. Il existe, en effet, des métaux dits à fonction biologique, que les microorganismes sont capables d'absorber parce qu'ils sont déterminants pour assurer un bon fonctionnement cellulaire (par exemple Fe et Zn), et des métaux indifférents que seules certaines espèces sont capables de chélater et d'absorber grâce à l'évolution de mécanismes spécifiques et aussi grâce à l'adaptation et/ou l'exposition à ces métaux (par exemple Cr, As, Pb, Hg).

En suivant la stratégie d'évaluation pondérée de la qualité et de la dangerosité des sédiments décrite dans le Décret Ministériel Italien 173/2016, une évaluation quantitative de l'efficacité de la mycoremédiation sur les sédiments traités a été réalisée. Selon la valeur limite L1 (niveau chimique de référence le plus bas), avant traitement (Temps 0), les sédiments de Gênes présentent une contamination (HQC) élevée en métaux (rouge), Pise et Cagliari une contamination très élevée (noir). Selon la valeur limite L2 (niveau chimique de référence le plus élevé), les sédiments de Gênes ont une contamination absente (blanc), Cagliari une contamination moyenne (jaune) et Pise une contamination très élevée (noire).

Après le traitement par mycoremédiation (au Temps 3), une amélioration générale de la qualité des sédiments est observée. Pour Gênes cependant, l'amélioration s'est limitée à une réduction de classe de contamination par rapport à L1 : d'une forte contamination à une contamination modérée.

S'agissant des sédiments de Livourne, Centuri et Toulon, il n'a pas été possible de calculer le quotient de danger (HQC) des sédiments car les concentrations en métaux considérées par la législation dépassant les limites de détection au Temps 0 étaient trop peu nombreuses et auraient donné des résultats non significatifs. En ce qui concerne les HAP, tous les sédiments ont présenté une contamination initiale négligeable et l'évaluation n'a donc pas été appliquée.

L'évaluation de la qualité a mis en évidence une amélioration de la qualité des sédiments après la mycoremédiation, néanmoins insuffisante pour abaisser la classe de risque sédimentaire à un niveau acceptable pour une réutilisation éventuelle.

Cela pourrait signifier que pour des niveaux élevés de contamination métallique, comme dans le cas de Pise, l'effet positif de la mycoremédiation et/ou le temps de traitement utilisé dans ce pilote n'ont pas été suffisants pour obtenir une amélioration significative.

Cela pourrait être dû à des facteurs environnementaux externes ou aux caractéristiques physiques des sédiments (taille des grains, teneur en matière organique, pH, température ambiante, humidité). Il sera donc nécessaire d'approfondir cet aspect dans le processus de traitement et de trouver une possible amélioration.

La sélection des souches fongiques a été déterminante pour l'utilisation des champignons indigènes, car ils sont certainement les plus adaptés pour vivre dans et tolérer le milieu contaminé étudié. D'autre part, il est possible que les champignons adoptent l'exclusion comme stratégie de survie vis-à-vis d'un certain contaminant. C'est ce qui fait que chaque espèce est habile et très efficace dans l'accumulation de certains métaux, et l'exclusion complète d'autres éléments.

Les tests de mycoremédiation réalisés ont permis de caractériser mycologiquement un milieu particulier, celui des sédiments dragués, dont on sait aujourd'hui très peu de choses. En outre, les travaux ont permis de sélectionner des souches de champignons marins indigènes qui peuvent être utilisées dans les processus de biorestoration des sédiments de dragage contaminés en raison de leur excellente biodégradation des substances toxiques et, en particulier, de la bioconcentration des métaux lourds.

Les faibles valeurs de contamination constatées sur presque tous les sites ont montré que les champignons sont également potentiellement utilisables dans le traitement des contaminations résiduelles, principalement métalliques. L'étude d'une membrane absorbante poreuse sur laquelle le mycélium fongique peut facilement s'enraciner et se développer, en restant chimiquement en contact avec le substrat sous-jacent et en accumulant les métaux, y compris les métaux résiduels, représente un objectif intéressant et important qui pourrait réduire de manière significative les coûts d'élimination et de stockage des sédiments dragués à l'extérieur du port, ainsi qu'ajouter de la valeur et transformer ces sédiments en une ressource de manière totalement naturelle et durable directement *in situ*.

Ce projet doit encore être perfectionné et mis en œuvre pour faciliter son utilisation à grande échelle et directement *in situ*, en transférant ainsi l'activité à une échelle réelle et non à une échelle de laboratoire, en l'adaptant à chaque type de sédiment à traiter et en essayant de la rendre applicable dans n'importe quelles conditions climatiques (même défavorables à la survie des champignons).

7.3) TRAITEMENT DES SÉDIMENTS PAR DÉSHYDRATATION - NAVICELLI / PROVINCE DE PISE (LIVRABLE T2.3.5)

- PRINCIPES ET OBJECTIFS DU TRAITEMENT

L'activité pilote a consisté à réaliser un dragage hydraulique (par pompage) d'environ 500m³ de sédiments, prélevés dans le lit du canal, et de tester l'efficacité et vérifier l'impact environnemental de leur déshydratation (« traitement par dewatering ») par utilisation de géotextiles drainants (*i.e.* géotubes). Le contrôle environnemental a été mené en effectuant une caractérisation physico-chimique des eaux de rejet.

- MATÉRIELS ET MÉTHODES DU TRAITEMENT

Les sédiments ont été dragués par des moyens hydrauliques et pompés à l'intérieur de 2 géotextiles drainants (taille de chaque géotextile : 4,0 m x 30,0 m x Hr < 1,7 m). L'essai a été réalisé en installant le système le long de la rive droite du canal Navicelli dans les zones de rattachement hydraulique du canal fluvial, dans le tronçon entre l'Incile et la Darsena Pisana.

L'installation du système a été précédée d'un aménagement morphologique minutieux de la zone afin d'assurer un bon drainage des eaux de lixiviation et de faciliter l'accès à la zone d'intervention.

Les géotextiles sont produits avec des caractéristiques de résistances mécaniques adaptées au confinement définitif du matériau pompé. Ils permettent de confiner à l'intérieur la partie solide du matériau dragué tout en facilitant le drainage de l'eau présente. Les tubes géotextiles sont équipés de trappes de remplissage spécifiques (diamètre minimum DN100) placées à une distance d'environ 10 m les unes des autres afin de permettre leur remplissage au moyen d'un équipement de pompage approprié. Les tubes sont équipés de buses spécifiques permettant de les remplir avec un mélange eau/sédiment, contenant un maximum de 15 % V/V de sédiment.

Le dragage hydraulique a été effectué avec une pompe d'aspiration et de refoulement de type DragFlow, dans une conduite de 100 m de long maximum, avec un débit de mélange boues/eau compris dans la plage 150-300 mc/h, adaptée à l'excavation de matériaux de type limoneux-argileux.

Le débit horaire du mélange dragué à l'intérieur de chaque géotube fourni était d'environ un quart du volume de confinement maximum de celui-ci, afin de garantir un temps de libération adéquat du surnageant séparé à l'intérieur.

Le suivi environnemental a été mis en place en effectuant un contrôle physico-chimique quotidien des eaux rejetées tout au long du processus de pompage et dans les jours qui ont suivi la fin des travaux. Les sédiments ont, quant à eux, été caractérisés moins fréquemment, dans les phases les plus significatives du processus de déshydratation (début, moyen terme et fin du traitement).

Pendant la phase de pompage, deux échantillons d'eau ont été prélevés quotidiennement pour analyse : au début et à la fin des activités. Le pompage dans les géotextiles drainants a duré 3 jours. Après remplissage (*ie.* Fin du pompage), un prélèvement d'eau quotidien a été effectué et cela pendant 4 jours consécutifs. Deux échantillons d'eau supplémentaires ont également été prélevés pour contrôle 7 et 10 jours après la fin de la surveillance quotidienne.

L'eau (échantillons de 1000 mL) a été prélevée en différents points du géotube afin d'avoir un échantillon composite moyen représentatif de toute l'eau expulsée.

Les résultats d'analyse obtenus se réfèrent aux limites réglementaires du tableau 2 de l'annexe 5, partie IV du D.-L. 152/2006 pour les eaux usées.

- **SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS PAR NAVICELLI**

L'examen des résultats analytiques montre que les concentrations maximales mesurées dans les eaux émises et libérées dans le milieu adjacent (*ie.* l'eau du canal) sont supérieures aux limites établies par la législation en vigueur pour les eaux usées (Concentrations Seuls de Contamination (CSC)) en ce qui concerne les sulfates (7 à 8 fois le seuil), le nickel (1.8 fois), l'arsenic (3 à 30 fois), le plomb (2 fois) et le cuivre (2.3 fois).

Ces dépassements constatés dans les eaux ne sont pas intimement liés aux teneurs présentes dans le sédiment qui, elles, sont bien en deçà des seuils autorisés par la législation (Tableau 1 de l'annexe 5 - partie IV - Décret Législatif 152/2006).

Enfin, il est constaté en fin de suivi, soit 10 jours après la fin du pompage, que, hormis pour les teneurs en sulfates (liées à la nature saumâtre des sédiments), les valeurs mesurées dans les eaux de ressuyage redeviennent toutes bien inférieures aux seuils législatifs pour les eaux usées.

7.4) TRAITEMENT PAR CALCINATION DES FRACTIONS DE FIBRES DE POSIDONIE – PROVADEMSE / INSA LYON (LIVRABLE T2.3.6)

- PRINCIPES ET OBJECTIFS DU TRAITEMENT

Les opérations de dragage des sédiments marins entraînent, dans certains cas, la récupération de quantités importantes de biomasse marine, à l'instar des résidus de posidonies. Les opérations de traitement des sédiments dragués permettent de séparer une fraction principalement minérale, valorisable, et de produire des résidus végétaux, qui malgré la présence de sable pourraient être également valorisés énergétiquement et éviter ainsi leur mise en décharge.

L'étude réalisée traite de la possibilité de la valorisation énergétique de ces résidus de biomasse marine. Pour cela une expérience pilote de traitement thermique des fractions de fibres et grains de résidus végétaux a été menée afin d'en déterminer le potentiel de valorisation énergie et d'en assurer l'évaluation.

- MATÉRIELS ET MÉTHODES DU TRAITEMENT

Production des résidus de biomasse marine

Les sédiments étudiés acheminés sur le CPEM ENVISAN de La Seyne s/ mer ont fait l'objet, par ENVISAN, d'un traitement en deux étapes permettant la séparation de la fraction principalement minérale des sédiments, susceptible de faire l'objet d'autres modes de valorisation, de la fraction principalement organique, destinée à la valorisation énergétique.

La première étape consiste à envoyer les sédiments dans une cuve d'eau possédant des plans inclinés et une vis sans fin qui permet par différence de densité de séparer les résidus organiques les plus grossiers. Un deuxième traitement est ensuite effectué sur les résidus qui consiste en 2 trommels sous eau qui permettent de séparer les résidus végétaux.

Les résidus végétaux qui ont fait l'objet de cette étude sont issus de cette deuxième étape de traitement.

Préparation des résidus de biomasse marine

Les parties valorisables énergétiquement des résidus végétaux sont les parties fibreuse et granulaire non sableuse. Comme la technologie visée en traitement thermique est la pyrogazéification à lit fixe, les déchets sous forme de fibres et grains ne sont pas adaptés du fait de leur faible densité. Il est donc indispensable que les déchets soient préparés (tamisage, séparation et pelletisation) afin de correspondre aux caractéristiques physiques adéquates pour le traitement en lit fixe.

Pour préparer les échantillons de résidus de biomasse marine afin de les gazéifier, nous avons, au préalable déterminé le taux d'humidité et étudié la cinétique de séchage des échantillons, déterminé la composition des échantillons par nature (fibres, grains) et leur distribution granulométrique. Nous avons aussi étudié leurs caractéristiques physico-chimiques et reconditionné les échantillons avant de les pelletiser avec un taux d'humidité optimal.

Ainsi les résidus de biomasse marine ont été préparés après optimisation de leur valeur énergétique par séchage et extraction par tamisage de la fraction supérieure à 500 µm qui représente plus de 90% de la masse sèche des résidus végétaux, dont le taux de cendre (21%) est réduit par rapport à l'échantillon brut et dont la valeur énergétique (>17 MJ/kg) est supérieure à celle de l'échantillon brut et proche de celle de combustibles tels que le bois. La fraction inférieure à 500 µm, quant à elle, essentiellement sableuse, pourrait faire l'objet d'une valorisation matière qui reste à étudier. Après élimination de la fraction inférieure à 500 µm, les échantillons ont été reconstitués au prorata de chaque fraction (fibres : 25% et grains : 75%), et humidifiés à 30% avant d'être pelletisés. Les pellets ont été ensuite séchés à l'air libre pour atteindre une humidité résiduelle inférieure à 20% avant la gazéification.

Dispositif expérimental de gazéification

Le dispositif expérimental de gazéification utilisé pour les essais de faisabilité de valorisation énergétique est un réacteur de pyro-gazéification à lit fixe co-courant d'une puissance de 100 kW spécifiquement mis au point pour les besoins de PROVADEMSE afin de l'adapter au traitement de certains déchets et de disposer de l'ensemble des données nécessaire pour vérifier le comportement de la matière dans le réacteur, évaluer les performances de la gazéification et établir un bilan matière énergie de l'opération. Ce réacteur est complété par un échangeur permettant le refroidissement du syngaz produit ainsi qu'une chaudière destinée à la combustion du syngaz refroidit et un aérotherme pour la dissipation des calories produites par la chaudière.

Suivi de la gazéification

Le fonctionnement du réacteur de gazéification a été suivi par la mesure des paramètres suivants :

- Débit d'air injecté au niveau des différentes zones du réacteur (séchage/pyrolyse, oxydation, réduction)
- Température des différentes zones, y compris du gaz produit (syngaz) depuis la sortie du réacteur jusqu'à son introduction dans la chaudière via son refroidissement
- Pression et perte de charge en différents points du réacteur
- Combustion du syngaz, évolution des débits de syngaz, d'air de combustion et des fumées
- Récupération de chaleur et détermination de la puissance du syngaz

Caractérisation des produits entrants et résultants de gazéification

La caractérisation des produits entrants (pellets) et des différents produits issus du procédé, résidus solides, syngaz et fumées a été réalisée au moyen d'analyses physico-chimiques, analyses élémentaires et analyses de la composition des inorganiques.

L'analyse du syngaz a été menée par le prélèvement des goudrons (tar-Protocol), dont l'analyse spécifique a été confiée au CIRAD de Montpellier, et la mesure en continu des gaz permanents en micro-chromatographie en phase gazeuse.

- PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS

Caractéristiques des pellets de biomasse marine

Ces pellets présentent une composition en chlore supérieure à la limite fixée pour une valorisation énergétique en chaudière à biomasse. En revanche, leur composition (analyse élémentaire et teneur en métaux) est compatible avec leur valorisation énergétique comme CSR (Combustible Solide de Récupération). Ces pellets peuvent donc être valorisés dans les installations relevant de la rubrique ICPE 2971 comme par exemple une unité de pyro-gazéification.

Compte tenu de l'important taux de cendre de ces résidus de biomasse marine, malgré l'élimination de la fraction <500µm, l'étude du comportement à la fusion des cendres s'est avérée nécessaire et a montré que la gazéification de ces résidus végétaux peut présenter un risque de production d'importantes quantités de cendres fondues susceptibles de se solidifier par refroidissement avec des conséquences graves sur l'écoulement de la matière dans le réacteur ou dans le système d'évacuation des cendres. Cet aspect constitue une limite opérationnelle à vérifier et éventuellement résoudre dans le cadre du développement industriel de cette solution de valorisation énergétique des résidus de biomasse marine.

Résultats des essais de gazéification

Ces essais ont permis de valider le bon comportement mécanique du lit de gazéification (écoulement, perte de charge, tassement, voûtage, etc) malgré la formation observée de solidifiats parmi les résidus. Par comparaison avec la mise en oeuvre des mêmes essais à partir de déchets de bois A voire plaquettes de bois B, la conduction des essais apparaît même plus aisée.

Les essais ont montré que la chaleur produite en sortie de réacteur de gazéification des résidus de biomasse marine peut être utilisés pour les opérations de séchage des résidus végétaux avant leur préparation et gazéification.

Les caractéristiques de combustion du syngaz produit sont similaires à celles observées à partir d'autres combustibles comme des plaquettes de bois.

La combustion du syngaz dans la chaudière a permis de produire une puissance moyenne autour de 50 kW dont 17 kW apporté par du propane. Une optimisation pourrait permettre de fonctionner sans apport de propane. Le bilan énergétique de la chaudière montre que les goudrons contenus dans le syngaz constituent une part non négligeable du contenu énergétique produit par la gazéification.

La mise en oeuvre des essais de pyro-gazéification et les opérations de maintenance qui ont suivi ont permis de mettre en évidence des phénomènes de corrosion de la chaudière utilisée pour la combustion du syngaz produit. Ceci constitue une nouvelle limite opérationnelle à vérifier et éventuellement résoudre dans le cadre du développement industriel de cette solution de valorisation énergétique des résidus de biomasse marine.

Caractéristiques de produits de gazéification

Les résidus solides issus du procédé de gazéification de pellets de biomasse marine présentent des teneurs en chlorures et en métaux relativement importantes du fait d'un effet de concentration dans la matière débarrassée d'une partie de son contenu en matière organique.

Cette composition les rend impropres à une valorisation énergétique secondaire dans une installation de combustion de biomasse.

La composition du syngaz produit à partir de pellets de biomasse marine montre que celui-ci est de moins bonne qualité qu'un syngaz produit à partir de plaquettes forestières ce qui se traduit par un PCI plus faible (3,85 MJ/Nm³ contre 4,65 MJ/Nm³ pour le syngaz produit à partir de plaquettes forestières). De plus, la gazéification des pellets de biomasse marine conduit à la production, dans le syngaz, d'une teneur de 0,12% en H₂S, en partie responsable des phénomènes de corrosion observés lors des opérations de maintenance.

Le syngaz des pellets de biomasse marine contient une teneur en goudrons de 4,1 g/Nm³, proche de celle de syngaz de plaquettes de bois B. Ces goudrons sont principalement constitués de composés aromatiques et de HAP pour environ 70%. Selon les applications visées par le syngaz, une étape d'épuration (non nécessaire dans notre cas d'alimentation d'une chaudière adaptée) pourrait s'avérer nécessaire.

L'analyse des fumées de combustion du syngaz révèle des teneurs en NO_x, SO_x, HCl, plomb et somme des métaux (Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V, Zn) supérieures aux valeurs limites d'émission fixées pour les installations de combustion de biomasse et de combustibles solides soumises à la réglementation ICPE 2910. Ainsi, si l'application visée du syngaz doit être la combustion, il est indispensable de mettre en place un traitement de fumées, notamment des équipements de Denox des fumées afin de se mettre en adéquation avec les limites d'émission fixées par la réglementation.

Performances du procédé de gazéification

En termes de performances, les essais réalisés ont permis de convertir 91,2% de la matière organique sous la forme de gaz combustible. Ce taux de conversion est relativement important mais pourrait être amélioré par des actions sur la conduite de procédé pour se rapprocher des taux de conversion (de l'ordre de 96%) obtenus avec des déchets de bois A ou des plaquettes forestières.

Le bilan matière montre que 93% de l'alimentation (charge brute et air de process) est transformé en syngaz alors que les résidus solides représentent 3,8% de la matière entrante.

Le bilan énergétique de ces essais, qui ne correspondent pas à des conditions optimisées de fonctionnement, montre que la puissance entrante (47 kW) basée sur le PCI de la charge, a permis de produire 30 kW de syngaz, 3,2 kW d'énergie dans les résidus (PCI), 3 kW de chaleur issue du refroidissement du syngaz et 10,7 kW d'énergie spécifique des résidus et pertes pariétales.

- SYNTHÈSE GÉNÉRALE FORMULÉE PAR PROVADEMSE (INSA LYON)

Cette étude réalisée au sein de la plateforme technologique PROVADEMSE de l'INSA de Lyon avait pour objectif de réaliser des recherches de R&D sur la faisabilité technique et environnementale de traitement des résidus de biomasse marine par gazéification. Un accent a été mis sur la préparation de la charge avant traitement. Ces opérations de préparation ont montré qu'il était indispensable que les résidus de biomasse marine subissent quelques opérations unitaires avant gazéification. Les principales opérations unitaires identifiées et réalisées avant gazéification sont :

- Séchage
- Tamisage et séparation des fractions fines (fraction <0,5mm)
- Densification par pelletisation

- **Séchage** : Les opérations de séchage ont été précédées d'une étude de la cinétique de séchage suivant diverses conditions opératoire (température de séchage, durée du séchage, épaisseur de la couche, etc.). En phase de préparation, il a été démontré qu'il fallait ramener l'humidité des résidus de biomasse marine de plus de 60% à environ 15 à 20%.
- **Tamisage / séparation** : une étude granulométrique fine a été réalisée sur les résidus de biomasse marine et des analyses (MOT, PCI, taux de cendres) réalisées sur chaque fraction. L'interprétation des résultats obtenus a permis de constater que les fractions fines (en deçà de 500µm) représentaient environ 10% de la masse totale.

L'important est que cette fraction concentrait la grande partie des matières minérale de la charge brute tandis que la quasi-totalité de la fraction organique, donc de l'énergie, était concentrée dans la fraction opposée (sup. à 500 μ m). Cela a justifié le bien fondé de réaliser en phase de préparation la séparation des fractions fines inférieures à 500 μ m.

- **Densification** : La masse volumique des résidus de biomasse marine séchés ne représente que 119 kg/m³. Cette valeur est trop faible pour que ce déchet convienne à un réacteur de gazéification à lit fixe, dont l'écoulement dans le réacteur est gravitationnel. Il était donc nécessaire de procéder à la pelletisation de cette charge. Cette opération a permis d'obtenir des pellets d'une densité de plus de 480 kg/m³, densité qui convient mieux pour ce genre de procédés de gazéification à lit fixe.

Après les opérations de préparation suivant la démarche ci-dessus synthétisée, plusieurs heures d'essais de gazéification s'étalant sur plus de 2 jours ont été menés. Ces essais ont été précédés par une phase de caractérisation fine des pellets de biomasse marine obtenus après préparation.

L'étude proprement dite de faisabilité de gazéification à l'échelle pilote a porté sur des pellets de biomasse marine. Ces essais ont permis de valider le bon comportement mécanique du lit de gazéification (écoulement, perte de charge, tassement, voûtage, etc.).

L'analyse de tous les effluents solides, liquides et gazeux issus du procédé a ensuite été réalisée. Une attention particulière a été portée à l'analyse du syngaz et l'identification des goudrons (composés considérés comme tels). En termes d'émissions gazeuses (émissions atmosphériques) l'analyse des fumées a permis de confronter les résultats obtenus à la réglementation en vigueur. Il a été noté particulièrement que les teneurs élevées en NO_x dépassent les valeurs limites préconisées par les diverses réglementations.

Les résidus solides ont été caractérisés, et il s'est avéré qu'ils ne respectaient pas les valeurs limites préconisées pour les cendres issues des installations relevant de la rubrique ICPE 2910-B.

Il a donc pu être démontré que la gazéification des résidus végétaux issus du traitement des sédiments marins présentait un fort potentiel. Cependant, une autre filière devra être trouvée pour les fractions fines (<500 μ m), en majorité du sable, mais qui représente moins de 10% en masse des résidus végétaux bruts. Par ailleurs, si le gaz a pour vocation à être brûlé, une attention particulière devra être portée aux émissions atmosphériques. Il serait même plus judicieux d'envisager des équipements de traitement de fumées (NO_x, HCl, métaux).

7.5) SYNTHÈSE DES PILOTES DE TRAITEMENT ET VALORISATION DES SÉDIMENTS - PROVADEMSE / INSA LYON - ISPRA LIVOURNE - RAS / CAGLIARI (LIVRABLE T2.4.7)

- PRINCIPES ET OBJECTIFS

La gestion des sédiments méditerranéens dragués fait l'objet de procédures d'évaluation différentes en France et en Italie. Les deux démarches ont été appliquées en vue d'en évaluer les conditions acceptables de gestion.

La finalité recherchée pour ces sédiments est en premier lieu de les valoriser en tant que matière première de substitution dans des ouvrages de génie civil comme des remblais techniques, des mortiers de remblaiement de tranchée ou encore des bétons courants.

L'évaluation environnementale de l'utilisation de sédiments dans de telles application peut faire l'objet, en France d'une procédure allant jusqu'à la mise en oeuvre d'essais de simulation à une échelle pilote.

Le rapport T2.4.7 décrit les procédures d'évaluation française et italienne, leur application aux sédiments étudiés, la préparation de matériaux à base de sédiments, l'évaluation des propriétés techniques de ces matériaux ainsi que leur évaluation environnementale afin d'identifier les paramètres susceptibles de rendre de tels ouvrages non conformes aux conditions acceptables de valorisation et d'envisager d'éventuelles adaptations des procédures françaises et italienne d'évaluation environnementale de sédiments marins dans une perspective de valorisation.

- MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les quatre sédiments qui ont fait l'objet des essais pilotes de traitement et de valorisation ont été sélectionnés parmi les 16 échantillons caractérisés en phase préliminaire. Ces échantillons sont identifiés ainsi par leur provenance :

- Centuri
- Toulon
- Cagliari
- Livourne

Les méthodologies française et italienne employées et les résultats des caractérisations des sédiments sur les plans physico-chimiques, écotoxicologiques et géotechniques sont présentées dans le détail dans le livrable T2.4.7. Ce livrable T2.4.7 présente également la méthodologie et les résultats des différents essais de formulation et les contrôles géotechniques menés en laboratoire permettant in-fine de sélectionner celles à mettre en oeuvre et à suivre à l'échelle pilote.

Les ouvrages pilotes de valorisation élaborés à partir des 4 sédiments sélectionnés (deux sédiments italiens et deux sédiments français) ; de conception identique ; ont été réalisés sur deux sites distincts :

- Dans des containers thermo-régulés sur la plateforme environnementale dédiée à la R&D du CPEM ENVISAN à la Seyne sur mer pour les ouvrages à base des sédiments français de Centuri et Toulon
- Sous abri dans les locaux d'ISPRA à Livourne pour les ouvrages à base de sédiments italiens de Livourne et Cagliari

Traitements effectués : Les traitements des sédiments ont été réalisés par lavage / hydrocyclonage avec le matériel ISPRA sur le site de Livourne pour les sédiments de Livourne et Cagliari ; et sur le site de Toulon pour le sédiment de Centuri ; et avec le matériel ENVISAN sur le site de Toulon (CPEM) pour le sédiment « Toulon ». Ces traitements ont eu pour objectifs d'extraire des sédiments les éléments fins et les résidus végétaux pour conserver les fractions sableuses, utilisées par la suite dans les formulations.

Pilotes de valorisation testés :

Dans le cas des sédiments italiens, les scenarii et les types de pilotes de valorisation retenus ont été les suivants :

- Deux lysimètres simulant un remblai, élaborés avec :
 - le sédiment de Cagliari brut
 - le sédiment de Livourne traité
- Quatre dalles en mortier ou béton :
 - Deux dalles en mortier avec les sédiments de Cagliari brut et traité
 - Deux dalles en béton avec les sédiments de Livourne brut et traité

Dans le cas des sédiments français, les scenarii et les types de pilotes de valorisation retenus ont été les suivants :

- Trois lysimètres simulant un remblai, élaborés avec :
 - le sédiment de Centuri brut
 - le sédiment de Centuri traité sur Toulon (par ISPRA)
 - le sédiment de Toulon brut

- 6 dalles en mortier ou béton
 - Deux dalles en mortier avec les sédiments de Toulon brut et traité
 - Deux dalles en béton avec les sédiments de Toulon brut et traité
 - Deux dalles en mortier avec les sédiments de Centuri brut et traité

- 2 dalles en mortier ou béton témoin
 - Une dalle en mortier témoin avec le ciment et le sable français
 - Une dalle en béton témoin avec le ciment, le gravier et le sable français

Description de la mise en oeuvre des lysimètres pilotes

À Livourne, les pilotes remplis avec les sédiments consistent en des bacs en bois OSB de 2,5 m de long par 1,75 m de large et 0,83 cm de haut ; soit une surface de 4,375 m². À Toulon, les dimensions des lysimètres ont été adaptées pour maintenir la même surface soit 2,26 x 1,94 m. Le détail de la réalisation de ces bacs « casiers lysimétriques » est présenté dans le livrable T2.4.7.

Le système d'arrosage consiste en 48 buses de brumisation réparties en 3 réseaux de 16 buses permettant d'exposer l'entièreté de la surface des lysimètres expérimentaux. Les 3 réseaux sont gérés par un ensemble de minuteriers et d'électrovannes. Les 3 réseaux sont déclenchés, un par un, toutes les 6 minutes et 40 secondes, soit un arrosage complet toutes les 20 minutes.

Le premier jour les buses sont déclenchées manuellement afin d'imbiber la masse totale de sédiment, l'arrosage est arrêté dès que l'eau arrive à la sortie d'évacuation (fond du lysimètre).

Description de la mise en oeuvre des dalles pilotes

Les dalles mortier et béton pilotes sont réalisées selon les formulations mises au point en laboratoire (voir livrable T2.4.7). Le gâchage est réalisé dans une bétonnière standard. Le coulis est versé dans des contenants en PE de dimensions L x l x h = 555 x 355 x 235 mm soit une surface de 0,20 m². Les dalles réalisées font environ 11 cm de hauteur.

Les formulations mises en oeuvre sont résumées dans les tableaux suivants :

Composition en % de masse sèche des mortiers et béton issue des essais de formulation et réalisés pour les dalles pilotes

	Mortier avec les sédiments de Cagliari & Toulon & Centuri		Béton avec les sédiments de Livourne & Toulon	
	<i>brut</i>	<i>traité</i>	<i>brut</i>	<i>traité</i>
Sédiment	29,43%	42,04%	20,19%	40,38%
sable	54,65%	42,04%	20,19%	0,00%
gravier	0,00%	0,00%	44,09%	44,09%
ciment	15,76%	15,76%	15,32%	15,32%
réducteur	0,16%	0,16%	0,21%	0,21%
total	100%	100%	100%	100%

Les pourcentages d'eau utilisés dans les formulations sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Pourcentage d'eau réel	Mortier		Béton	
	brut	traité	brut	traité
Toulon	19,7%	15,3%	10,86%	11,69%
Centuri	11,1%	13,3%	-	-
Cagliari	21,44%	16,50%	-	-
Livourne	-	-	12,30%	13,69%
Témoin	18,4%		10,9%	

Suivis des pilotes

Exposition à l'eau des lysimètres : La procédure retenue consiste à arroser les sédiments avec un volume équivalent à la pluviométrie moyenne annuelle en France soit 800 mm/m² sur 6 mois. Cela correspond à 30,77 mm/m²/semaine. Les lysimètres ont une surface de 4,375 m² et nécessitent chacun un arrosage par semaine d'un volume d'eau de 61,5 litres ; soit 1600 litres pour les 6 mois d'essai. Les éluats ont été recueillis chaque semaine et le volume de solution récupéré ainsi que son pH et sa conductivité ont été notés.

Exposition à l'eau des dalles : La procédure retenue pour les dalles de matériaux consiste à les couvrir de 10 mm d'eau durant 24 h une fois par semaine. Ce qui correspond à apporter 2 litres d'eau par dalle et par semaine. Le volume récupéré est mesuré pour tenir compte de l'évaporation et de l'eau d'infiltration. Cette procédure a été maintenue tant que la diminution des concentrations obtenues des éléments majeurs n'était pas significative. Ensuite, le temps de contact avec l'eau est passé à 48h par quinzaine et toujours 10 mm d'eau pour donner le temps à la dalle de recharger son eau des pores et d'obtenir des concentrations mesurables pour les éléments traces. Dans ce cas l'équivalent de pluviométrie est de 150 l/m², par contre toute l'eau reste au contact du matériau. Ce scénario représente des épisodes pluvieux fréquents et une configuration permettant le maintien d'une lame d'eau durant 24 à 48 h. Le relargage obtenu est probablement équivalent à celui de quelques années dans la réalité en fonction de la façon dont est estimée la pluie efficace pour une dalle.

Suivi analytique : Les éluats des lysimètres et des dalles ont fait l'objet d'une analyse chimique des métaux et des anions à l'issue des semaines suivantes :

semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Analyse	1	2	3	4	mix 5-6		mix 7-8		mix 9-10		mix 11 à 14			

semaines	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Analyse	mix 15 à 18				mix 19 à 22				mix 23 à 26			

Les paramètres analysés sont : pH, Conductivité, Chlorures, Sulfates, Fluorures, Antimoine (Sb), Arsenic (As), Baryum (Ba), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Etain (Sn), Mercure (Hg), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn).

Les éluats des lysimètres et des dalles ont fait l'objet d'une analyse écotoxicologique sur 3 prélèvements à l'issue des semaines 2 (1 prélèvement) ; 9-10 (mix de 2 prélèvements) ; 23 à 26 (mix de 4 prélèvements).

Le bioessai sélectionné pour faire l'objet du suivi écotoxicologique des éluats de lysimètres et de dalles est l'essai d'inhibition de la reproduction du rotifère *Brachionus calyciflorus* 48h (ISO 20666), qui s'est montré le plus sensible lors des essais préliminaires de caractérisation de la propriété de danger écotoxique (HP14). Il s'agit d'un essai de toxicité chronique dont l'indicateur utilisé dans le cadre de la procédure française HP14 est la CE20 avec un seuil de déclenchement du caractère dangereux de 1%.

Méthodologie d'interprétation des données analytiques environnementales :

L'évaluation des émissions de substances dans l'eau à partir des sédiments placés **en lysimètre** a été effectuée par comparaison des concentrations totales d'une part et de la masse relarguée cumulée rapportée à l'unité de surface d'autre part, avec les valeurs limites définies, dans le cadre de la démarche française d'acceptabilité des matériaux alternatifs en technique routière (niveau 3 de caractérisation environnementale – voir livrable T1.2.4).

L'évaluation environnementale de **matériaux de construction** intégrant des sédiments en substitution partielle du sable (ex. dalles) ne fait l'objet d'aucune procédure réglementaire à l'heure actuelle, ni en France ni en Italie. L'évaluation des émissions de substances dans l'eau à partir des matériaux formulés à base de sédiments exposés sous forme de dalles a donc été effectuée par comparaison des concentrations d'une part et de la masse relarguée cumulée rapportée à l'unité de surface d'autre part, avec les valeurs d'émission observées à partir de matériaux réalisés selon les mêmes formulations sans sédiments et exposés dans les mêmes conditions (matériaux témoins).

Évaluation géotechnique et mécanique des matériaux :

Les sédiments utilisés pour les pilotes de valorisation en béton et mortier ont également été utilisés pour élaborer, dans les mêmes conditions de formulation, des éprouvettes destinées à l'analyse géotechnique (par RAS-Cité Métropolitaine de Cagliari).

Entres autres analyses (voir livrable T2.4.7), les Résistances à la Compression moyennes et les Masses Volumiques moyennes ont été mesurées dans l'optique de classer les écomatériaux élaborés afin de déterminer leur domaine possible de réemploi.

- PRINCIPAUX RÉSULTATS OBTENUS

Analyse géotechnique (partenaire RAS) :

➤ **Dalle Béton** : Les résultats montrent que l'utilisation des sédiments bruts, mélangés à un pourcentage égal de sable, a entraîné une réduction significative des valeurs de résistance à la compression, qui ont été presque divisées par deux par rapport à celles de l'échantillon d'essai. Les valeurs de résistance obtenues permettent en tout cas de faire entrer les mélanges de sédiments et de ciment dans le champ des matériaux utilisables. En particulier, les valeurs de résistance à la compression permettent de classer les bétons adaptés à un usage non structurel, c'est-à-dire aux produits pour lesquels une valeur de résistance à la compression élevée n'est pas requise.

Il est également à noter que même dans les spécimens faits à partir des sédiments traités, les valeurs de résistance sont sensiblement similaires à celles faites avec les sédiments bruts.

- **Dalle Mortier** : Même dans le cas des échantillons de mortier, la valeur de résistance des éprouvettes témoins est presque le double de celle des éprouvettes faites avec des sédiments.

En ce qui concerne la possibilité d'utiliser les sédiments dans la production de mortier, les valeurs de résistance obtenues permettent néanmoins de faire entrer les mélanges sédiments-ciment dans le champ des matériaux utilisables (avec de faibles exigences mécaniques).

Suivi environnemental des lysimètres :

L'écotoxicité des éluats de lysimètre n'apparaît que dans les premiers éluats des lysimètres des sédiments Toulon brut, Centuri brut et Centuri traité. Le classement des sédiments en fonction de l'écotoxicité des premiers éluats reflète les niveaux de relargage de chlorures et sulfates entre les trois sédiments. La toxicité des éluats disparaît dans les prélèvements suivants.

L'interprétation des analyses écotoxicologiques des éluats des lysimètres suivis à Livourne n'a pas été possible en raison d'une durée de stockage des éluats trop importante.

Les paramètres susceptibles de rendre les ouvrages étudiés non conformes aux conditions acceptables d'un point de vue environnemental pour une valorisation en technique routière sont :

- Les chlorures
- Les sulfates
- Le molybdène dans le seul cas du sédiment de Cagliari

Pour être conforme aux conditions d'acceptabilité définies en France pour leur valorisation en remblai technique, les sédiments marins étudiés nécessitent un lavage préalable efficace des chlorures et sulfates.

Suivi environnemental des dalles :

L'écotoxicité des éluats de dalles de matériaux n'apparaît que dans les éluats prélevés au point intermédiaire. En effet, ces éluats ne présentent pas de toxicité vis-à-vis de *Brachionus calyciflorus* au démarrage de l'exposition et un seul des matériaux (Mortier de Toulon Traité) présente une toxicité en fin de durée d'exposition.

Les niveaux de toxicité observés dans le prélèvement intermédiaire sont peu différents entre les matériaux à base de sédiments et les matériaux témoin. Il s'agit donc, pour une part au moins, d'un effet de la matrice cimentaire.

Les éluats des dalles pilotes présentent tous un pH basique compris entre 9 et 10,5 pour Toulon et Centuri et entre 8,5 et 10,5 pour Cagliari et Livourne. Ce niveau de pH correspond à celui observé pour les matériaux témoins. Il correspond à l'effet de la matrice qui contient un excès d'éléments alcalins solubles. L'évolution du pH des éluats ne présente pas de signe évident de carbonatation (diminution du pH) sur la période de suivi.

Les paramètres susceptibles de rendre les ouvrages non conformes aux conditions acceptables d'un point de vue environnemental pour une valorisation en matériaux de type béton ou mortier :

- Les chlorures
- L'arsenic et le molybdène dans le cas du sédiment de Toulon Traité, en particulier dans la formulation Mortier.

La texture (fine ou sableuse) et les conditions de préparation des sédiments (lagunage, traitement, exposition à l'eau de pluie) peuvent influencer sur la teneur en chlorures et éventuellement d'autres éléments facilement lixiviables, en particulier dans des conditions de pH basique (arsenic).

- **SYNTHÈSE GÉNÉRALE FORMULÉE ET PERSPECTIVES**

Les approches française et italienne de caractérisation et de classement des sédiments étudiés ont été menées sur les mêmes sédiments.

La démarche française, construite selon une approche de gestion de déchets, a conduit à identifier les sédiments de Toulon, Centuri et Cagliari comme des déchets non dangereux. Le sédiment de Livourne a quant à lui été jugé dangereux de par son caractère écotoxique (propriété HP14). En l'état, ce dernier n'est pas valorisable selon les conditions de gestion établies en France.

L'application de la procédure française d'Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière à chacun des quatre sédiments a montré qu'aucun des quatre sédiments n'est valorisable en l'état en remblai simplement recouvert du fait de dépassements des valeurs limites d'émission de chlorures et de sulfates. Seul le sédiment de Livourne serait conforme (s'il était non dangereux) aux conditions requises pour une valorisation en sous-couche de chaussée ou d'accotement revêtu.

Néanmoins, cette procédure laisse la possibilité de justifier l'acceptabilité des sédiments en technique routière sur la base d'une étude spécifique nécessitant la réalisation de lysimètres ou de planches d'essai. C'est pourquoi des lysimètres de remblai de sédiment ont été réalisés dont certains sur des sédiments traités.

La démarche italienne, construite selon une approche de gestion des impacts sur le milieu marin, a conduit à classer le sédiment de Cagliari comme pouvant faire l'objet d'un confinement en vasque ou en capping de zone portuaire, et le sédiment de Livourne comme pouvant faire l'objet d'opérations de rechargement de plages ou d'immersion en mer.

Une étude de formulation a été réalisée avec l'objectif d'incorporer dans une formulation de mortier de remblaiement de tranchées et dans une formule de béton courant, des sédiments marins dragués dont certains ont été traités par écrêtage sur des tamis de différentes mailles, en vue d'en évaluer l'acceptabilité environnementale.

L'évaluation environnementale de matériaux de construction intégrant des sédiments en substitution partielle du sable ne fait l'objet d'aucune procédure réglementaire à l'heure actuelle, ni en France ni en Italie. En France, en complément de la procédure d'Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière mentionnée ci-dessus et utilisée dans cette étude pour l'évaluation des résultats des essais lysimétriques, des travaux sont en cours avec le Ministère en charge de l'Environnement pour proposer un guide d'utilisation de matières alternatives (dont les sédiments pourraient logiquement faire partie) en construction. Toutefois les seuils recommandés ne sont pas encore diffusables.

Les essais de formulation ont permis de montrer que les chlorures semblent très concentrés dans les fines particules ($< 63 \mu\text{m}$) et l'élimination des fines permet de diminuer très nettement la teneur en chlorures. Elle permet également de diminuer la demande en eau et d'obtenir de meilleures performances mécaniques.

L'évaluation géotechnique et mécanique des matériaux formulés a montré que les bétons et mortiers formulés à base de sédiments présentent une résistance à la compression plus faible que celle de matériaux témoins mais que les bétons de sédiments sont adaptés à un usage non structural et que les mortiers formulés à base de sédiments sont également utilisables dans des applications ayant de faibles exigences mécaniques.

L'évaluation environnementale des matériaux en conditions pilote a consisté à réaliser des ouvrages pilotes permettant de simuler le comportement environnemental des sédiments utilisés en matériaux de remblaiement, d'une part et en matériaux de construction de type mortier ou béton d'autre part, après traitement ou non.

Le traitement des sédiments a été réalisé par lavage / hydrocyclonage sous la supervision d'ISPRA sur le site de Livourne d'une part (sédiments Livourne et Cagliari) et sur le site de Toulon d'autre part (sédiments de Toulon par ENVISAN et Centuri par ISPRA) pour en extraire les éléments fins ainsi que les résidus végétaux comme notamment des fibres de posidonies.

Les ouvrages pilotes ont consisté en des bacs lysimétriques construits et exposés à l'eau selon les recommandations de la procédure française d'évaluation de l'acceptabilité des matériaux alternatifs en technique routière, et des dalles de matériaux monolithiques (mortier et béton) exposés alternativement à une lame d'eau en surface et à l'air.

Le suivi environnemental a consisté à réaliser des analyses physico-chimiques et écotoxicologiques régulières sur les eaux ayant été au contact de ces matériaux.

Les résultats du suivi environnemental des ouvrages pilotes de remblai montrent que les paramètres susceptibles de rendre les ouvrages non conformes aux conditions acceptables d'un point de vue environnemental pour une valorisation en remblai sont les chlorures, les sulfates et, dans le cas du sédiment Cagliari, le molybdène. Pour être conformes aux conditions d'acceptabilité définies en France pour leur valorisation en remblai technique, ces sédiments nécessiteraient un lavage complémentaire des chlorures et des sulfates.

Les conditions spécifiques d'emploi de ces matériaux dans des ouvrages maritimes peuvent être envisagées pour les matériaux présentant un relargage en chlorures supérieur au niveau acceptable pour des ouvrages terrestres. Les caractéristiques environnementales acceptables pour des ouvrages maritimes restent à définir.

Les résultats du suivi environnemental des ouvrages pilotes de matériaux monolithiques (mortier et béton) montrent que les matériaux testés présentent dans l'ensemble un relargage peut différent de celui de matériaux témoins. Néanmoins les paramètres susceptibles de rendre les ouvrages non conformes aux conditions acceptables d'un point de vue environnemental pour une valorisation en matériaux de type béton ou mortier sont les chlorures et, dans le cas du sédiment de Toulon Traité, en particulier dans la formulation mortier, l'arsenic et le molybdène.

Il est à noter toutefois que les niveaux de relargage sont très inférieurs par unité de surface d'ouvrage à ceux obtenus pour les sédiments utilisés seuls en remblais. Pour une utilisation en génie civil il apparaît donc que la quantité de sédiments incorporée est cruciale (les matériaux qui relarguent le plus sont ceux contenant le plus de sédiments (de l'ordre de 40% pour les sédiments traités) ainsi que la surface d'échange puisque les matériaux monolithiques (mortier ou béton) permettent une limitation significative du relargage, compatibles avec les seuils pour les ouvrages routiers (à surface identique d'exposition).

Le choix des sédiments et leur traitement peuvent permettre d'améliorer la qualité environnementale des matériaux. En particulier la texture (fine ou sableuse) et les conditions de préparation des sédiments (lagunage, traitement, exposition à l'eau de pluie) peuvent influencer sur la teneur en chlorures et éventuellement d'autres éléments facilement lixiviables, en particulier lorsqu'ils sont placés dans des conditions de pH basique (arsenic) comme c'est le cas dans les matériaux cimentaires.

Enfin, les conditions spécifiques d'emploi de ces matériaux dans des ouvrages maritimes peuvent être envisagées pour les matériaux présentant un relargage en chlorures supérieur à celui de matériaux témoins. Les caractéristiques environnementales acceptables pour des ouvrages maritimes restent à définir.

Il résulte par conséquent de l'ensemble de ces travaux que l'utilisation de sédiments marins dans des ouvrages (remblais ou matériaux de construction) en milieu connecté avec des eaux marines ou saumâtres nécessite une procédure d'évaluation adaptée, ce type d'application n'étant pas prévu dans le cadre de la procédure française d'évaluation environnementale de l'utilisation de matériaux alternatifs en technique routière.

De plus, la présentation des démarches françaises et italienne d'évaluation environnementale des sédiments a permis de mettre en évidence leur complémentarité et d'envisager des perspectives de développement des procédures françaises et italiennes qui pourraient aboutir, pour les deux pays, à l'élaboration d'une procédure (voire l'emploi d'un outil logiciel) de classement des sédiments intégrant l'ensemble des critères physico-chimiques et écotoxicologiques et permettant de déterminer l'acceptabilité du sédiment dans ses différents scénarios de valorisation et de gestion tels que :

- La valorisation en technique routière continentale
- La valorisation en ouvrages côtiers ou maritimes
- La valorisation en matériaux monolithiques continentaux
- La valorisation en matériaux monolithiques côtiers ou maritimes
- Le rechargement de plages
- L'immersion en zone marine non côtière

La complémentarité des essais écotoxicologiques français et italiens dédiés aux organismes continentaux d'une part et marins d'autre part permet d'envisager ce type de procédure intégrée couvrant l'ensemble des scénarios de gestion, qu'ils soient connectés ou non au milieu marin.

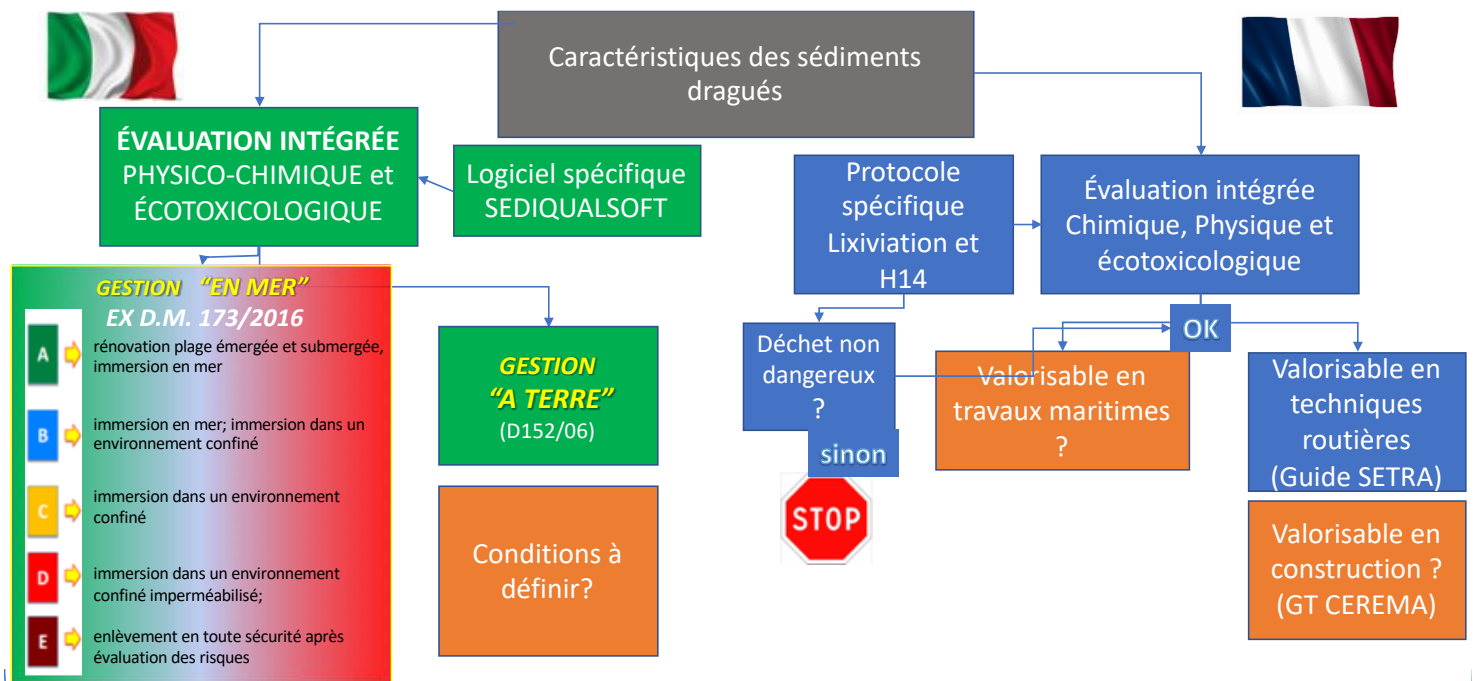
VIII. LIGNES DIRECTRICES FORMULÉES – ARBRE DÉCISIONNEL

Le projet SEDITERRA a permis d'analyser et de comparer deux modèles de gestion des sédiments de dragage : le modèle italien et le modèle français. Sur la base des nombreux échanges techniques et réglementaires menés entre les partenaires, il a été décidé de proposer des recommandations et des solutions techniques sous la forme d'un arbre décisionnel dans ce double contexte technico-réglementaire franco-italien. Ces recommandations ont été formulées afin d'aider les maîtres d'ouvrage portuaire et autres acteurs impliqués dans la filière à améliorer le traitement et la réutilisation à terre des sédiments de ports et de canaux dragués.

Les objectifs de l'arbre décisionnel sont les suivants :

- Rendre compte de manière synthétique des processus de décision existants dans les deux contextes français et italiens
- Prise en compte des réglementations, normes et guides existants
- Intégration des actions de SEDITERRA et des apports de ces actions sur le processus de décision
- Proposition d'harmonisation ou a minima de démarches communes entre les deux contextes
- Identification de pistes de poursuites de travaux entre les partenaires actuels de SEDITERRA ou avec de nouveaux partenaires

Le schéma ci-dessous présente de manière synthétique le contexte réglementaire des processus décisionnels de gestion des sédiments dans les deux contextes italiens et français :



Cadre Européen (Directive cadre déchets, sortie du statut de déchet, Directive construction, économie circulaire,...)

Remarques liées au schéma précédent :

- Se référer aux paragraphes précédents pour une description détaillée de la méthodologie et de l'encadrement réglementaire.
- En France un sédiment initialement classé déchet dangereux, pourra néanmoins être en partie valorisé, si suite à une opération de prétraitement ou de traitement, la fraction dangereuse a pu être isolée et retirée de la fraction non-dangereuse (d'après « Directive cadre sur les Déchets (2008/98/CE) »).
- A l'heure actuelle en France, seuls les sédiments classés inertes ou, a minima, respectant les seuils acceptables pour l'immersion sont valorisables en travaux maritimes.

Rappel des situations :

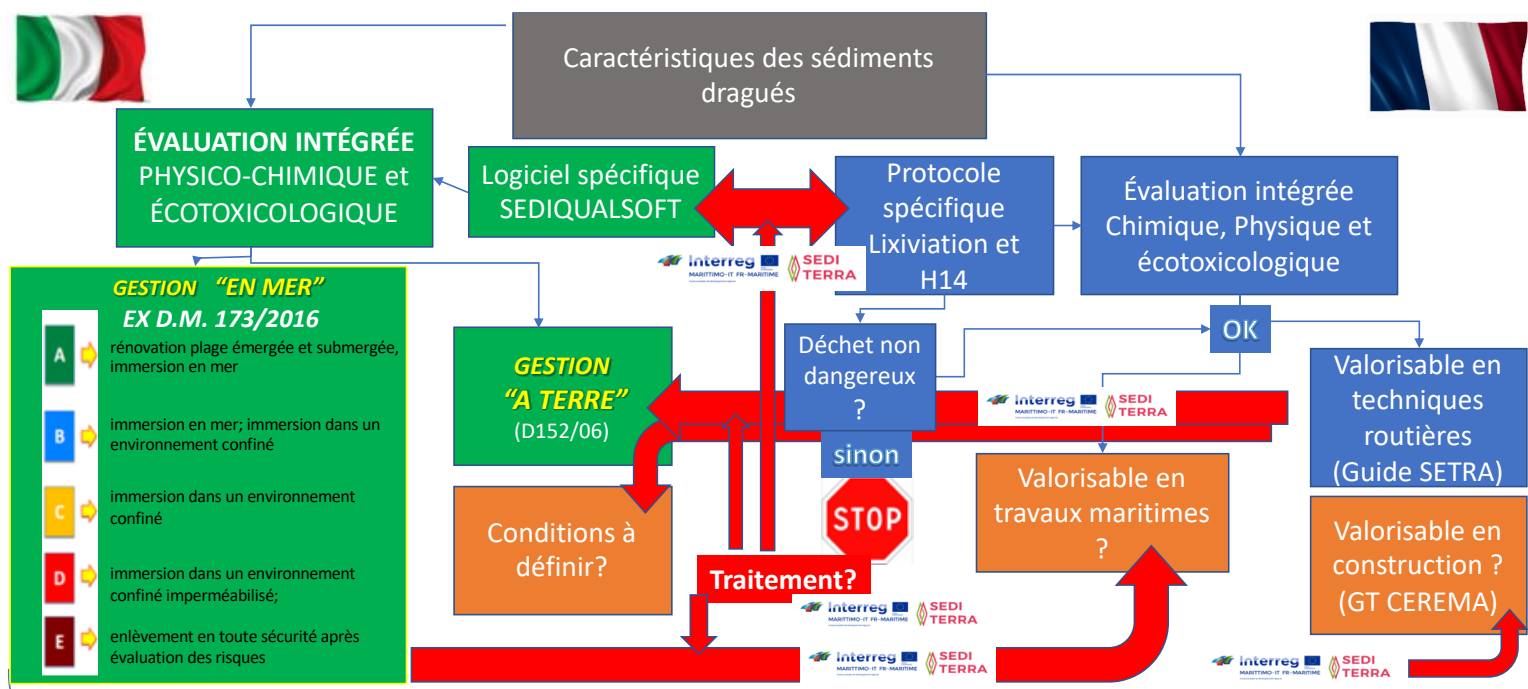
Du côté italien une évaluation intégrée physico-chimique et écotoxicologique est mise en oeuvre et un logiciel spécifiquement développé permet une intégration des différentes données pour aboutir à un classement du sédiment au regard de 5 possibilités (A, B, C, D, E) selon l'échelle décroissante de la qualité du sédiment (et croissante des risques environnementaux et des contraintes de gestion). Ces 5 possibilités concernent le milieu marin et sont couvertes par la réglementation DM173/2016. La gestion à terre de ces sédiments relève de la réglementation déchets, essentiellement via la mise en décharge. La valorisation en génie civil est très peu développée et manque d'encadrement et de perspectives.

Du côté français, la gestion à terre s'inscrit de fait dans le contexte de la gestion des déchets et se pose immédiatement la question du statut de déchet dangereux ou non dangereux sur la base des 15 propriétés de danger HP1 à HP15 inscrites à l'annexe III de la Directive 2008/98/CE. La plupart de ces propriétés sont non pertinentes pour des sédiments et l'essentiel de la décision repose sur la vérification de la propriété de danger « Écotoxique » HP14. Pour les sédiments classés non dangereux (qui représentent la très grande majorité) la possibilité de les valoriser en techniques routières est couverte par l'application d'un guide du Ministère en charge de l'Environnement édité par le CEREMA en 2011. Une version spécifique pour les sédiments est en cours de finalisation. Par ailleurs une nouvelle réflexion a été initiée en France pour permettre l'utilisation de matériaux alternatifs (issus de déchets) en construction. D'autre part, la définition d'un encadrement réglementaire permettant la valorisation des sédiments en ouvrages maritimes est également à l'étude.

8.1) PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION INTÉGRANT LES CONTRIBUTIONS POSSIBLES DES RÉSULTATS DE SEDITERRA AU SCHÉMA DÉCISIONNEL

➤ Schéma général

Le schéma ci-dessous synthétise l'ensemble des interactions possibles entre les situations existantes dans le double-contexte franco-italien et les résultats des actions de SEDITERRA :



Cadre Européen (Directive cadre déchets, sortie du statut de déchet, Directive construction, économie circulaire,...)

Ces principales interactions sont les suivantes :

1. Transfert de compétences des partenaires italiens vers les partenaires français en ce qui concerne les conditions de valorisation des sédiments en travaux maritimes
2. Transfert de compétences des partenaires français vers les partenaires italiens en ce qui concerne les conditions de valorisation des sédiments terre (génie civil et valorisation énergétique)
3. Harmonisation et développement conjoint d'une approche intégrée d'évaluation physico-chimique et écotoxicologique (travaux à approfondir)
4. Traitement et prétraitement des sédiments

Concernant les travaux maritimes, l'augmentation des connaissances sur les sédiments dragués et traités doit conduire au développement d'une alternative valable à l'utilisation des matières premières naturelles dans cette filière. La réutilisation des matériaux issus des opérations de dragage en travaux maritimes peut présenter l'avantage (*i.e.* par rapport à une valorisation terrestre) de réduire la consommation des ressources naturelles dans un contexte où la présence des sels dans les sédiments ne sera pas un problème.

En Italie, avec le décret du ministère de l'Environnement n°173/2016, le règlement est approuvé et dicte les méthodes et critères techniques pour 1) la caractérisation ; 2) la classification ; 3) l'identification des options de gestion possibles pour les sédiments marins et saumâtres à manipuler. Des exemples pratiques et bien établis concernant ce dernier point sont principalement :

- Alimentation des plages émergées et submergées
- Remplissage des quais et des infrastructures portuaires (par exemple fondations routières et tabliers portuaires)
- Remplissage des réservoirs de remplissage (qui deviendront principalement des aires de trafic et des espaces pour les activités portuaires).
- Travaux de défense côtière et anti-érosion

Comme indiqué précédemment, en France, la méthodologie d'acceptation des sédiments dragués pour des opérations de valorisation en travaux maritimes n'est pas encore définie. La réutilisation la plus appropriée doit être définie sur la base du type de sédiments dragués, sur le niveau de contamination acceptable et sur la base de différents facteurs territoriaux, économiques et environnementaux tels que : caractéristiques de l'environnement côtier voisin, type et taille des gisements de sédiments, traitement éventuel des sédiments pour réduire la contamination, coûts associés aux méthodes de traitement, transport des déblais de dragage et évacuation des matières résiduelles inappropriées, transit et stockage provisoire.

En France, la finalité recherchée dans le cadre de la gestion à terre des sédiments est en premier lieu la possibilité de les valoriser en tant que matériau de substitution dans des ouvrages de génie civil ou en techniques routières. Des guides d'application, voire des réglementations, ont été édités par le Ministère en charge de l'Environnement pour encadrer ces actions de valorisation.

Les résultats encourageants obtenus dans le cadre des pilotes de valorisation étudiés, aussi bien sur le site de l'INSA à Toulon que d'ISPRA à Livourne, laissent suggérer que des perspectives intéressantes de collaboration s'ouvrent entre les équipes et les collectivités françaises et italiennes autour de ces thématiques de valorisation des sédiments.

L'étude des démarches française et italienne d'évaluation environnementale des sédiments a permis de mettre en évidence leurs spécificités et leur complémentarité.

En ce qui concerne l'approche italienne, l'évaluation de la qualité des sédiments et la classification qui en découle sont basées sur l'intégration des résultats relatifs aux caractéristiques physiques, chimiques et écotoxicologiques des matériaux. Les résultats obtenus à partir des analyses chimiques et des réponses des tests écotoxicologiques peuvent être élaborés à travers un modèle d'évaluation de la qualité des sédiments (SediquaSoft®) qui pondère les résultats des différents tests de la batterie dans un indice de danger synthétique (HQ : Hazard Quotient) et qui fournit directement la classification des sédiments selon le DM 173/2016.

La France quant à elle, applique, pour les sédiments gérés à terre, la règle générale de définition du caractère dangereux ou non des déchets, issue de la transcription en droit français de la Directive européenne 2008/98/CE du 19 novembre 2008. Dans la pratique, la propriété H14 s'avère la plus pertinente et discriminante pour les sédiments. La faisabilité de la valorisation des sédiments non dangereux est ensuite évaluée selon les scénarios d'usage essentiellement en fonction de la disponibilité des polluants à la lixiviation.

La proposition de collaboration vise à l'évolution des procédures françaises et italiennes pour aboutir, pour les deux pays, à l'élaboration d'une procédure commune (voire l'emploi d'un même outil logiciel) de classement des sédiments intégrant l'ensemble des critères physico-chimiques et écotoxicologiques et permettant de déterminer l'acceptabilité du sédiment dans ses différents scénarios de valorisation et de gestion tels que :

- La valorisation en technique routière continentale
- La valorisation en ouvrages côtiers ou maritimes
- La valorisation en matériaux monolithiques continentaux
- La valorisation en matériaux monolithiques côtiers ou maritimes
- Le rechargement de plages
- L'immersion en zone marine non côtière
- L'immersion en vasque maritime

Au delà des essais de lixiviation, évoqués plus-haut, la complémentarité des essais écotoxicologiques français et italiens dédiés aux organismes continentaux d'une part, et marins d'autre part, permet d'envisager ce type de procédure intégrée couvrant l'ensemble des scénarios de gestion selon les milieux et les écosystèmes considérés, qu'ils soient connectés ou non au milieu marin.

Concernant les opérations de « traitements » au sens large des sédiments dragués, celles-ci peuvent relever de 4 catégories principales :

- a) Prétraitement : séparer le gisement en plusieurs fractions de telle manière qu'à minima une de ces fractions puisse répondre au cahier des charges d'une filière de valorisation ou d'une filière de post-traitement nécessaire avant valorisation.
- b) Traitement : extraction de polluants ou modification chimique de certains polluants obstacles en l'état à la valorisation
- c) Transformation ou conversion (en l'état ou après un prétraitement) de tout ou partie du gisement en une ressource valorisable
- d) Incorporation (en l'état ou après un prétraitement) de tout ou partie du gisement dans une ressource valorisable notamment dans des matériaux répondant à des cahiers des charges d'usage.

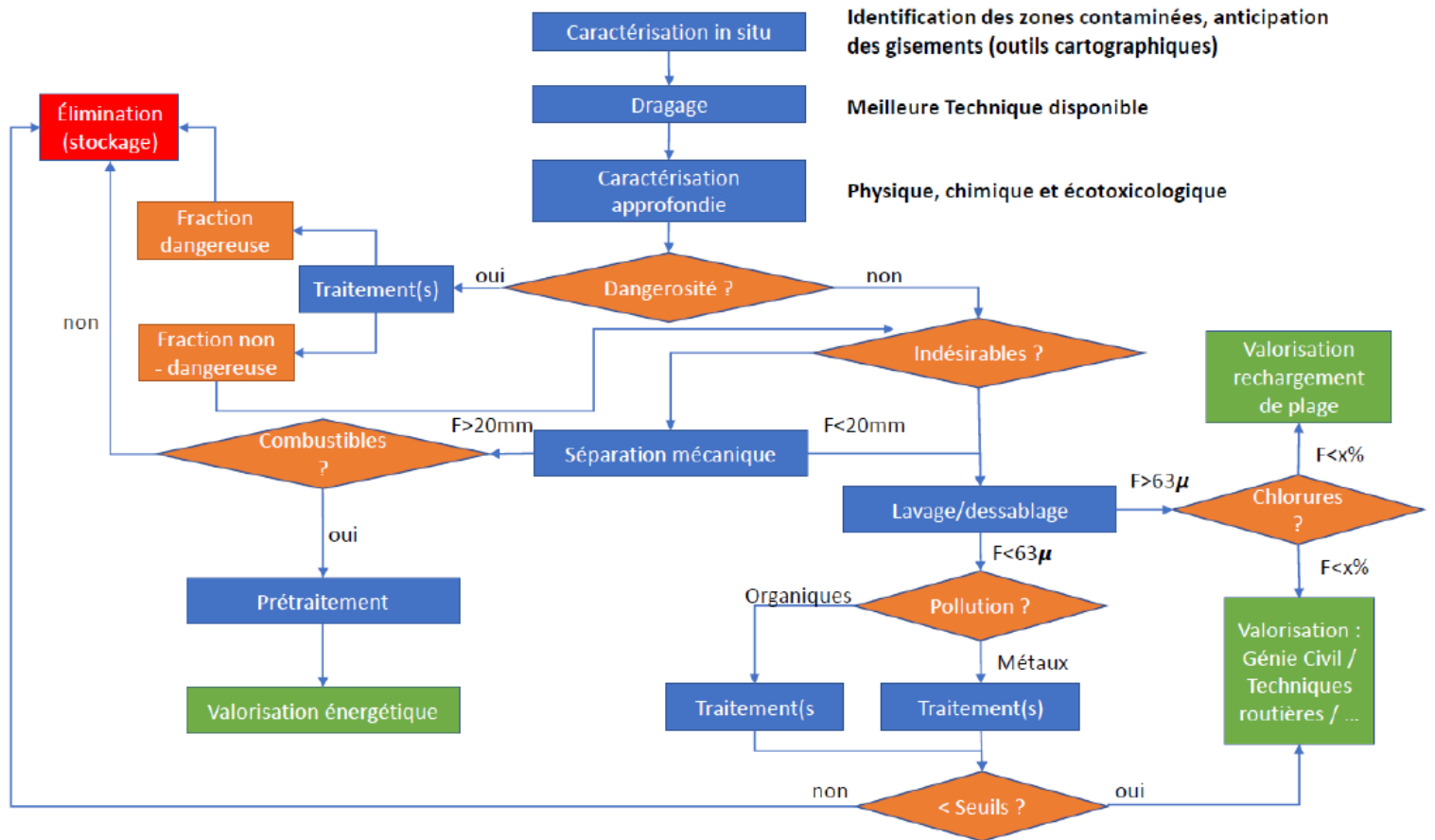
Chacune de ces catégories a été testée dans le cadre du projet Sediterra. Les protocoles et résultats obtenus sont présentés dans les livrables produits. Le choix et la finalité des prétraitement et traitement à mettre en oeuvre seuls ou plus généralement combinés entre eux va dépendre essentiellement :

- De la nature des sédiments (nature minéralogique, indésirables, granulométrie, ...)
- Du potentiel de valorisation (qui lui dépendra de la nature des sédiments et surtout du marché local en terme de débouchés, de filières de prise en charge et de réglementation).

8.2) SCHÉMA DÉCISIONNEL

La démarche globale à appliquer, élaborée conjointement entre les partenaires français et italiens, peut finalement être résumée telle que présentée dans le logigramme ci-dessous.

Beaucoup de synergies et d'améliorations du système peuvent être apportées par la mutualisation des connaissances des équipes de SEDITERRA, et cela au bénéfice des deux territoires.



Logigramme de la démarche globale à appliquer pour un projet de dragage

DELIVERABLE T3.2.3 : GUIDA DEL PROGETTO SEDITERRA :

« LINEE GUIDA PER IL TRATTAMENTO SOSTENIBILE DEI SEDIMENTI DRAGATI NELL'AREA MARITTIMO »

I. INTRODUZIONE

L'amplificazione dei fenomeni di insabbiamento legati ai cambiamenti climatici, lo sviluppo esponenziale delle attività costiere e la presenza di inquinamento antropico intrappolato nei sedimenti rendono necessaria l'organizzazione di un sistema di gestione che integri il controllo dei rischi associati. I costi per il trattamento e la gestione dei sedimenti non monouso indeboliscono o mettono a repentaglio l'attività economica e la competitività dei porti. Inoltre, i dati scientifici utili per scrivere un quadro normativo per la gestione a terra dei sedimenti sono parziali, insufficienti e spesso inaccessibili. Le risposte devono essere fornite, poiché i sedimenti presenti nei porti, nei fiumi e nei canali possono avere un impatto duraturo sugli ecosistemi e, in ultima analisi, sulla salute delle popolazioni. Da qui l'urgente necessità di attuare soluzioni operative controllate ed economicamente accettabili, congiuntamente, a livello dell'area marittima Italia-Francia.

In linea con gli obiettivi definiti nella strategia Europa 2020, il progetto SEDITERRA promuove la produzione di eco-materiali dalla gestione dei sedimenti. SEDITERRA propone la strutturazione operativa della gestione di un nuovo rifiuto pubblico : i rifiuti da sedimentazione. L'obiettivo è quello di mettere in comune i risultati delle esperienze franco-italiane attraverso l'implementazione e il monitoraggio delle operazioni pilota di trattamento e recupero effettuate utilizzando i sedimenti dei porti partner.

SEDITERRA mira ad ampliare un processo di capitalizzazione attraverso lo scambio di buone pratiche e l'appropriazione su scala transfrontaliera (Italia/Francia) che consenta l'emergere di una regolamentazione adeguata e comune per la gestione a terra dei sedimenti dragati non sommersi.

Il progetto SEDITERRA ha beneficiato del sostegno finanziario dell'Unione Europea, attraverso il Programma Interreg Italia-Francia Marittimo 2014-2020. Questo programma transfrontaliero è cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) sotto l'egida della Cooperazione territoriale europea (CTE). L'obiettivo principale del Programma Interreg Marittimo è quello di contribuire al rafforzamento della cooperazione transfrontaliera tra le regioni designate e di rendere l'area di cooperazione un'area competitiva, sostenibile e inclusiva all'interno del paesaggio europeo e mediterraneo.

II. AREA DI COOPERAZIONE E OBIETTIVI DEL PROGETTO SEDITERRA

L'area di cooperazione del programma Interreg Marittimo è rappresentata nell'immagine seguente :

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

CORSICA	Intera regione
LIGURIA	Intera regione
PACA	Alpi-Marittime Var
SARDEGNA	Intera regione
TOSCANA	Grosseto Lucca Livorno Massa Carrara Pisa



 6,5 MLN Abitanti	 199.649.898 € Finanziamento	 169.702.411 € FESR Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
--	---	---

Il territorio di Marittimo è quindi costituito dalle seguenti aree costiere transfrontaliere francesi e italiane :

In Francia : Dipartimenti del Var e delle Alpi Marittime, comunità Corsica

In Italia : Regioni Liguria e Toscana, Regione Autonoma della Sardegna

Il progetto SEDITERRA ha avuto un budget complessivo di circa 1,85 milioni di euro per (inizialmente) 36 mesi di attività, da marzo 2017 a marzo 2020. A seguito di eventi sanitari globali (pandemia di coronavirus), il progetto è stato prorogato fino alla fine di ottobre 2020.

Gli obiettivi principali del progetto SEDITERRA possono essere riassunti come segue :

- Estendere al territorio di Marittimo (Italia/Francia) le riflessioni sul :
- Gestione a terra dei sedimenti dragati non immergibili - in Francia
- Gestione marina dei sedimenti dragati - in Italia

- Test e implementazione di soluzioni di pretrattamento/trattamento su sedimenti dragati (Separazione granulometrica, Lavaggio ; Disidratazione da geotubi ; Mycoremediation ; Pirogassificazione di frazioni di fibre organiche)
- Promuovere la produzione di eco-materiali (materiali stradali, calcestruzzo/malta) derivanti dalla gestione dei sedimenti e quindi seguire gli obiettivi definiti nella strategia Europa 2020
- Ampliare il processo di capitalizzazione attraverso lo scambio di buone pratiche e la proprietà transfrontaliera (<https://sediterra.net/>)
- Creazione di un centro di ricerca e sviluppo (R&S) nella regione del Mediterraneo
- Proporre "Linee guida" per il trattamento sostenibile dei sedimenti dragati nell'area di Marittimo

III. PRESENTAZIONE DEL PARTNERSHIP

Il progetto SEDITERRA ha mobilitato un partenariato di 7 attori francesi e italiani :

- Dipartimento del Var (Partner istituzionale - Capofila del partenariato)
- INSA de Lyon (Laboratorio DEEP) (Partner scientifico - Coordinatore del progetto)
- Collectivité de Corse (Partner istituzionale)
- ISPRA Livorno (Partner scientifico)
- Provincia di Pisa (Partner istituzionale e scientifico)
- Regione Autonoma della Sardegna (partner istituzionale e scientifico)
- Università di Genova (Laboratorio DISTAV) (Partner scientifico)

Questa partnership è strutturata come segue :



✓ **Dipartimento del Var (Tolone) - Partner istituzionale - Capofila del partenariato**

Il Dipartimento del Var è un'autorità territoriale francese che interviene in molti settori di competenza al servizio dei cittadini. Dall'inizio del 2000, il Dipartimento si occupa della gestione dei sedimenti a terra, prima nell'ambito delle sue competenze in materia di gestione portuale e poi delle sue competenze riconosciute a livello nazionale nella gestione dei rifiuti. Il Dipartimento ha così realizzato due grandi progetti relativi ai sedimenti. Il progetto "Management of Dredged Marine SEDiments SEDIMARD 83" mirava ad identificare il deposito di sedimenti del porto del Var e a testare trattamenti multipli. Il progetto "Cap sedimenti" ha permesso una capitalizzazione popolare dei progetti di gestione dei sedimenti accessibili ai gestori di porti e fiumi.

Il Dipartimento ha proseguito la sua azione nel campo della gestione dei sedimenti nell'ambito delle sue competenze relative alle politiche dell'istruzione superiore e della ricerca su una questione realizzata in partenariato con la Regione Sud Provenza Alpi Costa Azzurra, la Metropoli Toulon Provence Méditerranée e l'Agenzia delle Acque, che ha portato all'inaugurazione della prima piattaforma mediterranea di trattamento dei sedimenti nel 2015.

In qualità di capofila del progetto SEDITERRA, ha così capitalizzato 15 anni di lavoro sul trattamento sostenibile e il controllo dei sedimenti dragati.

Personale tecnico coinvolto : Jean-Luc AQUA, Ilaria FRANZETTI-TIVOLLE, Laurent LOUBRIEU, Loïc VINCENT

Personale amministrativo coinvolto : Aude PALMARO, Linda ARTETA-PERRIN

✓ **INSA (Istituto Nazionale di Scienze Applicate) di LYON - Laboratorio DEEP (Rifiuti Acqua Environment Pollution) - Partner scientifico - Coordinatore del progetto**

Creato nel 1957 dal filosofo Gaston Berger e dal rettore Jean Capelle, l'INSA di Lione, ente pubblico, è il più antico e il più grande dei sei stabilimenti del Gruppo INSA. Oggi è la più importante scuola di ingegneria post-laurea in Francia. Una formazione ingegneristica di eccellenza in 5 anni post-bac in 9 specialità dall'Ingegneria Civile all'Ingegneria Energetica e Ambientale attraverso le Telecomunicazioni o le Bioscienze per un totale di 6.300 studenti (di cui 5.200 studenti-ingegneri) e 1.300 laureati ogni anno.

L'INSA di Lione è anche un importante centro di ricerca con 23 laboratori, più di 600 ricercatori e docenti-ricercatori, 650 dottorandi e più di mille contratti industriali con il mondo socio-economico, strutturato intorno a cinque grandi temi sociali : Energia per lo sviluppo sostenibile ; Ambiente : Ambiente naturale, industriale e urbano ; Società dell'informazione e digitale ; Salute globale e bioingegneria ; Trasporti : Strutture, infrastrutture e mobilità.

Le entità INSA de Lyon coinvolte in SEDITERRA sono il laboratorio DEEP e la piattaforma PROVADEMSE di INSAVALOR (filiale di valorizzazione di INSA de Lyon).

Il laboratorio DEEP e la piattaforma di innovazione tecnologica PROVADEMSE di INSA Lyon, gestita dalla sua filiale INSAVALOR, lavorano insieme da molti anni sul problema dei sedimenti. Il lavoro svolto riguarda i seguenti temi : 1) sedimenti continentali da acque piovane (trasferimento di inquinanti, sedimentazione, erosione, decantazione); 2) disinquinamento e recupero dei sedimenti marini e continentali contaminati.

L'INSA di Lione è stato il principale contributore pubblico al programma PCB AXELERA sullo sviluppo e la convalida su scala pilota di tecnologie per il trattamento dei sedimenti contaminati da PCB provenienti dal bacino del Rodano. Il laboratorio DEEP e PROVADEMSE hanno inoltre partecipato a più lavori di ricerca a monte sulla definizione di criteri per la valutazione dell'impatto ambientale dei sedimenti in scenari di recupero come ANR SEDIGEST o il programma SEDIMARD del Dipartimento VAR, entrambi hanno portato alla produzione di guide applicative, che vengono promosse attraverso il sito CAP-Sédiments.

Inoltre, esperti del laboratorio DEEP e di PROVADEMSE collaborano con la DG Ambiente per la verifica delle tecnologie ambientali (programma ETV) e con il Ministero dell'Ecologia per la preparazione di documenti tecnici riguardanti le guide per la valorizzazione dei materiali da costruzione.

L'INSA di Lione, attraverso la sua esperienza in materia di caratterizzazione fisico-chimica ed ecotossicologica, di trattamenti (ad es. test di pirogazeificazione delle fibre di posidonia, studio della reattività dei sedimenti marini a contatto con l'aria) e di valorizzazione dei sedimenti, sia marini che continentali, è riconosciuta come esperta francese in materia. Le sue competenze e le sue risorse scientifiche e umane sono state messe al servizio del progetto e del partenariato SEDITERRA.

L'INSA di Lione ha fornito il coordinamento tecnico e scientifico del progetto complessivo. Inoltre, INSA Lione si è occupata dell'analisi (con ISPRA Livorno) dei sedimenti dragati dai partner del progetto, dell'implementazione e del follow-up dei progetti pilota di recupero, dell'implementazione del trattamento delle fibre organiche mediante pirogassificazione, dello studio di laboratorio della reattività dei sedimenti dragati a contatto con l'aria. L'INSA di Lione si è anche occupata della creazione di un centro di Ricerca e Sviluppo (R&S) nel Mediterraneo (nel sito CPEM ENVISAN a La Seyne/Mer).

Personale tecnico coinvolto : Jacques MEHU, Erwan TESSIER, Vincent CHATAIN, Rémy BAYARD, Mathieu GAUTIER

Personale amministrativo coinvolto : Agnès BRUNELLA, Marjorie DUVOISIN, Corinne GRAN-IAFRATE, Nathalie GOUBET, Leslie GAILLARD

✓ **ISPRA LIVORNO - Partner scientifico**

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) è un ente pubblico di ricerca italiano, istituito con la legge n. 133/2008, e sottoposto alla vigilanza del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

L'ISPRA è un ente pubblico italiano che si occupa di protezione ed emergenze ambientali e svolge attività di ricerca e sperimentazione, attività conoscitiva, controllo, valutazione e monitoraggio in campo ambientale.

Con la legge n.132/16 nasce «Il Sistema Nazionale a rete per la protezione dell'ambiente» – SNPA di cui fanno parte tutte le Agenzie regionali di protezione ambientale (ARPA ed APPA) con il coordinamento di ISPRA e con la quale è stata creata una rete, di cui l'ISPRA ha il coordinamento, per lo svolgimento di funzioni ed assistenza tecniche e scientifiche, attività di consulenza strategica, di valutazione, di controllo, di ispezione nonché di informazione e divulgazione dell'informazione in materia ambientale, sia in maniera diretta che a supporto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

ISPRA coopera inoltre con l'Agenzia europea dell'ambiente e con le istituzioni ed organizzazioni nazionali ed internazionali operanti in materia di salvaguardia ambientale.

ISPRA promuove numerosi programmi di studio, nazionali ed internazionali, anche in collaborazione con altri enti pubblici e privati di elevata rilevanza tecnica e scientifica.

Essendo un osservatore privilegiato delle realtà marino costiere nazionali, può attingere ad esperienze provenienti da tutto il territorio marino-costiero italiano e pertanto, tra i vari settori della ricerca e della sperimentazione, ISPRA svolge studi, ricerche ed applicazioni tecnico/scientifiche nel campo dei dragaggi portuali, concernenti la caratterizzazione ambientale e la gestione dei sedimenti portuali, compresa l'individuazione dei siti per lo sversamento controllato in mare e fornisce un supporto legislativo formulando linee guida sia per le attività di caratterizzazione dei siti a mare che per il trattamento dei sedimenti contaminati. Le attività svolte in questo settore, in particolare riguardano:

- lo sviluppo di criteri integrati (chimico-fisici, biologici e soprattutto ecotossicologici) per la caratterizzazione, la gestione dei sedimenti e la valutazione della qualità degli ambienti marini
- la sperimentazione di tecnologie innovative per il trattamento di sedimenti marini finalizzati ad un loro riutilizzo ecocompatibile ed ecosostenibile (ripascimenti costieri, materiali per riempimenti, utilizzo per fondistradali)
- la definizione di manuali tecnici e lineeguida riguardanti le tematiche sopradescritte, per la divulgazione di buone pratiche ambientali e per i relativi recepimenti normativo-legislativi

ISPRA conta alcune sedi dislocate sul territorio nazionale italiano, tra cui la *Sezione Sperimentale Per La Valutazione del Rischio Ecologico in Aree Marino Costiere* situata a Livorno. Il personale ISPRA afferente alla sede di Livorno, in collaborazione con colleghi afferenti alla sede centrale di Roma, possiede capacità ed esperienza nella individuazione di criteri di valutazione della qualità ambientale di sedimenti e ambienti contaminati, nonché nei monitoraggi sulla movimentazione dei fondali marini, da cui sono scaturiti recenti disposti normativi (DD 8-06-2016, DM 173/2016, DM 172/2016). ISPRA presenta un know how utile nella definizione dei requisiti di qualità delle acque portuali soprattutto in presenza di attività peculiari (pesca, molluschicoltura) e di ambienti di particolare pregio ambientale e naturalistico (SIC, Aree marine protette). Il gruppo di lavoro distaccato a Livorno, svolge attività di ricerca e sperimentazione riguardo la distribuzione e gli effetti sul biota di inquinanti tradizionali ed emergenti e sviluppa procedure di indagine, metodologie innovative e criteri di valutazione per il monitoraggio e la gestione di acque e sedimenti marino-costieri, basati su approcci multidisciplinari. Fornisce inoltre supporto tecnico-scientifico al Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, alle Pubbliche Amministrazioni e alle Autorità Portuali sulle questioni riguardanti la movimentazione, immersione in mare di materiali di escavo di fondali marino-costieri, nel campo dell'ecotossicologia, e nell'implementazione della normativa vigente e delle Convenzioni internazionali di settore.

Le competenze di ISPRA nel progetto SEDITERRA si inseriscono particolarmente nelle tematiche relative alla caratterizzazione e alla valutazione della qualità ambientale delle matrici solide (sedimenti) e liquide (acque marine e di processo), nel trattamento sperimentale e nella gestione ecocompatibile dei sedimenti dragati e sottoposti a trattamenti di tipo fisico-chimico.

Personale tecnico coinvolto (ISPRA LIVORNO) : Enrichetta BARBIERI, Fabiano PILATO, David PELLEGRINI, Andrea LA CAMERA, Davide SARTORI, Andrea BIANCO, Alice SCUDERI, Valentina VITIELLO, Lorenzo MORRONI, Stefano FERRARI

Personale tecnico coinvolto (ISPRA ROMA) : Sara DASTOLI, Elena MUMELTER, Valentina TRAMA, Roberta GIRARDI, Gianluca CHIARETTI

✓ **DISTAV GENOVA - Partner scientifico**

Il Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV) dell'Università degli Studi di Genova riunisce in un'unica struttura contesti disciplinari molto diversi (geologia, geochimica, botanica, zoologia, ecologia ed oceanografia) e li unisce con interessi scientifici e professionali comuni. Questo permette lo studio delle componenti ambientali sotto diversi punti di vista e con diversi approcci, e rappresenta la base per una ricerca applicata che possa portare un contributo tangibile ed efficace sul territorio influenzando le politiche territoriali e gestionali per una corretta pianificazione.

Le competenze del DISTAV all'interno del progetto hanno riguardato principalmente l'analisi della normativa applicata alla gestione dei sedimenti portuali dragati, il censimento dei sedimenti da dragare nei porti liguri, la caratterizzazione dei sedimenti portuali e il loro trattamento con l'applicazione della mycoremediation. Nel progetto sono stati coinvolti il Laboratorio di Oceanografia Fisica, che da anni svolge attività tecnico/scientifiche nel campo dei monitoraggi portuali, e il Laboratorio di Micologia che si occupa di micro- e macro-funghi con particolare riferimento ad aspetti applicativi inerenti alla bioremediation. Per la parte legislativa e per le analisi chimiche sui sedimenti dragati, il DISTAV si è avvalso della preziosa collaborazione dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL).

Personale tecnico coinvolto (DISTAV) : Marco Capello, Laura Cutroneo, Greta Vagge, Mirca Zotti, Grazia Cecchi, Simone Di Piazza, Ilaria Spotorno, Elena Morando, Stefano Lester

Personale tecnico coinvolto (ARPAL) : Rosa Maria Bertolotto, Maria Grazia Pizzoni

✓ **Regione Autonoma della Sardegna (RAS) – Partner istituzionale e scientifico**

L'Assessorato dei trasporti della Regione Autonoma della Sardegna è competente delle infrastrutture e dei servizi del trasporto pubblico a livello regionale, dei collegamenti marittimi con le isole minori e di quelli aerei con la penisola.

Il Servizio per le Infrastrutture, la pianificazione strategica e gli investimenti nei trasporti svolge attività di Programmazione, coordinamento, attuazione e vigilanza degli interventi infrastrutturali di natura trasportistica. Studi di fattibilità, progettazione interventi infrastrutturali e partecipazione ai Comitati Tecnici Regionali.

Monitoraggio, rendicontazione ed erogazione risorse di natura comunitaria, nazionale e regionale su interventi infrastrutturali. Attività amministrativa sui controlli di I livello su operazioni a regia regionale inerenti risorse comunitarie e nazionali di propria competenza. Attività tecnico-amministrativa connessa all'attuazione degli interventi comunitari, nazionali e regionali in materia di infrastrutture di trasporto. Attività amministrativo-contabile connessa alla attuazione, di piani di investimento relativi ad opere infrastrutturali. Redazione e aggiornamento, in raccordo con gli altri Servizi, del Piano Regionale dei Trasporti (PRT). Aggiornamento dei vari piani di settore di rilievo comunitario, nazionale, regionale e locale sulla mobilità, in raccordo con gli altri Servizi.

La Dott.ssa Gabriella Massidda è il Direttore generale dell'Assessorato dei Trasporti e la Dott.ssa Delfina Spiga è il Direttore del Servizio per le Infrastrutture, la pianificazione strategica e gli investimenti nei trasporti.

Il personale coinvolto nel progetto SEDITERRA è il seguente :

Personale amministrativo coinvolto (RAS) : Enrica CARRUCCIU, Alessandra ZOPPEDDU

Personale amministrativo coinvolto (ADSP Mare di Sardegna) : Sergio MURGIA, Alessandra MANNAI

Personale tecnico coinvolto (Città metropolitana di Cagliari) : Giuseppina CARTA, Salvatore PISTIS, Marco DIANA

✓ **Provincia di Pisa - Partner istituzionale e scientifico**

Il Settore “Ambiente, Pianificazione Strategica, Partecipazioni” della Provincia di Pisa accorpa i preesistenti Servizi Sviluppo Economico, Politiche Comunitarie, Pianificazione territoriale e SIT e si occupa della interazione con il territorio per quanto riguarda :

- Pianificazione territoriale di coordinamento.
- Sistema Informativo Territoriale (SIT).
- Tutela e valorizzazione dell’ambiente, per quanto di competenza.
- Sistema pubblico allargato e partecipazioni societarie

All’interno del Settore, l’Ufficio Politiche Comunitarie favorisce la partecipazione degli attori istituzionali, sociali ed economici del territorio provinciale ai Programmi comunitari di sostegno ai territori, fornendo informazioni sulle varie opportunità di finanziamento offerte dall’Unione Europea, svolgendo direttamente attività amministrativa o tecnico amministrativa relativa alla gestione dei progetti finanziati, coordinando le attività dei Comuni e di altri soggetti del territorio quando partecipano in qualità di partners nella realizzazione di azioni progettuali.

Il Dirigente del Settore Ambiente, Pianificazione Strategica, Partecipazioni è il Dottor Giuseppe Pozzana, che è il Responsabile per l’Ente della realizzazione del Progetto “SEDITERRA”.

Le attività amministrative e di rendicontazione del progetto SEDITERRA sono state gestite dal Dott. Luca Anghelè. Le attività tecniche del progetto sono state realizzate, in collaborazione con la Provincia di Pisa, dai due partner in convenzione :

- Società Navicelli di Pisa Srl : Navicelli di Pisa Srl è una società interamente a capitale pubblico, costituita al fine di gestire il Canale dei Navicelli e le aree demaniali limitrofe. Provvede al mantenimento dell’efficienza e dell’utilizzo del canale, in particolare per quanto riguarda gli interventi di dragaggio e l’apertura dei ponti per il passaggio delle imbarcazioni.

- Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Pisa (DST) : Il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa (DST) promuove e coordina l'attività di ricerca nelle aree delle Scienze Geologiche. Le attività di ricerca svolte nel DST coprono le seguenti discipline : paleontologia, geologia stratigrafica, geologia strutturale, geomorfologia, geologia applicata, mineralogia, petrografia, geochimica, vulcanologia, petrografia applicata e geofisica. I ricercatori del DST svolgono le loro ricerche di base all'interno di collaborazioni internazionali mediante l'acquisizione di finanziamenti pubblici quali fondi ministeriali italiani, fondi regionali, fondi provenienti dai finanziamenti europei alla ricerca o fondi derivanti da altre agenzie pubbliche internazionali. I ricercatori del DST dedicano particolare attenzione al trasferimento tecnologico attivando convenzioni con enti pubblici e/o imprese nazionali ed estere.

Personale amministrativo coinvolto (Provincia di Pisa) : Luca ANGHELE, Giuseppe POZZANA

Personale tecnico coinvolto (Navicelli di Pisa Srl) : Nicola D'ANDRETTA, Salvatore PISANO, Gaetano PETRIZZO

Personale tecnico coinvolto (Università di Pisa) : Giovanni SARTI, Irene SAMMARTINO

✓ **Collettività di Corsica - Partner istituzionale**

La Collettività della Corsica è nata il 1° gennaio 2018 dalla fusione della Collectivité Territoriale de Corse (livello regionale) e dei due Consigli dipartimentali della Corsica-du-Sud (2A) e dell'Alta Corsica (2B).

Ha poteri speciali, previsti dal Codice Generale degli Enti Locali e Regionali, in materia di :

- istruzione (piano di formazione; costruzione e manutenzione di scuole secondarie, scuole superiori, istituti pubblici di istruzione professionale, artistica e speciale, scuole superiori professionali marittime, istituti di istruzione agricola, centri di informazione e di orientamento e alcuni istituti di istruzione superiore)
- cultura e comunicazione (politica culturale, sviluppo della lingua e della cultura corsa, ecc)
- sport ed educazione popolare (promozione di attività fisiche e sportive, educazione popolare e informazione dei giovani)
- piano di gestione e di sviluppo sostenibile
- trasporto (esercizio del trasporto ferroviario, continuità territoriale con il continente, strade nazionali)
- gestione delle infrastrutture di trasporto (porti marittimi commerciali e di pesca, aeroporti, ferrovie)

Oltre alla partecipazione alla cooperazione europea basata su programmi europei (MED, ENPI, Interreg, IF-Maritime, ecc.), il Consiglio regionale della Corsica può condurre o partecipare ad azioni di partenariato con enti locali stranieri per mettere in evidenza le specificità, l'esperienza e il know-how dei diversi attori (istituzioni, imprese, associazioni) presenti sul suo territorio nei più svariati settori : economico, culturale, educativo, sportivo, umanitario, ecc.

Personale amministrativo coinvolto : Denis TOMA, Jean-Luc CAVATORTA, Dominique MOURIES, Pierre DOLFI

IV. SINTESI NORMATIVA DELLA GESTIONE DEI SEDIMENTI DI DRAGAGGIO MARINI E DEGLI ESTUARI E PROCEDURE DI TRASPORTO

4.1) QUADRO NORMATIVO FRANCESE

Le operazioni di dragaggio sono soggette a procedure di autorizzazione o di dichiarazione ai sensi della legge sulle acque, a seconda dei pericoli che presentano e della gravità dei loro effetti sulle risorse idriche e sugli ecosistemi acquatici (articoli da L.214-1 a L.214.6 del Codice dell'ambiente).

Per i sedimenti marini e gli estuari, le condizioni in cui il dragaggio è soggetto ad Autorizzazione (A) o Dichiarazione (D) sono specificate nell'Articolo R.214-1, sezione 4.1.3.0 del Codice Ambientale : "Dragaggio e/o relativo scarico nell'ambiente marino" e si basano sulla composizione chimica degli scarichi e dei sedimenti ; le quantità da prelevare ; l'ubicazione dei sedimenti da dragare e il lungomare interessato. (Cf. ALLEGATO 1)

La richiesta di autorizzazione (redatta secondo l'articolo R. 214-6 del codice ambientale) o la dichiarazione (redatta secondo l'articolo R. 214-32 del codice ambientale) del dragaggio, che presenta in modo complessivo l'intero progetto di dragaggio (composizione chimica dei sedimenti da dragare, quantità da prelevare, ubicazione dei sedimenti da dragare e del lungomare interessato, scopo del dragaggio, scelta delle tecniche utilizzate, sbocchi disponibili, valutazione dell'impatto del progetto sull'ambiente, valutazione dell'impatto Natura 2000, indagine pubblica) viene presentata per la consulenza e la convalida ad un unico reparto istruttore dal titolare del progetto. Sulla base della proposta che gli è stata presentata, nella quale sono esaminate tutte le possibilità, l'autorità istruttoria prende la sua decisione e decide se convalidare o meno la pratica di dragaggio.

Il Prefetto regionale e i suoi servizi tecnici, compresa la polizia idrica, sono incaricati di esaminare i dossier di candidatura (ospitato all'interno del DDTM (Direzione dipartimentale per il territorio e il mare) o del DREAL (Direzione regionale per l'ambiente, la pianificazione e l'edilizia abitativa).

Il titolare del contratto è la persona fisica o giuridica responsabile dell'operazione di dragaggio, che è responsabile della corretta osservanza delle procedure regolamentari relative alla sua realizzazione. In Francia, il titolare del contratto da dragare possono essere le autorità portuali, le autorità locali o regionali, la marina francese o operatori privati.

Le caratteristiche ambientali dei materiali da dragare, in particolare la loro composizione chimica, determinano quindi il loro destino e contribuiscono a definire il quadro normativo dell'operazione. Pertanto, se i livelli di contaminazione rimangono al di sotto dei livelli N1 e N2 (soglie GEODE definite nell'ordinanza interministeriale del 14 giugno 2000, rivista dalle ordinanze del 9 agosto 2006, 23 dicembre 2009, 8 febbraio 2013 e 17 luglio 2014), i sedimenti possono essere diretti verso la gestione marina (scarico o scarico in mare o nelle zone di estuario). In caso contrario, e a meno che le autorità competenti non concedano una deroga (che può essere basata su un'indagine supplementare a seconda del progetto in questione e del grado di superamento del livello N1), non appena viene superato un unico livello N2, il sedimento dragato deve essere inviato per la gestione a terra (stoccaggio o recupero) dove il sedimento assume di fatto lo status di rifiuto (direttiva quadro sui rifiuti del 19 novembre 2008: direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio). (Vedi ALLEGATO 2)

Secondo l'elenco europeo dei rifiuti, definito nell'allegato II dell'articolo L. 541-8 del Codice dell'ambiente, i sedimenti (o fanghi) di dragaggio rientrano nelle seguenti voci :

- **17 05 05*** : fanghi di dragaggio contenenti sostanze pericolose
- **17 05 06** : fanghi di dragaggio diversi da quelli di cui alla voce 17 05 05

Per determinare lo stato pericoloso o non pericoloso di ogni deposito di sedimenti gestito sul terreno, è necessario controllare le 15 proprietà di pericolo elencate nell'Allegato I dell'articolo L. 541-8 del Codice Ambientale (da HP1 a HP15). Si noti che i sedimenti non sono influenzati dalle proprietà HP1, HP2 e HP3. Le proprietà HP4, HP5, HP6, HP7, HP8, HP10, HP11 e HP13 possono essere valutate attraverso il confronto diretto dei contenuti presenti nel sedimento con i valori di soglia (definiti dal gruppo di lavoro "Pericolosità" guidato da INERIS e CEREMA - Vedi ALLEGATO 3). Le proprietà HP9 e HP15 non hanno attualmente alcun metodo di valutazione. La classificazione dei sedimenti dei rifiuti in base a queste proprietà di pericolo si basa sulla conoscenza dei rifiuti e sulla loro origine. La determinazione del carattere ecotossico HP14 (secondo il protocollo del 01/10/2009 stabilito dal gruppo di lavoro "pericolosità dei sedimenti" del MEEDDM per la misurazione dell'ecotossicità dei sedimenti marini e continentali destinati alla gestione a terra - Vedi ALLEGATO 4) deve essere effettuata per regolamento solo quando un singolo parametro supera i livelli di riferimento S1 associati ai sedimenti definiti nell'ordinanza del 9 agosto 2006.

Se il sedimento di rifiuto non soddisfa nessuna delle proprietà di pericolo, allora è classificato come "non pericoloso" (articolo R. 541-8 del Codice dell'ambiente). Al contrario, una risposta positiva ad una (o più) delle proprietà di pericolo classifica automaticamente i sedimenti come rifiuti pericolosi.

Un sedimento sarà considerato inerte se rispetta i livelli di contenuto totale e di lisciviabilità definiti nell'ordinanza del 28 ottobre 2010 relativa agli impianti di stoccaggio dei rifiuti inerti (abrogata e sostituita dall'ordinanza del 12 dicembre 2014). Se il sedimento non è conforme ai valori definiti, sarà classificato come rifiuto non inerte. (Cf. ALLEGATO 5)

La classificazione dei rifiuti di sedimenti (cioè pericolosi/non pericolosi/inerti) permette di definire le opzioni di gestione legalmente disponibili. Infatti, quando i sedimenti dei rifiuti non possono essere recuperati, devono essere stoccati (smaltiti) in un impianto di stoccaggio dei rifiuti (ISD).

In Francia esistono 3 tipi principali di impianti di stoccaggio dei rifiuti :

- 1) ISDI : Deposito di rifiuti inerti (discarica di classe 3)
- 2) ISDND : Deposito di rifiuti non pericolosi (discarica di classe 2)
- 3) ISDD : Deposito di rifiuti pericolosi (discarica di classe 1)

Ognuno di questi impianti ha i propri criteri di ammissione basati su una valutazione del contenuto totale e lisciviabile dei rifiuti (ad es. Decreto del 12/12/2014 per lo stoccaggio di rifiuti inerti). (Cf. ALLEGATO 5)

Le possibilità di gestione a terra dei sedimenti dragati (cioè smaltimento vs. valorizzazione) dipendono dalle caratteristiche fisico-chimiche, ambientali e geotecniche del sedimento considerato. Sono disponibili diverse operazioni di pretrattamento e trattamento (ad es. disidratazione, vagliatura/vagliatura, biorisanamento, idrociclonazione, centrifugazione, aggiunta di flocculanti o altri additivi chimici, trattamenti termici, etc.) per migliorare le caratteristiche dei sedimenti dei rifiuti e quindi limitare i costi economici legati alla loro gestione.

Gli obiettivi di queste operazioni sono la riduzione del carico inquinante per autorizzare il recupero o per ottenere classi di stoccaggio ; oppure l'isolamento di alcune frazioni specifiche dei rifiuti per limitare il volume da stoccare e aumentare la parte recuperabile. Ciò implica che un sedimento inizialmente classificato come rifiuto pericoloso può comunque essere parzialmente recuperato se, a seguito di un'operazione di pretrattamento o di trattamento, la frazione pericolosa è stata isolata e rimossa dalla frazione non pericolosa.

In effetti, la normativa francese consente operazioni di valorizzazione solo per i sedimenti classificati come rifiuti non pericolosi. La direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE) stabilisce che "il recupero dei rifiuti è l'opzione di gestione prioritaria, considerando lo smaltimento solo in assenza di una soluzione alternativa".

I principali filiere per il recupero dei sedimenti dragati sono i seguenti : Nutrimiento delle spiagge ; Ingegneria stradale ; Ingegneria civile - Materiali da costruzione ; Lavori pubblici marittimi ; Paesaggio ; Riabilitazione di cave ; Spandimento agricolo ; Copertura di impianti di stoccaggio dei rifiuti ; ecc. (vedi capitolo successivo).

Per ogni operazione di recupero dei sedimenti, si raccomanda :

- Effettuare una valutazione ambientale dell'impianto di recupero (secondo la norma NF EN 12920+A1 - Caratterizzazione dei rifiuti - Metodologia per determinare il comportamento di lisciviazione di un rifiuto in condizioni specifiche)
- Rispettare le guide e gli standard esistenti specifici per ogni settore (vedi T1.2.4)
- Per garantire la tracciabilità dei sedimenti recuperati

N.B. : Nell'Appendice 6 è presentato un diagramma sinottico delle procedure normative applicabili al progetto di dragaggio e della scelta delle opzioni di gestione (basato sulla "Guida per la preparazione degli studi di impatto per le operazioni di dragaggio e di smaltimento in estuario e in ambiente marino - GEODE 2014").

4.2) QUADRO NORMATIVO ITALIANO

In Italia, la regolamentazione delle operazioni di dragaggio è definita in base all'area in cui si trovano i sedimenti da dragare : o in aree SIN (per i Siti di Interesse Nazionale) ; o in aree non situate in un SIN. Le aree SIN sono aree portuali o aree marine costiere che necessitano di "bonifica", sia perché sono eccessivamente contaminate e devono essere bonificate, sia perché sono di particolare interesse ecologico e devono essere preservate. Le aree non SIN sono aree portuali o aree marine costiere non situate in aree SIN.

Le operazioni di dragaggio effettuate nell'ambito dell' SIN sono disciplinate dall'art. 5-bis della legge L. 84/1994 (e successive modifiche e integrazioni) e dal D.M. 172/2016 ("Regolamento che disciplina le modalità tecniche e le norme per le operazioni di dragaggio nei Siti di Interesse Nazionale"), sulla base dei risultati delle analisi fisico-chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche, secondo quanto previsto dal DM del 7/11/2008 e successive modifiche e integrazioni.

Le operazioni di dragaggio effettuate al di fuori dell'SIN sono disciplinate dal D.M. 173/2016 ("Regolamento che stabilisce le modalità tecniche e i criteri per l'autorizzazione allo smaltimento in mare di materiali escavati dal fondo marino") e dal D.M. 24/01/1996, sulla base dei risultati delle analisi fisico-chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche, così come definite in questi stessi decreti.

La gestione italiana dei sedimenti dragati è quasi esclusivamente orientata alla gestione marina. La gestione a terra riguarda solo i sedimenti dragati che sono vietati per la gestione marina (ad es. sedimenti pericolosi) e il cui sbocco è una discarica di rifiuti; oppure quelli dragati in aree "SIN", rispettando condizioni rigorose (cfr. prossimo punto 3), che possono essere utilizzati a terra, così come sono, o a seguito di trattamenti di desalinizzazione o di smaltimento di sostanze inquinanti.

Come detto in precedenza, le metodologie e i criteri per lo svolgimento delle attività di caratterizzazione dei sedimenti da dragare nell'area SIN sono definiti nel DM 7/11/2008 (modificato dal DM 04/08/2010). Il piano di campionamento previsto per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare deve permettere di formulare un'ipotesi affidabile sulla distribuzione spaziale della contaminazione. Se possibile, l'analisi geostatistica dovrebbe essere utilizzata come strumento preferito. In assenza di sviluppi geostatistici, si dovrebbe utilizzare un criterio precauzionale per calcolare e caratterizzare i volumi da gestire.

Per quanto riguarda la gestione dei sedimenti dragati nelle aree SIN, vengono individuate le seguenti possibilità, sulla base di specifici requisiti di qualità definiti in base alle loro caratteristiche chimiche, fisiche, microbiologiche ed ecotossicologiche :

- 1) Deposizione o riflusso nei corpi idrici da cui provengono o che utilizzano per il ripascimento e la formazione del suolo costiero, o per migliorare le condizioni del fondo marino attraverso attività di "tappatura": Queste opzioni di gestione marina riguardano i sedimenti degli SIN che presentano, direttamente o a seguito di trattamenti il cui unico scopo è quello di eliminare gli inquinanti (escludendo quindi i processi volti a immobilizzare gli inquinanti per solidificazione o stabilizzazione), caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche simili a quelle del sito di destinazione ; e che non presentano risultati positivi nei test ecotossicologici.
- 2) Scarico in vasche di raccolta a tenuta stagna, bacini di raccolta o immobilizzazione in bacini di contenimento effettuati con le migliori tecniche disponibili (secondo i criteri di progettazione formulati da norme tecniche internazionali accreditate e adottate negli Stati membri dell'Unione Europea). I sedimenti interessati da questi metodi di gestione devono avere caratteristiche tali da garantire l'assenza di rischi per la salute e per l'ambiente, in relazione all'obbligo di non deteriorare la qualità delle matrici ecologiche, del suolo, del sottosuolo, delle acque sotterranee, delle acque superficiali, marine e di transizione. Tale riutilizzo è consentito se il sedimento è considerato non pericoloso all'origine o a seguito di un trattamento esclusivamente per la rimozione degli inquinanti (esclusi quindi i processi volti a immobilizzare gli inquinanti mediante solidificazione o stabilizzazione).

3) Uso terrestre dei sedimenti a condizione che, così come sono, o dopo il trattamento di desalinizzazione o la rimozione degli inquinanti (esclusi quindi i processi destinati a immobilizzare gli inquinanti mediante solidificazione o stabilizzazione), non presentino, a seconda dell'uso previsto, livelli di contaminazione superiori a quelli indicati nelle colonne A e B - Tabella 1 - Allegato 5 - Parte IV di D. D. Lgs. 152/2006, e che rimangano conformi ai valori limite per il contenuto di lisciviabilità ("prove di rilascio" effettuate secondo la norma EN 12457-2) definiti nell'allegato 3 del D.M. del 05/02/1998 per la gestione del territorio, rivisto dall'articolo 252 del D. Lgs. 152/2006 (a sua volta integrato dal D.M. 172/2016 che tratta della gestione ambientale delle fasi di smaltimento dei terreni sul territorio). (Cf. ALLEGATO 7 e 7bis)

Inoltre, nel caso di utilizzo di sedimenti in aree con strati naturalmente salini, è possibile ottenere una deroga al superamento dei livelli di lisciviabilità definiti nell'Allegato 3 del DM del 05/02/1998 (vedi ALLEGATO 7bis) per solfati e cloruri, a condizione che, con l'accordo della competente autorità territoriale dell'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente), si eviti qualsiasi variazione delle caratteristiche del suolo ricevente.

Per questi 3 percorsi principali, il D.M. 172/2016 fornisce la descrizione, per tutte le fasi della gestione dei sedimenti (dal dragaggio alla deposizione fino al trasporto, secondo gli usi previsti dall'articolo 5 bis, comma 2, della legge L. 84/1994), delle procedure applicabili a tali operazioni, nonché delle misure di mitigazione e dei criteri per la predisposizione e l'attuazione delle attività di monitoraggio. Restano escluse dal suo ambito di applicazione le operazioni di stoccaggio, trasporto e trattamento di materiali che non soddisfano i requisiti di qualità stabiliti per il loro utilizzo ai sensi dell'art. 5 bis, L. 84/1994 (e che rimangono soggette al regime generale dei rifiuti, di cui alla parte IV del D. Lgs. 152/2006), nonché le operazioni relative ai materiali derivanti da operazioni di dragaggio in SIN ma destinati ad essere gestiti al di fuori dell'SIN (che sono disciplinate dal D.M. 173/2016 - vedi in seguito).

Come detto, le operazioni di dragaggio al di fuori dell'SIN sono disciplinate dal D.M. 173/2016, che stabilisce le modalità per il rilascio dell'autorizzazione allo smaltimento volontario in mare dei materiali di cui alla lettera a), comma 2, dell'articolo. 109 del D.Lgs. 152/2006 (materiali di scavo provenienti dal fondo marino o dal fondo salmastro o dalla superficie costiera) per garantire la protezione dell'ambiente marino.

Questo regolamento determina anche :

- Criteri omogenei per l'utilizzo di materiale dragato per il riempimento o in ambienti adiacenti in tutto il paese. Si tratta di criteri, a cui le regioni devono attenersi, per la caratterizzazione, la classificazione e l'accettabilità dei materiali al fine di raggiungere o mantenere gli obiettivi di qualità ambientale per i corpi idrici marini costieri.

- Gestione del materiale dragato proveniente da aree portuali e marine costiere non incluse nell'SIN
- Gestione del materiale proveniente dalle attività di dragaggio nei porti costieri e nelle aree marine al di fuori dell'SIN e all'interno dell'SIN

L'Allegato tecnico del DM 173/2016 disciplina l'intero processo di caratterizzazione e gestione dei sedimenti da movimentare, compresa la pianificazione e l'attuazione del campionamento, le analisi di laboratorio (fisiche, chimiche, ecotossicologiche, biologiche e microbiologiche) e la classificazione della qualità dei sedimenti, fino alla formulazione di ipotesi di gestione ecocompatibili e allo sviluppo di piani di monitoraggio delle attività.

Nel DM 173/2016 sono stati introdotti nuovi criteri di valutazione integrati e ponderati per integrare e supportare la valutazione basata sugli unici criteri di valutazione tabellari utilizzati per la classificazione chimica : confronto dei risultati con i livelli chimici di riferimento nazionali L1 e L2 (vedi ALLEGATO 8) ; per la classificazione ecotossicologica : i risultati della batteria di biotest utilizzata. I criteri di integrazione ponderati applicati alle analisi chimiche tengono conto del tipo di parametro, del numero di contaminanti al di sopra delle soglie stabilite e della rilevanza del superamento delle soglie stabilite, la tossicità prevista degli elementi a seconda che essi figurino nell'elenco delle sostanze "prioritarie" o nell'elenco dei materiali "pericolosi e prioritari" o che siano menzionati nella Convenzione di Stoccolma sui POP (Persistent Organic Pollutants) e si basano sullo sviluppo di un Quoziente di rischio chimico (HQc) che consente di ponderare i sedimenti in base alla loro classificazione da "nessun rischio" a "rischio molto elevato". I criteri di integrazione ponderati applicati alle analisi ecotossicologiche tengono conto delle particolari caratteristiche dei test biologici inclusi nella batteria utilizzata, tra cui la significatività statistica della differenza di effetto tra il campione e il controllo ; la gravità dell'effetto ; il tipo di esposizione (acuta o cronica) ; la rappresentatività ambientale della matrice testata. La classificazione ecotossicologica ponderata si basa quindi su un criterio di rischio ecotossicologico che può andare da "assente" a "molto elevato", sviluppato dall'integrazione ponderata dei risultati di tutti i componenti di tutte le batterie di biotest utilizzate.

La categoria di qualità dei sedimenti risulta quindi dall'integrazione della classificazione chimica ed ecotossicologica attraverso l'applicazione dei criteri di integrazione tabellare e ponderata. Sono state così definite cinque categorie di qualità dei sedimenti (A, B, C, D, E), che vanno da "assente - categoria A" a "ad alto rischio - categoria E".

Queste 5 categorie di appartenenza materiale definiscono le opzioni di gestione disponibili :

Classe A

- ✓ Ripascimento della spiaggia emersa con pelite $\leq 10\%$ o altro valore stabilito su base regionale
- ✓ Ripascimento della spiaggia sommersa con frazione sabbiosa prevalente
- ✓ Immersione deliberata in aree marine non costiere (oltre le 3 miglia dalla costa)
- ✓ Immersione in ambiente conterminato marino – costiero

N.B. : Per ognuna di queste opzioni deve essere prevista un'attività di monitoraggio ambientale.

Classe B

- ✓ Immersione deliberata in aree marine non costiere (oltre le 3 miglia) con monitoraggio ambientale
- ✓ Immersione in ambiente conterminato in ambito portuale, incluso capping, con monitoraggio ambientale

Classe C

- ✓ Immersione in ambiente conterminato in ambito portuale in grado di trattenere tutte le frazioni granulometriche del sedimento, incluso capping all'interno di aree portuali, con idonee misure di monitoraggio ambientale.

Classe D

- ✓ Immersione in ambiente conterminato impermeabilizzato, con idonee misure di monitoraggio ambientale

Classe E

- ✓ Eventuale rimozione in sicurezza dall'ambiente marino dopo valutazione di rischio, secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Oltre ai nuovi criteri di valutazione integrati e ponderati che consentono la revisione delle classi di qualità dei sedimenti e delle opzioni di gestione, il DM 173/2016 introduce anche altri importanti elementi, quali: il "Foglio di pianificazione territoriale" per la raccolta e la valutazione delle informazioni precedenti alle fasi successive; la possibilità di adattare il livello di caratterizzazione dei sedimenti in funzione del tipo di ambiente (Asse 1: Caratterizzazione completa per le aree situate all'interno dei porti e le aree situate all'esterno dell'ingresso dei porti e/o le aree soggette ad ostruzioni ricorrenti o fortuite dell'accesso marittimo per volumi totali annuali superiori o uguali a 40.000 m³ / Asse 2 : Caratterizzazione semplificata per le aree costiere non portuali, le foci dei fiumi non portuali, le aree situate all'interno dei porti turistici esclusivamente per le imbarcazioni da diporto, le aree esterne all'ingresso dei porti e/o le aree soggette ad ostacoli ricorrenti o accidentali all'accesso marittimo, per volumi totali annuali di materiali inferiori a 40 000 m³) e sulla base dei dati già disponibili; la priorità data ai risultati della caratterizzazione ecotossicologica rispetto alle analisi chimiche. (Cfr. ALLEGATO 9)

N.B. : Nell'allegato 9 è presentato un diagramma sinottico delle procedure di caratterizzazione, classificazione e gestione del materiale dragato in aree NON SIN.

4.3) PROCEDURE REGOLAMENTARI RELATIVE AL TRASPORTO DEI RIFIUTI

Un sedimento dragato destinato alla gestione terrestre assume automaticamente lo status di rifiuto (17.05.05* o 17.05.06). Questo nuovo stato dei sedimenti implica che, una volta a terra, le norme da rispettare sono quelle relative ai rifiuti, anche per le operazioni di trasporto.

4.3.1) TRASPORTO DI RIFIUTI IN FRANCIA

La normativa francese inserisce la gestione dei rifiuti in un obiettivo di protezione ambientale e sanitaria. Secondo il Ministero della transizione ecologica e solidale « Ogni persona che partecipa alla gestione del rifiuto, che sia un produttore, un importatore, un esportatore, un gestore di un impianto di trattamento, un addetto alla raccolta, un trasportatore, (...), è tenuta ad essere in possesso delle informazioni relative al rifiuto che produce, cede ad un terzo o prende in carico e deve tenere aggiornato un registro cronologico della produzione, spedizione, ricezione e del trattamento del rifiuto». Il contenuto di questo registro (che deve essere conservato per 3 anni), ai sensi dell'articolo R. 541-43 e R. 541-46 del Codice dell'Ambiente, è descritto nel decreto del 29 febbraio 2012.

Le informazioni obbligatorie che devono essere inserite nel registro, per ogni flusso di rifiuti trasportato o raccolto sono le seguenti : data di raccolta e scarico ; natura del rifiuto (pericoloso/non pericoloso); quantità; numero di immatricolazione del/dei veicoli di trasporto; se del caso, il numero delle schede di tracciabilità dei rifiuti (BSD) ; nome e indirizzo della persona che consegna i rifiuti al trasportatore o all'addetto alla raccolta ; nome e indirizzo dell'impianto verso cui è inviato il rifiuto.

Ai sensi dell'articolo R541-50 del Codice dell'Ambiente (modificato con il Decreto n°2013-301 del 10 aprile 2013 – art. 4) : “Per svolgere l'attività di raccolta o trasporto di rifiuti, le aziende devono presentare una dichiarazione al prefetto del dipartimento in cui si trova la sede principale o, in mancanza della sede principale, del domicilio del dichiarante :

- Quando raccolgono o trasportano quantitativi superiori a 0,1 tonnellate per carico di rifiuti pericolosi così come definiti all'articolo R. 541-8

- Quando raccolgono o trasportano più di 0,5 tonnellate per carico di rifiuti non pericolosi”.

Il trasportatore di rifiuti è inoltre soggetto a tre obblighi principali ai sensi dell'articolo R541-51 del Codice dell'Ambiente (modificato dal decreto n. 2011-828 dell'11 luglio 2011- articolo 14).

Egli deve impegnarsi a :

- 1) Trasportare i rifiuti solo verso gli impianti di trattamento conformi alla normativa sui rifiuti
- 2) Avere cura di gestire gli scarti che avrebbe abbandonato, scaricato o indirizzato verso un impianto non conforme alla normativa relativa al trattamento dei rifiuti
- 3) Informare immediatamente, in caso di incidente o di scarico accidentale di scarti, il prefetto territorialmente competente

Inoltre una copia della ricevuta prefettizia (ottenuta in seguito al deposito del dossier di dichiarazione) deve essere conservata a bordo di ogni mezzo di raccolta o di trasporto e deve essere presentata ad ogni controllo da parte degli agenti incaricati (articolo R541-53 del Codice dell'Ambiente).

4.3.2) TRASPORTO DI RIFIUTI IN ITALIA

Per la legge Italiana, i sedimenti dragati, una volta a terra, assumono lo stato giuridico di “Rifiuti”, pertanto, la loro gestione deve rispettare le normative previste per quest'ultimi.

Le norme che regolano la gestione e la bonifica dei siti contaminati sono descritti nella parte IV del D.lgs 3 aprile 2006, n. 152 anche in attuazione delle direttive comunitarie, in particolare della direttiva 2008/98/CE, che prevedono misure volte a proteggere l'ambiente e la salute umana, prevenendo o riducendo gli impatti negativi della produzione e della gestione dei rifiuti, riducendo gli impatti complessivi dell'uso delle risorse e migliorandone l'efficacia.

Mentre, le norme che regolano le spedizioni di rifiuti, incluso il trasporto transfrontaliero, vengono affrontate nel Regolamento Europeo (CE) 1013 del 14 giugno 2006.

In attuazione a quanto stabilito dall'articolo 177, comma 4, la tracciabilità dei rifiuti deve essere garantita dalla loro produzione sino alla loro destinazione finale. A tale fine, la gestione dei rifiuti deve avvenire nel rispetto degli obblighi istituiti attraverso il sistema di controllo della tracciabilità dei rifiuti (SISTRI) di cui all'articolo 14-bis del DL 1° luglio 2009, n.78, oppure, nel rispetto degli obblighi relativi alla tenuta dei registri di carico e scarico nonché del formulario di identificazione.

Il formulario di identificazione dei rifiuti (FIR) è un documento formale che garantisce la tracciabilità del flusso dei rifiuti nelle varie fasi del trasporto, dal produttore/detentore al sito di destinazione.

Il FIR è uno dei tre strumenti, insieme al MUD (Modello Unico di Dichiarazione ambientale) e al registro di carico e scarico dei rifiuti - previsti dal D. Lgs. n. 22/1997 (decreto Ronchi) e successivamente dal D.Lgs. n.152/2006 al fine di controllare e, contabilizzare, il flusso della produzione dei rifiuti speciali.

Nel formulario devono essere indicati, almeno, i seguenti dati :

- Dati identificativi del produttore e del detentore (anche se coincidono)
- Dati identificativi del trasportatore
- Origine, tipologia e quantità del rifiuto
- Modalità di trasporto, data e percorso dell'instradamento
- Dati identificativi del destinatario
- Tipologia di impianto di destinazione

Il formulario di identificazione deve essere redatto in quattro esemplari, compilato, datato e firmato dal produttore dei rifiuti e controfirmati dal trasportatore che in tal modo dà atto di aver ricevuto i rifiuti. Una copia del formulario deve rimanere presso il produttore e le altre tre, controfirmate e datate in arrivo dal destinatario, sono acquisite una dal destinatario e due dal trasportatore, che provvede a trasmetterne una al predetto produttore dei rifiuti, entro i 3 mesi successivi alla data del conferimento (art. 193 comma 2 del D. Lgs. n. 152/06).

Le copie del formulario devono essere conservate per cinque 5 anni.

I formulari di identificazione devono essere numerati e vidimati dagli uffici dell'Agenzia delle entrate o dalle Camere di commercio, industria, artigianato e agricoltura o dagli uffici regionali e provinciali competenti in materia di rifiuti.

Il modello unico di dichiarazione ambientale (MUD) identifica tutto un insieme di dichiarazioni, presentate annualmente da soggetti quali trasportatori e produttori di rifiuti, alla Camera di commercio di pertinenza. In tale dichiarazione i rifiuti vengono raggruppati per tipologia (tramite dei codici numerici individuati nel Catalogo europeo dei rifiuti CER), per produttore e provenienza.

Il D.lgs 152/2006 classifica i rifiuti :

secondo l'origine → in rifiuti urbani e rifiuti speciali

e

secondo le caratteristiche di pericolosità → in rifiuti pericolosi e rifiuti non pericolosi

Sono rifiuti pericolosi quelli che recano le caratteristiche di cui all'Allegato I della parte quarta del decreto. Come già detto, l'elenco dei rifiuti, di cui all'allegato D alla parte quarta del decreto, include i rifiuti pericolosi e tiene conto dell'origine e della composizione dei rifiuti e, ove necessario, dei valori limite di concentrazione delle sostanze pericolose.

Il trasporto dei rifiuti in conto proprio viene disciplinato dal Art. 212 comma 8 del D.Lgs 152/2006 (e succ. modificazioni) e prevede delle semplificazioni ed agevolazioni nei due casi di :

- Trasporto di rifiuti speciali non pericolosi : senza alcun limite quantitativo
- Trasporto di rifiuti pericolosi : in quantità non eccedenti i 30 kg o 30 L al giorno

La semplificazione viene applicata ai soli produttori iniziali che effettuano operazioni di raccolta e trasporto dei propri rifiuti (ovvero provenienti solo dalla propria attività), a condizione che “tali operazioni costituiscano parte integrante ed accessoria dell'organizzazione dell'impresa dalla quale i rifiuti sono prodotti”.

Il trasporto dei rifiuti dovrà essere accompagnato dal formulario di identificazione.

4.3.3) TRASPORTI TRANSFRONTALIERI DI RIFIUTI

La convenzione di Basilea che inquadra e limita il trasferimento dei rifiuti su scala internazionale, è applicata ai sensi delle specifiche inserite nel Regolamento (CE) n.1013/2006 del 14 giugno 2006. Il sopracitato Regolamento istituisce le procedure e i regimi di controllo per le spedizioni di rifiuti in funzione dell'origine, della destinazione e dell'itinerario di spedizione, del tipo di rifiuti spediti e del tipo di trattamento da applicare ai rifiuti nel luogo di destinazione.

Il regolamento si applica alle spedizioni di rifiuti :

- a. Fra Stati membri, all'interno della Comunità o con transito attraverso paesi terzi
- b. Importati nella Comunità da paesi terzi
- c. Esportati dalla Comunità verso paesi terzi
- d. In transito nel territorio della Comunità, con un itinerario da e verso paesi terzi

In Francia, dal 1 gennaio 2016, l'Autorità competente incaricata dell'istruzione dei progetti di trasferimento transfrontaliero di rifiuti è il "Polo Nazionale dei trasferimenti transfrontalieri di rifiuti" (PNTTD). Il PNTTD, in applicazione del Regolamento (CE) n°1013/2006, gestisce le richieste di esportazione di rifiuti dalla Francia ; d'importazione di rifiuti dall'estero ; o del transito di rifiuti in Francia. Assicura : L'istruzione delle notifiche preventive scritte ; Il rilascio dell'autorizzazione ; Il sostegno alle amministrazioni in caso di trasferimento transfrontaliero di rifiuti illegali ; Il monitoraggio delle procedure amministrative in caso di trasferimenti illeciti ; La comunicazione e l'informazione alle persone interessate ; La relazione con le autorità competenti straniere incaricate di rilasciare le autorizzazioni per i loro paesi.

In Italia le autorità competenti di spedizione e di destinazione sono le Regioni e le province autonome, mentre l'autorità di transito è il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

Per definire le procedure applicabili al trasferimento del rifiuto sedimento, è opportuno prima di tutto definire il suo posizionamento rispetto al Regolamento (CE) n°1013/2006 del 14 giugno 2006.

Il rifiuto sedimento appare solo nella categoria seguente del presente regolamento :

Allegato V : Rifiuti sottoposti al divieto di esportazione definito all'articolo 36 Parte 2 " Rifiuti elencati nell'allegato della decisione 2000/532/CE" :

- 17 05 05* fanghi di dragaggio contenenti sostanze pericolose
- 17 05 06 fanghi di dragaggio diversi da quelli di cui alla voce 17 05 05

Secondo le raccomandazioni dell'articolo 36, sono vietate le esportazioni dalla Comunità di sedimenti classificati come rifiuti pericolosi (cioè codificati 17 05 05 *), destinati al recupero in paesi ai quali non si applica la decisione OCSE. D'altra parte, se il sedimento è classificato come rifiuto non pericoloso (cioè codificato 17 05 06), è possibile esportarlo in questi paesi.

In generale ogni paese ha il diritto di vietare l'importazione di rifiuti pericolosi (tra i quali i sedimenti pericolosi) sul proprio territorio (sia che si tratti di operazioni di smaltimento sia di recupero).

Relativamente alle procedure generali applicabili ai sedimenti così come descritte all'articolo 3 del titolo II del Regolamento (CE) n°1013/2006, si evince che il rifiuto sedimentato fa parte dalle categorie dei "rifiuti per i quali non esiste una voce specifica negli allegati III, III B, IV o IV A"; e che quindi è sottoposto alle procedure di notifica e autorizzazioni preventive scritte per il suo trasporto transfrontaliero verso gli impianti di smaltimento o di recupero.

Considerando le prescrizioni delle procedure previste all'articolo 18 del Regolamento, sembra che il trasporto transfrontaliero di sedimenti di rifiuti, destinati alle analisi di laboratorio e per quantità massime di 25 kg, non sia soggetto alla procedura di notifica e autorizzazione preventiva scritta e debba solo essere accompagnato dal documento d'informazione (i.e. CERFA N° 14133*01).

D'altra parte, "In casi eccezionali, se la specifica situazione geografica o demografica lo richiede, gli Stati membri possono concludere accordi bilaterali volti a rendere le procedure di notifica per le spedizioni di determinati flussi di rifiuti meno vincolanti nell'ambito di spedizioni transfrontaliere di rifiuti verso l'impianto idoneo più vicino, situato nella zona di confine tra i due Stati membri interessati". Le condizioni che consentono di ridurre le procedure sono dettagliate all'articolo 30 del regolamento.

❖ PROCEDURE DI NOTIFICA E DI AUTORIZZAZIONI PREVENTIVE SCRITTE

Quando il notificatore desidera effettuare un trasferimento transfrontaliero di sedimenti per operazioni di smaltimento o di recupero, invia una notifica scritta preventiva all'autorità competente di spedizione (ossia il PNTTD in Francia), che la trasmette e, se del caso, effettua una notifica generale (che copre più trasferimenti simili), esso si conforma all'articolo 13 del regolamento.

Le notifiche devono rispondere ai seguenti requisiti :

- Documenti di notifica e di trasporto :

La notifica è effettuata tramite i seguenti documenti :

- a) Il documento di notifica (ossia CERFA N°14131*01 – Allegato I A del Regolamento)
- b) Il documento di trasporto (ossia CERFA N°14132*01 – Allegato I B del Regolamento)

- Informazioni e documenti che accompagnano i documenti di notifica e di trasporto :

Il notificatore fornisce sul documento di notifica, o vi allega, le informazioni e i documenti elencati nell'allegato II, parte 1. Il notificatore fornisce sul documento di movimento, o vi allega, le informazioni e i documenti elencati di cui all'allegato II, parte 2, nei limiti del possibile al momento della notifica.

➤ Informazioni e documenti aggiuntivi :

Se richiesto da una delle autorità competenti interessate, il notificatore fornisce informazioni e documenti aggiuntivi. L'elenco delle informazioni e dei documenti aggiuntivi che possono essere richiesti figura nell'allegato II, parte 3 del regolamento.

➤ Stipula di un contratto tra il notificatore ed il destinatario :

Per tutte le spedizioni di rifiuti soggette all'obbligo di notifica è stipulato un contratto (efficace dal momento della notifica e per tutta la durata della spedizione) tra il notificatore e il destinatario per il recupero o lo smaltimento dei rifiuti notificati.

Gli elenchi presenti negli allegati permettono al notificatore di anticipare le informazioni e i documenti amministrativi che egli deve fornire all'autorità competente per presentare la sua notifica nel rispetto della normativa vigente.

Una notifica è considerata completa quando l'autorità competente di spedizione ha accertato che il documento di notifica e il documento di movimento (e qualsiasi informazione e documentazione supplementare richiesta) sono stati completati conformemente alle prescrizioni regolamentari.

V. SINTESI DELL'INVENTARIO DELLE METODOLOGIE DI CARATTERIZZAZIONE ANTECEDENTI AL DRAGAGGIO, DEI TRATTAMENTI, DEGLI STRUMENTI ESISTENTI E DELLE FILIERE DI GESTIONE NELL'AREA MARITTIMO

5.1) SITUAZIONE FRANCESE

5.1.1) METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE PRIMA DEL DRAGAGGIO

La caratterizzazione fisico-chimica dei materiali è il presupposto obbligatorio per qualsiasi operazione di dragaggio. Tale caratterizzazione ha lo scopo di definire :

→ Il quadro regolamentare dell'operazione di dragaggio : regime di dichiarazione o autorizzazione ai sensi della Loi sur l'Eau (cfr. Elaborato sulla normativa T1.1.1)

→ La scelta della tecnica di dragaggio e delle eventuali misure di protezione da applicare al fine di minimizzare l'impatto sull'ambiente

→ Il tipo di gestione dei materiali dragati (gestione marina o terrestre)

Le caratteristiche fisiche, granulometriche e geochimiche dei sedimenti da dragare sono i parametri determinanti che andranno a influenzare la scelta della tecnica di dragaggio.

In Francia, la tecnica più utilizzata resta prevalentemente quella del dragaggio idraulico (con draga aspiratrice), prima di quella del dragaggio meccanico (mediante l'uso di una benna impermeabile). Per la precisione, il dragaggio idraulico viene utilizzato preferibilmente per grandi volumi di sedimenti che presentano bassi livelli di contaminazione, mentre quello meccanico è più adatto a volumi di sedimenti inferiori ma maggiormente contaminati.

Il principale dispositivo di protezione impiegato è una geo membrana anti-dispersione, con l'obiettivo di contenere la nube di torbidità provocata dalle attività di dragaggio e di limitare l'impatto sugli ecosistemi marini.

Le caratteristiche ambientali dei materiali da dragare ne condizionano l'evoluzione. Così, se i livelli di contaminazione restano al di sotto dei limiti N1 e N2 (soglie GEODE definite nel decreto interministeriale del 14 giugno 2000, modificato dai decreti del 9 agosto 2006, 23 dicembre 2009, 8 febbraio 2013 e 17 luglio 2014), i sedimenti potranno essere orientati verso una gestione marina (immersione o scarico in mare o in estuario). In caso contrario e salvo deroga delle autorità competenti, nel momento in cui viene riscontrato un solo superamento del limite N2, il sedimento dragato deve essere orientato verso una gestione terrestre (stoccaggio o recupero) e assume quindi di fatto lo status di rifiuto.

- **CAMPIONAMENTO DEI SEDIMENTI PRIMA DEL DRAGAGGIO**

Per realizzare la caratterizzazione dei sedimenti, è indispensabile procedere a un campionamento adeguato e rappresentativo dei volumi oggetto delle operazioni di dragaggio. A questo scopo, la circolare di applicazione N°2000-62 del 14 giugno 2000 definisce le « istruzioni generali di campionamento e analisi dei sedimenti », fornendo un quadro operativo di riferimento per l'organizzazione e l'eventuale successivo perfezionamento dell'analisi dei sedimenti.

La metodologia di attuazione di un piano di campionamento proposta comporta due tappe principali :

- 1) L'istituzione a priori di una suddivisione dei sedimenti in zone qualitative, realizzata a partire dalle caratteristiche del bacino di provenienza e della geomorfologia del settore da caratterizzare (dati storici, batimetria, risultati quantitativi e qualitativi di precedenti indagini);
- 2) La localizzazione dei prelievi, per la realizzazione di un campione rappresentativo del lotto di sedimenti da caratterizzare. Tali prelievi saranno da adattare in funzione della suddivisione in zone realizzata durante la prima tappa.

La circolare del 14 giugno 2000 definisce 3 contesti diversi per i sedimenti marini o degli estuari:

1. **Le zone di scambio libero**, caratterizzate da scambi importanti delle masse d'acqua dovuti a forti correnti e/o a un'agitazione importante
2. **Le zone confinate**, caratterizzate da uno scarso movimento delle masse d'acqua, in particolare i bacini portuali chiusi
3. **I porti turistici**, per i quali si tiene conto dei volumi da dragare previsti per le zone confinate o del numero di imbarcazioni. Il valore più vincolante è il numero di campioni da analizzare

Secondo queste tre situazioni tipo, il numero dei prelievi da effettuare per caratterizzare correttamente la zona da dragare è variabile.

La circolare raccomanda le seguenti procedure :

VOLUME DA DRAGARE (in m ³)	Numero di campioni			Porto turistico	
	Zona libera (materiali omogenei)	Zona libera (materiali eterogenei)	Zona confinata	Numero di imbarcazioni	Numero di campioni
< 5 000	1	3	1	100	1
< 25 000	1	3	1 per 5000 m ³	< 500	2
< 100.000	2 - 3	4 - 6	5 + 1 per 25 000 m ³	< 1.000	3
< 500.000	3 - 5	7 - 15	8 + 1 per 50 000 m ³	> 1 000	5
< 2 000 000	6 - 10	16 - 30			
> 2 000 000	+ 4 per milione di m ³ aggiuntivi	+ 10 per milione di m ³ aggiuntivi			

Il campionamento deve garantire che sedimenti di qualità diverse non vengano mescolati. Il decreto ministeriale del 30 maggio 2008 stabilisce che i campioni di sedimenti devono essere rappresentativi del contesto locale. In particolare, il loro numero e le modalità di prelievo devono essere coerenti con la superficie interessata (inclusi il volume e lo spessore) e con la natura granulometrica e fisico-chimica del sedimento (omogeneità). Al fine di assicurare la rappresentatività del campione da analizzare rispetto all'ambiente originale si raccomanda un minimo di tre punti di prelievo (campione replicato). È consigliato prelevare campioni replicati di sedimenti della stessa natura e in quantità equivalenti. Si raccomanda inoltre di realizzare il prelievo sull'integralità dello spessore dei sedimenti da dragare allo scopo di rimediare agli eventuali episodi di contaminazione verificatisi in uno stesso punto.

Al momento della realizzazione del prelievo, viene effettuata una sezione verticale dello spessore del deposito da dragare e vengono menzionate le seguenti informazioni :

- La localizzazione del prelievo
- La consistenza dei diversi strati sedimentari (sabbia, ghiaia, fango) e il loro spessore
- Le proprietà organolettiche degli strati sedimentari (consistenza, colore, odore)

- **TECNICHE E METODI DI PRELIEVO DEI CAMPIONI DI SEDIMENTI**

La tecnica di prelievo è adottata in funzione del settore da dragare (accessibilità del sito e altezza dell'acqua), dello spessore e della granulometria dei sedimenti da estrarre. Si distingue tra due tipi di prelievo : quello sull'intero spessore dei sedimenti (mediante carotaggio) e quello in superficie.

Le benne impiegate per il prelievo dei sedimenti superficiali saranno leggere (come quelle di tipo Eckman e Van Veen) o pesanti (tipo Shipeck e Smith-McIntyre, etc.) a seconda della profondità (altezza della colonna d'acqua) e della natura granulometrica dei sedimenti (ovvero fango, sabbia, ghiaia).

Per il prelievo di campioni di sedimenti, i principali dispositivi impiegati sono : i carotieri manuali in caso di basse profondità (10 m); i carotieri a scatola per il prelievo di sezioni ampie ma di scarsa altezza; i carotieri a tubo, per il prelievo di carote lunghe ma di diametro ridotto.

La preparazione, il confezionamento e la conservazione dei campioni, devono permettere di assicurarne la preservazione e la tracciabilità. Le linee guida riguardanti la preparazione, il confezionamento e la conservazione dei campioni sono definite nel dettaglio nella norma francese di recepimento della norma europea EN 16179 (NF EN 16179).

Per costituire un campione, i prelievi devono essere omogeneizzati. Quando le caratteristiche dei sedimenti lo permettono, potrà essere utilizzata la suddivisione in quarti (norma X31-100). Questo metodo consente di ridurre il campione conservando ad ogni fase soltanto metà dell'insieme dei prelievi.

La norma ISO 5667-15 relativa ai campioni di fanghi e sedimenti precisa il volume di sedimenti da prelevare per poter :

- Separare i sotto-campioni per ogni tipo di analisi
- Ripetere le analisi secondo le esigenze di controllo della qualità

Dopo il confezionamento, i campioni devono essere conservati a una temperatura di 4 °C e al buio ed inviati al laboratorio entro un limite massimo di 48 h.

Precisiamo che secondo il decreto de 27 ottobre 2011, relativo alle modalità di approvazione dei laboratori che effettuano le analisi nel campo delle risorse idriche e degli ambienti acquatici, ai sensi del Codice dell'Ambiente francese, i laboratori devono essere accreditati secondo la norma NF EN ISO/CEI 17025 attraverso un'istanza di accreditamento da presentare al Comitato francese di accreditamento (COFRAC) o a qualsiasi altro organo di accreditamento equivalente).

- **ANALISI DA REALIZZARE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI DA DRAGARE**

Il metodo di caratterizzazione raccomandato nella circolare applicativa n. 2000-62 del 14 giugno 2000 prevede 3 fasi :

Fase I : Caratterizzazione fisica per anticipare il comportamento dei sedimenti durante le operazioni di dragaggio e di eliminazione dei materiali : quantità dei materiali da dragare, granulometria (percentuale di sabbia, fango, argilla), percentuale di materia secca, densità, contenuto di alluminio in una frazione inferiore a 2mm, contenuto di COT in una frazione inferiore a 2mm.

Fase II : Caratterizzazione chimica : la lista dei parametri chimici da ricercare è precisata nel decreto del 9 agosto 2006 e nei decreti che lo completano (23 dicembre 2009, 8 febbraio 2013, 17 luglio 2014). Tali parametri riguardano i contenuti presenti nei sedimenti di : tracce di metalli (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), tributilstagno (TBT), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) - 16 composti, e di policlorobifenili (PCB) -7 congeneri.

A seconda del contesto locale può rivelarsi opportuno valutare la presenza di nutrienti (azoto e fosforo) e la qualità batteriologica dei materiali (germi).

Fase III : Caratterizzazione biologica : In determinati casi di superamento del limite N2, il potenziale impatto ambientale dei materiali di dragaggio da immergere può rendere necessaria una caratterizzazione biologica, oltre a quella fisico-chimica. L'analisi biologica deve essere effettuata su specie rappresentative che siano sufficientemente sensibili alla potenziale tossicità dei sedimenti e deve permettere di determinare la tossicità acuta e cronica, nonché il rischio di bioaccumulo.

Il rispetto del metodo di caratterizzazione pre-dragaggio definisce il quadro giuridico e operativo dell'operazione di dragaggio e permette di individuare la destinazione dei sedimenti dragati. Se il campionamento effettuato e i risultati delle analisi ottenuti dimostrano l'assenza di impatto sull'ambiente marino (o la possibilità di un impatto considerato accettabile), i sedimenti estratti saranno da ritenere idonei per la gestione marina e potranno dunque essere immersi o scaricati in mare in siti stabiliti da decreto prefettizio.

Questa modalità di gestione, che nel 2013 ha riguardato il 94% dei sedimenti dragati, resta la soluzione tecnica più facile e più economica da mettere in pratica. Qualora in seguito alla loro caratterizzazione i sedimenti risultassero, invece, non idonei alla gestione marina saranno orientati verso una gestione terrestre e assumeranno lo status di rifiuti.

5.1.2) GESTIONE A TERRA DEI SEDIMENTI DRAGATI

Come già indicato nella parte 4.1), se il sedimento di rifiuto non soddisfa nessuna delle proprietà di pericolo, allora è classificato come "non pericoloso" (Articolo R. 541-8 del Codice dell'ambiente). Al contrario, una risposta positiva ad una (o più) delle proprietà di pericolo classifica automaticamente i sedimenti come rifiuti pericolosi.

La classificazione del sedimento rifiuto (pericoloso, non pericoloso o inerte) consente di definire le filiere di gestione disponibili a norma di legge. Infatti, quando il sedimento rifiuto non può essere recuperato deve essere immagazzinato (soppresso) in impianti di stoccaggio dei rifiuti (ISD).

Ciascuno dei suddetti impianti ha i propri criteri di ammissione dei rifiuti, basati su una valutazione del contenuto totale e lisciviabile del rifiuto (es. decreto del 12/12/2014 relativo allo stoccaggio dei rifiuti inerti). Per gli impianti di stoccaggio dei rifiuti non pericolosi (ISDND) e pericolosi (ISDD), i criteri di accettazione (compresi i valori limite) sono stati definiti a livello europeo dalla decisione n. 2003/33/CE del 19/12/2002, la quale stabilisce i criteri e le procedure di ammissione dei rifiuti nelle discariche, in conformità all'articolo 16 e all'allegato II della direttiva 1999/31/CE (Cfr. ALLEGATO 5).

Impianti classificati per l'ambiente ICPE : il decreto n. 2010-369 del 13 aprile 2010 dispone che lo stoccaggio, il trasporto e il trattamento dei sedimenti gestiti a terra sono regolamentati ai sensi della normativa relativa agli impianti classificati per l'ambiente (ICPE). Gli ICPE sono sottoposti a regime di dichiarazione o di autorizzazione. Gli articoli R511-1 e seguenti del Codice dell'Ambiente definiscono la nomenclatura, i criteri e i limiti di attivazione di queste due procedure.

L'articolo L 541 del Codice dell'Ambiente stabilisce che la gestione terrestre dei rifiuti è sotto la responsabilità di colui che li produce o li detiene. Questi è dunque responsabile dei rifiuti fino alla loro soppressione o il loro recupero e ciò anche qualora essi vengano affidati a terzi. È inoltre responsabile della tracciabilità delle diverse operazioni effettuate su di essi.

Precisiamo che nel momento in cui il deposito di sedimenti rifiuti è limitato alla durata delle operazioni di dragaggio ed è situato nelle immediate vicinanze del cantiere, è esente dal regime regolamentare degli ICPE.

In Francia esistono tre tipi di ICPE per la gestione a terra dei sedimenti, in cui vengono effettuate le seguenti operazioni :

- 1) Smistamento, trasporto e raggruppamento (codici ICPE : 2516, 2517, 2716, 2717/2718)
- 2) Trattamento (codici ICPE : 2515, 2771/2791, 2770/2791)
- 3) Stoccaggio definitivo (codici ICPE : 2760-1, 2760-2)

- **TRATTAMENTI DEI SEDIMENTI E STRUMENTI ESISTENTI**

Le opzioni di gestione a terra del sedimento dragato (eliminazione vs recupero) dipendono dalle caratteristiche fisico-chimiche, ambientali e geotecniche del sedimento considerato.

Esistono diversi pretrattamenti e trattamenti che permettono di migliorare le caratteristiche del sedimento rifiuto e limitare così i costi economici connessi alla sua gestione. Tali operazioni hanno l'obiettivo di ridurre la carica inquinante, per poter autorizzare un eventuale recupero o per guadagnare una classe di stoccaggio, oppure quello di isolare determinate frazioni specifiche del rifiuto per limitare i volumi da immagazzinare e incrementare la parte recuperabile.

Va ricordato che la normativa francese consente operazioni di recupero solo per i sedimenti classificati come rifiuti non pericolosi. Di conseguenza, il recupero dei sedimenti classificati come rifiuti pericolosi è proibito e il loro unico sbocco è lo stoccaggio (se a seguito di un'operazione di pretrattamento o trattamento, la frazione pericolosa non può essere isolata e rimossa dalla frazione non pericolosa).

Operazioni di pretrattamento dei sedimenti

- *Disidratazione*

I sedimenti dragati provenienti dall'ambiente acquatico sono molto umidi. L'acqua in essi contenuta può dunque rappresentare percentuali superiori al 50% del volume totale. Di conseguenza, la principale operazione di pretrattamento consiste nella disidratazione, al fine di diminuirne il volume e facilitarne la gestione. Per far questo, sono disponibili diverse tecniche, che si distinguono in tecniche di disidratazione naturale e tecniche di disidratazione meccanica.

La disidratazione naturale, chiamata anche lagunaggio attivo, consiste nello stendere i sedimenti in bacini drenanti e rivoltarli periodicamente per far evaporare l'acqua. Questa tecnica è efficace e consente di trattare grandi volumi contemporaneamente (in funzione delle dimensioni del bacino).

Il suo svantaggio è il fatto che richiede tempi di azione piuttosto lunghi (diversi mesi a seconda del contenuto d'acqua e delle condizioni meteorologiche) e di una superficie importante.

Il lagunaggio attivo permette inoltre di iniziare una fase naturale di biorisanamento : i batteri contenuti naturalmente nel sedimento, per poter sopravvivere e svilupparsi, degradano gli agenti inquinanti organici presenti, in particolare gli idrocarburi a catena corta.

La disidratazione meccanica, come indica il nome, fa ricorso a processi meccanici per disidratare i sedimenti. Essa si effettua grazie a diversi strumenti, tra i quali i principali sono le filtropresse (a camera o a cinghia) e le centrifughe. Queste tecnologie, molto efficaci, sono utilizzate quando la disidratazione deve essere realizzata rapidamente o in mancanza di spazi sufficienti per mettere in pratica un lagunaggio classico.

- *Setacciatura/grigliatura*

I sedimenti dragati possono contenere diversi elementi esogeni (es.: macrorifiuti) che è necessario separare. Per far questo possono essere impiegati setacci meccanici con grane di diverse dimensioni (es, > 20 mm, > 10 mm, etc.). I setacci meccanici possono essere utilizzati con materiale secco o umido.

Operazioni di trattamento dei sedimenti

I sedimenti disidratati ed eventualmente setacciati contengono ancora una carica inquinante elevata. Per ridurre o stabilizzare il grado di contaminazione e quindi facilitare le prospettive di recupero o di passaggio ad una classe di stoccaggio inferiore, possono essere applicati diversi trattamenti.

- *Trattamento biologico*

Il trattamento biologico, o biorisanamento, è indicato per le contaminazioni organiche (principalmente per gli idrocarburi leggeri a catena corta). Il biorisanamento consiste nello spargere il sedimento e capovolgerlo periodicamente per ossigenarlo e favorire l'attività di degradazione degli agenti inquinanti organici da parte dei microorganismi (come i batteri). È inoltre possibile inoculare batteri specifici per incrementare la flora batterica e l'efficacia della degradazione biologica.

- *Trattamento fisico-chimico*

Il trattamento fisico-chimico è applicato ai sedimenti che presentano una contaminazione mista, organica e inorganica, e che non possono dunque essere risanati completamente per via biologica. I sedimenti sono trattati attraverso processi fisici (mediante idrociclone o centrifuga) e chimici (aggiunta di flocculanti o altri additivi chimici) per giungere alla costituzione di una frazione fine contaminata e di frazioni granulari lavate e pronte ad essere riutilizzare. La frazione fine contaminata viene successivamente disidratata per essere infine smaltita in un impianto di stoccaggio adeguato.

Se gli agenti inquinanti presenti nel sedimento non possono essere isolati ed eliminati, l'impatto dell'inquinamento può essere ancora ridotto immobilizzando gli agenti inquinanti. Per far questo, i sedimenti vengono mischiati ad additivi specifici in impianti mobili di miscelazione (fosfatazione, calcinazione, aggiunta di additivi minerali come zeoliti, ematiti e smectiti, aggiunta di leganti idraulici per la stabilizzazione o/o la solidificazione).

Precisiamo che queste diverse tecniche possono essere utilizzate singolarmente o in associazione, a seconda della natura degli agenti inquinanti e degli obiettivi del risanamento.

- *Trattamento termico*

I due principali trattamenti termici esistenti sono il desorbimento termico e l'incenerimento. Esistono anche altre due alternative : la pirolisi e la vetrificazione. Se da una parte questi processi possono essere utili per distruggere o rendere volatili gli agenti inquinanti organici e immobilizzare gli inquinanti metallici, dall'altra restano marginali per i rifiuti sedimenti, in virtù del loro consumo energetico importante e del loro costo.

BILANCIO : Attualmente, a causa della mancanza di una normativa incitativa che favorisca la messa in pratica di soluzioni di recupero e per via del suo costo economico più elevato, il trattamento dei sedimenti resta marginale rispetto allo stoccaggio. Tuttavia, questa modalità non può più essere definitiva (vista l'evoluzione normativa che comporta un aumento delle quantità di sedimenti gestiti a terra, l'obbligo di immagazzinare solo rifiuti finali, l'aumento dei costi di accettazione in ISD, la mancanza di nuove aperture di ISD e la saturazione dei centri di stoccaggio esistenti) e le soluzioni di trattamento e successivo recupero dei sedimenti di dragaggio dovranno necessariamente diffondersi.

- **FILIERE DI RECUPERO DISPONIBILI PER I SEDIMENTI DI DRAGAGGIO**

Le principali filiere di recupero dei sedimenti di dragaggio sono le seguenti :

- 1) Ripascimento dei litorali
- 2) Opere pubbliche marittime - rinforzamento degli argini
- 3) Tecniche stradali
- 4) Ingegneria civile - materiali da costruzione
- 5) Architettura del paesaggio (creazione di spazi naturali, terrapieni scoperti, etc.)
- 6) Recupero di cave - riempimento di cavità del suolo
- 7) Spargimento agricolo
- 8) Copertura di impianti di stoccaggio di rifiuti

Per ciascuna operazione di recupero dei sedimenti, si raccomanda :

- Di procedere a una valutazione ambientale dell'opera di recupero (ai sensi della norma NF EN 12920+A1 - Caratterizzazione dei rifiuti - metodologie per la determinazione del comportamento alla lisciviazione di un rifiuto in condizioni specifiche)
- Di rispettare le guide e i sistemi di riferimento propri di ciascuna filiera
- Di assicurare la tracciabilità dei sedimenti recuperati

Ripascimento dei litorali : le sabbie di dragaggio possono essere reimpiegate in questa filiera, a condizione che le loro caratteristiche siano compatibili con quelle della spiaggia da ripascere, ovvero assenza di contaminazioni, granulometria (contenuto di sabbia >del 75%) e colore adeguati. I sedimenti da recuperare devono essere classificati come inerti (come da decreto del 28 ottobre 2010, sostituito dal decreto del 12 dicembre 2014) o essere oggetto di uno studio specifico secondo le disposizioni della norma NF EN 12920+A1.

Opere pubbliche marittime - rinforzo degli argini : i sedimenti da recuperare devono essere classificati come inerti o almeno rispettare le soglie di accettabilità per l'immersione (limiti GEODE S1 on N2 - decreto del 9 agosto 2006). Le acque emesse dall'operazione di recupero devono rispettare i limiti di qualità degli scarichi in acque di superficie R1 e R2, definiti nel decreto del 9 agosto 2006. Le caratteristiche geotecniche dei materiali prodotti devono rispettare quelle dei materiali classici.

Tecniche stradali : i sedimenti devono essere classificati come inerti o non pericolosi. La valutazione ambientale deve essere realizzata come descritto nella guida SETRA del marzo 2011 « Accettabilità dei materiali alternativi e tecniche stradali - Valutazione ambientale ». È indispensabile affrontare tre tappe : 1. descrizione del rifiuto e della sua provenienza ; 2. descrizione del materiale alternativo, di quello stradale e dell'uso previsto ; 3. caratterizzazione ambientale del materiale alternativo e di quello stradale. La caratterizzazione ambientale (3^a tappa) è, essa stessa, basata su una valutazione che si articola in più fasi, di cui le prime due (0 e 1) sono obbligatorie. Fase 0 - prerequisito indispensabile: caratterizzazione del sedimento rifiuto e valutazione della sua pericolosità; fase 1: analisi dei contenuti totali e lisciviabili (esperimento di lisciviazione secondo la norma NF EN 12457-2 o 4); fase 2: esperimento di lisciviazione (secondo NF CEN/TS 14 405) e analisi dei percolati; fase 3: studio specifico sul prototipo sperimentale (studio dell'alterazione del materiale e delle emissioni di agenti inquinanti, della loro evoluzione in seguito al trasferimento nel suolo e nelle falde acquifere, nonché dei loro effetti sulle acque; creazione di un modello comportamentale, etc.).

Ingegneria civile - materiali da costruzione : i sedimenti da recuperare devono essere classificati come inerti o almeno come non pericolosi (mediante uno studio specifico ai sensi della norma NF EN 12920 + A1). La valutazione ambientale potrà essere effettuata confrontando le sostanze rilasciate dall'opera di recupero con i valori limite proposti dagli standard di qualità ambientale (sqa) o con quelli proposti dalle norme igienico-sanitarie per le acque destinate al consumo umano. Le caratteristiche geotecniche dei materiali prodotti dovranno rispettare quelle dei materiali classici.

Realizzazione di terrapieni o polder - architettura del paesaggio : i sedimenti da recuperare devono essere classificati come inerti o non pericolosi (mediante studio specifico ai sensi della norma NF EN 12920 + A1). Questa metodologia di recupero è sottoposta alla procedura di dichiarazione o di autorizzazione, ai sensi della normativa sull'acqua. La creazione di opere di architettura del paesaggio è dettata dall'altezza e dalla superficie delle opere realizzate (per esempio, gli innalzamenti del suolo di superfici superiori a 2 ettari e di altezza superiore a 2 metri sono sottoposti a uno studio d'impatto ambientale, con la produzione di una valutazione quantitativa del rischio sanitario - EQRS).

Recupero di cave - riempimento di cavità del suolo : le modalità di ammissione dei rifiuti in quanto materiali per il riempimento di cave sono definite da un decreto prefettizio di autorizzazione basato sulla regolamentazione ICPE e, in particolare, sul decreto del 22 settembre 1994 relativo allo sfruttamento delle cave e agli impianti di primo trattamento dei materiali di cava. Tale filiera di recupero è riservata soltanto ai sedimenti classificati come inerti. Sul piano geotecnico, è indispensabile una buona realizzazione della stabilità finale del terrapieno o del riempimento. In particolare, la secchezza dei sedimenti da recuperare dovrà essere superiore al 50%.

Spargimento agricolo : lo spargimento di fanghi diversi da quelli derivanti dal trattamento delle acque reflue può essere sottoposto a procedura di dichiarazione o autorizzazione ai sensi della rubrica 2.1.4.0 della Loi sur l'Eau, in funzione del volume o delle quantità di azoto totale o di DBO₅ sparsi annualmente. Per le opere di spargimento sottoposte ad autorizzazione è richiesto uno studio d'impatto ambientale, completato da un'inchiesta pubblica (quest'ultima anche se il dragaggio è sottoposto a dichiarazione). Il decreto dell'8 gennaio 1998, che fissa le prescrizioni tecniche applicabili allo spargimento dei fanghi provenienti dal trattamento delle acque reflue sui terreni agricoli, funge da riferimento normativo. In applicazione di questo testo, sono richieste delle analisi preventive dei terreni agricoli e dei sedimenti, nonché un'indagine agrobiologica che stabilisca il valore agronomico dei sedimenti e l'idoneità del terreno a riceverli.

Copertura di impianti di stoccaggio dei rifiuti non pericolosi : 3 tipi di copertura (decreto del 9 settembre 1997). 1) copertura periodica : situata all'interno di una zona confinata, può essere costituita da rifiuti non pericolosi, tra cui i sedimenti ; 2) copertura intermedia : utilizzata in attesa della realizzazione della copertura definitiva, deve essere costituita da rifiuti inerti, tra cui i sedimenti ; 3) copertura finale : costituita da diversi strati che hanno lo scopo di limitare le infiltrazioni sia verso i rifiuti, sia verso l'esterno ; il decreto non precisa la natura dei materiali utilizzati. L'utilizzo dei sedimenti non pericolosi è possibile, a condizione che la loro innocuità sia dimostrata da uno studio specifico, come stabilito dalla norma NF EN 12920 + A1. Sono richieste specifiche tecniche relative ai parametri di natura e di stato e ai comportamenti meccanici dei sedimenti.

- **PRINCIPALI DESTINAZIONI PER I SEDIMENTI DRAGATI FRANCESI**

Secondo i dati pubblicati nell'indagine nazionale annuale sul dragaggio nei porti marittimi (CEREMA, Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), nel 2015 la quantità di sedimenti dragati in Francia (compresa la Francia metropolitana e i territori d'oltremare) ammonta a 34,6 milioni di tonnellate di materia secca, ovvero un aumento del 6,3% rispetto ai 32,6 milioni di tonnellate di materia secca registrati nel 2014.

I principali porti marittimi francesi (Bordeaux, Rouen, Nantes-Saint-Nazaire, Guyana, Dunkerque, Guadalupa, Le Havre, La Réunion, La Rochelle, Marsiglia, Martinica) rappresentano 29,1 milioni di tonnellate, pari all'84% del totale nazionale per il 2015.

La tecnica di dragaggio più comune utilizzata nei grandi porti marittimi è il dragaggio idraulico e più specificamente l'uso di draghe ad aspirazione in esercizio. Negli altri porti, l'88,3% della sostanza secca viene rimosso anche con un semplice dragaggio idraulico e il 10,5% con tecniche di dragaggio meccanico.

Nel 2015 lo smaltimento dei sedimenti è ancora di gran lunga la principale destinazione utilizzata per il materiale dragato : 25,7 milioni di tonnellate di materiale sono state scaricate o smaltite in mare o nelle aree degli estuari, pari al 74,3% della quantità totale di sedimenti dragati per l'anno. Nel 2014, il dumping ha rappresentato il 91% della quantità totale di sedimenti dragati nell'anno (26,3 milioni di tonnellate di materiale scaricato). Nel 2015, i principali porti marittimi hanno rappresentato da soli 22,7 milioni di tonnellate di materiale scaricato o smaltito in mare o nelle zone di estuario, ovvero l'87,8% della quantità totale di sedimenti scaricati (sono stati utilizzati 57 dei 106 permessi validi per lo scarico o lo smaltimento in mare).

Nel 2015, la ricarica delle spiagge riguarda 151.149 tonnellate di materia secca (0,4% del totale dragato): 11.354 tonnellate sulla costa della Manica-Mare del Nord / 32.191 tonnellate sulla costa atlantica / 44.189 tonnellate sulla costa mediterranea / 63.415 all'estero.

Un totale di 3.441.110 tonnellate di sedimenti è stato depositato sul terreno per tutte le facciate, ovvero circa il 10% del totale dragato. Va notato che 2.146.000 tonnellate sono state utilizzate solo per l'ampliamento del porto di Cherbourg (creazione di un polder).

Le altre destinazioni identificate nel 2015 sono le operazioni di dispersione del materiale mediante iniezione di acqua, rotodevastazione o dragaggio all'americana (Guyana). Nella Francia continentale, questi metodi sono in parte utilizzati sulla costa atlantica, con il metodo dell'iniezione d'acqua (Jetsed) utilizzato dall'unico grande porto marittimo di Nantes Saint-Nazaire e il rotodredging in Charente-Maritime e Morbihan. Oltreoceano, nel 2015, come negli anni precedenti, la Guyana francese disperderà circa 3,5 milioni di tonnellate di sedimenti mediante dragaggio all'americana.

5.2) SITUAZIONE ITALIANA

Le operazioni di dragaggio effettuate all'interno di siti di interesse nazionale (SIN) sono disciplinate dall'articolo 5-bis della legge 84/1994 e successive modifiche e integrazioni.

Le operazioni di dragaggio effettuate al di fuori del SIN sono disciplinate dal D.M. 173/2016.

5.2.1) METODOLOGIA DI CARATTERIZZAZIONE PRIMA DEL DRAGAGGIO – AREE SIN

Di seguito si riportano le metodologie e i criteri per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare ai sensi del D.M. 7/11/2008 e successive modifiche e integrazioni.

STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO

Schema di campionamento: Lo schema di campionamento deve tener conto della eterogeneità batimetrica dei fondali, del modello concettuale formulato, della variabilità qualitativa dei sedimenti, attesa in base alle informazioni raccolte, delle dinamiche di accumulo e/o erosione presenti, nonché dell'articolazione strutturale interna dell'area oggetto dell'intervento.

Lo schema prevede la disposizione delle stazioni di campionamento, secondo una distribuzione uniforme, con una densità di prelievo almeno equivalente a quella ottenibile con un sistema di maglie di dimensioni pari a :

1. 50x50 m / 2. 100x100 m / 3. 200x200 m

Lo schema di campionamento sopra descritto si applica alle aree portuali cosiddette interne, alle imboccature portuali, nelle zone appena esterne al porto ma ad esso adiacenti, lungo le dighe di protezione esterne, lungo le barriere frangiflutto e nei canali di accesso al porto.

Indipendentemente dalla superficie interessata dalle attività di dragaggio, il numero dei punti di campionamento non deve essere comunque inferiore a tre.

Profondità di campionamento :

In ciascun punto di campionamento deve essere prelevata una carota di lunghezza superiore di 50 cm rispetto allo spessore di sedimento da dragare e comunque non inferiore ai 2 m.

Per “quota di escavo” si intende l’effettiva quota del progetto di dragaggio, approssimata ai 50 cm successivi. La lunghezza della carota si intende misurata a partire dal top (indicato come livello “0”).

Da ciascuna carota devono essere prelevate sezioni di sedimento, secondo le seguenti indicazioni :

- Per quota di escavo inferiore ai 2 m
- Per quota di escavo superiore ai 2 m

Tutte le sezioni prelevate devono essere sottoposte ad analisi.

- METODICHE DI CAMPIONAMENTO

L’attività di prelievo dei sedimenti deve avvenire arrecando al campione il minor disturbo possibile, evitando anche possibili contaminazioni a causa di un uso improprio della strumentazione.

Gli esecutori delle attività di prelievo devono essere qualificati nel settore dei sondaggi geognostici in ambiente marino e i mezzi di appoggio adeguati alle esigenze tecniche delle operazioni da svolgere.

Di ciascun punto di campionamento deve essere registrata l’ubicazione reale mediante apposita strumentazione GPS differenziale (DGPS) e la profondità effettiva mediante idoneo scandaglio.

Le coordinate geografiche e le quote ellissoidiche devono fare riferimento all’ellissoide WGS84.

Le attività di prelievo dei sedimenti secondo lo schema di campionamento di cui al punto 3 devono essere eseguite mediante carotiere di tipo vibrocorer, o eventualmente a rotazione. Il sondaggio deve essere eseguito in verticale. La carota deve essere recuperata per l’intera lunghezza prevista, in un’unica operazione, senza soluzione di continuità, utilizzando aste di altezza adeguata allo spessore di materiale da caratterizzare e tenendo conto della necessità di ottenere un recupero pari al 100%. Il diametro della strumentazione deve essere tale da consentire il recupero di una quantità di materiale sufficiente per l’esecuzione di tutte le determinazioni analitiche previste.

L'indisturbabilità del campione deve essere garantita anche in fase di estrusione. Non è consentito l'uso di sostanze detergenti normalmente utilizzate per la pulizia o per l'ottimizzazione della funzionalità degli strumenti (lubrificanti, CRC, etc.).

Ai fini della confrontabilità dei risultati ottenuti, si suggerisce di utilizzare la medesima strumentazione di campionamento nel corso di una medesima campagna, nonché le medesime pratiche di subcampionamento.

Subcampionamento e preparazione dei campioni :

Per ogni punto di prelievo deve essere compilata una scheda riassuntiva contenente le seguenti informazioni :

- Codice identificativo della stazione di campionamento
- Data ed ora di campionamento
- Coordinate effettive del punto
- Quota del fondale
- Lunghezza della carota prelevata
- Descrizione stratigrafica della carota
- Sezioni prelevate
- Descrizione macroscopica delle sezioni e codici dei relativi campioni

I codici identificativi della stazione di campionamento e del campione devono essere univoci.

L'apertura o l'estrusione della carota devono avvenire entro alcune ore dal prelievo dal fondale marino.

Immediatamente dopo le operazioni di apertura o estrusione le carote devono essere misurate per la loro lunghezza di prelievo, fotografate e ispezionate visivamente da personale specializzato. Una volta misurate, le carote devono essere immediatamente subcampionate.

Sulle singole sezioni individuate, deve essere effettuato :

- il prelievo dell'aliquota destinata alla determinazione dei composti volatili sulle sezioni ove sia stato previsto
- la misura di pH e Eh su tutte le sezioni scelte

Immediatamente dopo si procede al subcampionamento e alla omogeneizzazione delle aliquote previste per tutti i restanti parametri.

- TRATTAMENTO E CONSERVAZIONE DEI CAMPIONI

Il subcampione da utilizzare per l'esecuzione delle analisi fisiche, chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche deve essere prontamente suddiviso in diverse aliquote, da conservarsi e trasportarsi secondo modalità e temperature differenti.

In base alle esigenze dei laboratori incaricati, le aliquote dei campioni per le diverse tipologie di contaminanti, qualora sia prevista la conservazione all'interno di contenitori dello stesso tipo, possono essere riunite all'interno dello stesso contenitore già in fase di subcampionamento.

Le aliquote di materiale destinate alle verifiche e/o alle analisi di controllo, una volta sigillate, devono essere conservate dall'Autorità Portuale o, laddove non istituita, dell'Ente competente. Il periodo di conservazione di dette aliquote non deve essere inferiore ad un anno dal termine del completamento dell'attività istruttoria da parte dell'Amministrazione competente.

- CRITERI PER LA SCELTA DEI LABORATORI INCARICATI PER LE ANALISI

Analisi chimiche, fisiche e microbiologiche : Le procedure analitiche utilizzate per la determinazione dei parametri ricercati devono essere scelte fra quelle più aggiornate riportate nei protocolli nazionale e/o internazionali (es: EPA, ISO, UNI EN, APAT/IRSA-CNR, ASTM, etc.), se esistenti. In assenza di un protocollo come sopra specificato la validità della procedura utilizzata deve essere documentata.

Analisi ecotossicologiche (saggi biologici di tossicità) : Le procedure analitiche utilizzate devono essere scelte fra quelle riportate nei protocolli nazionali e/o internazionali o essere di validità internazionalmente riconosciuta (ASTM, EPA, ISO, AFNOR, CNR-IRSA, APAT, ecc.).

Le analisi devono essere condotte da Enti e/o Istituti Pubblici oppure da laboratori privati. I laboratori privati dovranno possedere l'accreditamento, secondo la norma UNI EN ISO/IEC 17025/2005.

- ANALISI PREVISTE

Le analisi fisiche, chimiche, microbiologiche, ecotossicologiche vanno condotte sul campione tal quale e la restituzione del dato analitico va riportata rispetto al peso secco del materiale analizzato.

Tutte le risultanze analitiche possono essere considerate valide per tre anni, purché non si siano verificati eventi naturali o artificiali (es. dragaggi, sversamenti accidentali) che abbiano modificato la situazione preesistente.

- MODALITÀ DI RESTITUZIONE DEI RISULTATI

La documentazione fornita dal laboratorio unitamente al dato deve garantire la correttezza della procedura di esame, l'inequivocabilità dell'informazione nonché la qualità del dato. I laboratori devono fornire un Rapporto di Prova, datato e firmato dal responsabile del laboratorio, che riporti: il nome e la Sede Legale del laboratorio.

- ELABORAZIONE E VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE

Lo schema di caratterizzazione eseguito deve essere tale da consentire la formulazione di una ipotesi affidabile sulla distribuzione della contaminazione nello spazio. Ogni volta sia possibile, l'analisi geostatistica deve essere lo strumento da preferirsi per tale studio. Le elaborazioni geostatistiche effettuate sui risultati della caratterizzazione devono essere riproducibili da parte del controllore. Per l'elaborazione geostatistica dei risultati della caratterizzazione l'Autorità Portuale o, laddove non istituita, l'Ente competente potrà avvalersi della collaborazione di ISPRA relativamente agli aspetti tecnico scientifici. Nel caso in cui non venga utilizzata la geostatistica, per il calcolo dei volumi da sottoporre a differente gestione è necessario utilizzare un criterio cautelativo. L'area di indagine deve essere suddivisa secondo le aree di competenza delle stazioni di campionamento.

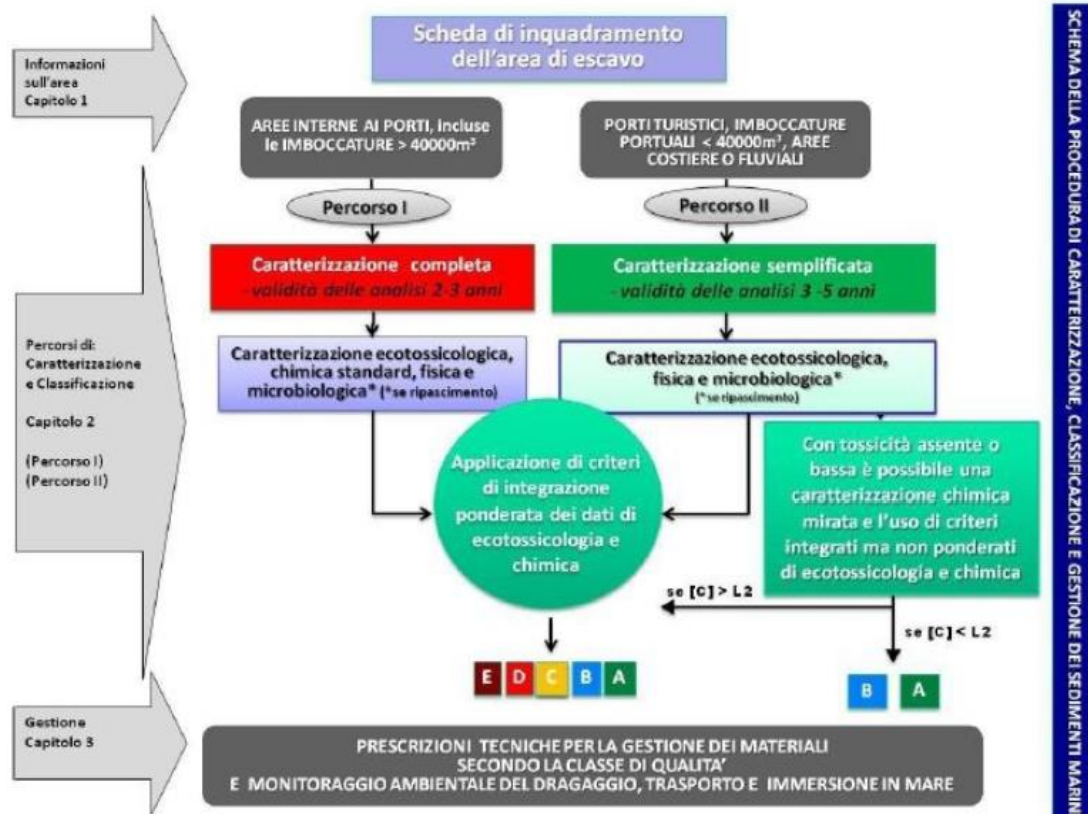
5.2.2) GESTIONE IN AMBITO MARINO-COSTIERO E A TERRA - AREE SIN

Per quanto riguarda la gestione dei sedimenti di dragaggio (ovvero di ogni loro singola frazione granulometrica ottenuta a seguito di separazione con metodi fisici) sono individuate le seguenti possibilità, in funzione di specifici requisiti di qualità, definiti sulla base delle caratteristiche chimiche, fisiche, microbiologiche ed ecotossicologiche degli stessi :

- ✓ Immissione o refluento nei corpi idrici dai quali provengono
- ✓ Impiego a terra del materiale tal quale o a seguito di trattamenti di desalinizzazione o di rimozione degli inquinanti
- ✓ Refluento all'interno di casse di colmata, di vasche di raccolta, o comunque in strutture di contenimento o di conterminazione

5.2.3) CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI PRIMA DEL DRAGAGGIO - AREE NON SIN

PREMESSA : Lo schema sintetico delle procedure per la caratterizzazione, classificazione e gestione dei materiali di escavo nelle aree non SIN è riportato nella prossima figura. Queste procedure verranno approfondite nei paragrafi seguenti.



Schema di inquadramento delle procedure di caratterizzazione, classificazione e gestione dei materiali di escavo nelle aree non SIN

- SCHEDA DI INQUADRAMENTO DELL'AREA DI ESCAVO

Ai fini della caratterizzazione precedente al dragaggio, è necessario fornire le informazioni riportate di seguito. Queste informazioni devono essere inserite in un documento redatto appositamente e chiamato "Scheda di inquadramento dell'area di escavo".

1. Informazioni generali sull'ubicazione dell'area di escavo
2. Elenco delle principali pressioni (industriale ; presenza di impianti di acquacoltura ; ...) che insistono sull'area
3. Mappatura dei principali elementi di pregio naturalistico presenti nell'area e nelle zone limitrofe, delle aree di tutela e degli obiettivi sensibili (es. specie protette)
4. Informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche e idrodinamiche della colonna d'acqua
5. Informazioni sulle attività di escavo pregresse
6. Informazioni sulle caratteristiche morfo-batimetriche e sulle caratteristiche dei fondali

7. Informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche, ecotossicologiche e microbiologiche (se ripascimenti di arenili) dei sedimenti
8. Informazioni sugli organismi animali e vegetali nell'area di escavo
9. Informazioni pregresse sulle attività di immersione/utilizzo dei sedimenti
10. Informazioni sulle precedenti attività di monitoraggio ambientale nell'area
11. Programmazione delle attività di escavo e gestione dei materiali
12. Informazioni su iniziative intraprese/che si intende intraprendere per migliorare la qualità dei fondali riducendo l'inquinamento

- **STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO**

Sulla base della tipologia dell'area di escavo deve essere seguito uno dei due percorsi di indagine riportati di seguito.

- Percorso I che prevede una caratterizzazione completa
- Percorso II dove può essere eseguita una caratterizzazione semplificata

Il Percorso I si applica alle aree interne ai porti anche parzialmente industriali, commerciali, di servizio passeggeri, pescherecci e alle aree poste all'esterno dell'imboccatura dei porti e/o le aree soggette a ostruzione ricorrente o accidentale del passo marittimo di accesso per volumi annui complessivi di materiale uguali o superiori a 40.000 m³.

Il Percorso II si applica alle aree costiere non portuali, alle aree di foce fluviale non portuale, alle aree interne ai porti esclusivamente turistici e alle aree poste all'esterno dell'imboccatura dei porti e/o le aree soggette a ostruzione ricorrente o accidentale del passo marittimo di accesso per volumi annui complessivi di materiale inferiori a 40.000 m³.

Schema di campionamento: La strategia di campionamento deve consentire una caratterizzazione rappresentativa dell'intera superficie e del volume di materiale da sottoporre a movimentazione.

Per le aree a cui si applica il Percorso I lo schema di campionamento prevede la disposizione delle stazioni di campionamento, secondo una distribuzione uniforme, con una densità di prelievo almeno equivalente a quella ottenibile con tre differenti tipologie di maglie (aree unitarie) di dimensioni pari a :

- 50 m x 50 m (Tipologia 1)
- 100 m x 100 (Tipologia 2)
- 200 m x 200 m (Tipologia 3)

Per le aree a cui si applica il Percorso II lo schema di campionamento prevede la disposizione delle stazioni di campionamento, secondo una distribuzione uniforme, con una densità di prelievo almeno equivalente a quella ottenibile con tre differenti tipologie di maglie (aree unitarie) di dimensioni pari a :

- 100 m x 100 m
- 200 m x 200 m

All'interno di ciascuna area unitaria (maglia quadrata di campionamento) e per tutte le tipologie deve essere individuato un punto di campionamento, rappresentativo dell'area unitaria.

Profondità di campionamento : In ciascun punto di campionamento deve essere prelevata una carota. Nel caso di indagini riguardanti strati maggiori di 50 cm, l'altezza di ciascuna carota deve essere almeno pari allo spessore di materiale da asportare previsto nel punto di campionamento. Nel caso di indagini limitate ai primi 50 cm del fondale possono essere utilizzate anche altre tecniche di campionamento, quali benne o box-corer.

Scelta dei campioni : Per ciascuna carota devono essere individuate sezioni di 50 cm, 100 cm o 200 cm, o sezioni residue di almeno 20 cm rappresentative del livello più profondo.

Preparazione del campione : Da ciascuna delle sezioni della carota deve essere prelevata un'aliquota di sedimento in modo tale da garantire la massima rappresentatività del campione. Il campione prelevato deve essere omogeneizzato e suddiviso nelle aliquote previste per le diverse analisi. La quantità di materiale prelevata per ciascun campione deve essere sufficiente a garantire tutte le analisi fisiche, chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche, compresa l'aliquota di riserva da conservare per eventuali approfondimenti e/o verifiche.

Per le aree del Percorso I, tutti campioni prelevati devono essere avviati alla successiva fase di analisi e classificazione.

Per le aree del Percorso II viene introdotta la possibilità di formare campioni compositi per le successive analisi, ottenuti miscelando i campioni singoli provenienti da aree unitarie contigue aventi caratteristiche macroscopiche simili, fermo restando la possibilità di analizzare i singoli campioni di cui deve essere sempre disponibile un'aliquota conservata.

Modalità di trasporto e di conservazione del campione : Le modalità di trasporto e di conservazione delle aliquote destinate alle differenti analisi differiscono per modalità di conservazione, trasporto e temperature di trasporto e di conservazione. Il periodo di conservazione dell'aliquota di materiale destinata a eventuali controanalisi e/o verifiche non deve essere inferiore a 3 mesi dal termine delle attività di gestione dei materiali dragati.

Criteri per la scelta dei laboratori incaricati per le analisi :

Analisi chimiche, fisiche, microbiologiche ed ecotossicologiche

Le procedure analitiche da utilizzare per la determinazione dei parametri ricercati devono essere conformi a protocolli nazionali e/o internazionali standardizzati o riportati su Manuali e Linee Guida del Sistema Nazionale delle Agenzie.

Le analisi devono essere condotte da Enti e/o Istituti Pubblici di comprovata esperienza, oppure da laboratori privati accreditati da organismi riconosciuti ai sensi della norma UNI CEI EN 17011/05.

Analisi previste :

- Analisi fisiche
- Analisi chimiche
- Analisi Microbiologiche
- Analisi ecotossicologiche (saggi biologici di tossicità)
- Analisi delle comunità bentoniche

Validità delle analisi : Le risultanze analitiche sono considerate valide per un periodo diverso per il Percorso I o per il Percorso II.

In linea generale si assume che in un'area portuale, costiera o fluviale, i primi 50 cm di fondale siano soggetti a fenomeni di perturbazione.

Le risultanze analitiche sono considerate valide per un periodo di 2 anni per le aree del Percorso I e di 3 anni per le aree del Percorso II.

Tale validità può essere estesa fino a 3 anni, per le aree del Percorso I e fino a 5 anni per le aree del percorso II.

Modalità di restituzione dei risultati delle analisi : La documentazione fornita dal laboratorio unitamente al dato deve garantire la correttezza della procedura di esame, l'inequivocabilità dell'informazione nonché la qualità del dato.

CLASSIFICAZIONE DEI SEDIMENTI

La classificazione dei materiali può essere basata sui criteri tabellari o i criteri di integrazione ponderata.

Analisi chimiche : Il criterio tabellare prevede che i risultati siano confrontati con i Livelli chimici di riferimento nazionali (L1 e L2 con $L1 < L2$). I criteri di integrazione ponderata considerano la tipologia dei parametri, il numero dei contaminanti che eccedono il riferimento specifico, nonché l'entità di tali sforamenti rispetto ai limiti previsti.

Saggi ecotossicologici : Il criterio tabellare per le analisi ecotossicologiche è utilizzato nell'ambito di indagini con elevata numerosità campionaria, in cui la stragrande maggioranza dei campioni risulti particolarmente tossica o non mostri effetti (priva di tossicità). I criteri di integrazione ponderata per le analisi ecotossicologiche considerano aspetti importanti e caratteristiche specifiche dei saggi biologici inclusi nella batteria utilizzata, tra cui la significatività statistica della differenza di effetto tra campione e controllo; la severità dell'effetto; la tipologia di esposizione; la rappresentatività ambientale della matrice testata. La classificazione ecotossicologica è quindi basata su un giudizio di pericolo ecotossicologico (da assente a molto alto) elaborato dall'integrazione ponderata dei risultati di tutte le componenti dell'intera batteria di saggi biologici.

Modalità di classificazione dei sedimenti : I criteri da utilizzare per le analisi chimiche ed ecotossicologiche, dipendono dalle analisi ecotossicologiche. Infatti, se per le analisi ecotossicologiche sono stati utilizzati i criteri tabellari, anche i risultati delle analisi chimiche devono essere confrontati con i criteri tabellari mentre se per le analisi ecotossicologiche sono stati applicati i criteri di integrazione ponderata, si dovrà seguire il medesimo criterio anche per le analisi chimiche.

La Classe di Qualità dei sedimenti scaturisce quindi dall'integrazione della classificazione chimica ed ecotossicologica.

La Classe di Qualità dei sedimenti viene espressa con le lettere A; B; C; D; E, corrispondenti a cinque classi con pericolosità da assente a molto alta.

5.2.4) GESTIONE DEI SEDIMENTI IN AMBITO MARINO-COSTIERO - AREE NON SIN

Le suddette opzioni di gestione possono essere implementate a seconda del livello di qualità dei sedimenti.

- RISULTATI DELLA CARATTERIZZAZIONE DEI SEDIMENTI

Tutti i dati relativi al campionamento, alla caratterizzazione, alle prestazioni analitiche, alla classificazione e alle opzioni di gestione proposte devono essere riportate in una Relazione Tecnica con allegate la Scheda di inquadramento dell'area di escavo, le Schede di campo e i Rapporti di Prova.

- TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI

Le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dei sedimenti contaminati sono di fondamentale importanza per determinare l'applicabilità e la durata di un qualunque trattamento di bonifica, con particolare riguardo ai casi in cui sussista la coesistenza di diverse famiglie di inquinanti come nel caso in oggetto.

Di seguito si espone una breve panoramica delle diverse tecnologie di bonifica, prendendo in considerazione sia interventi in situ sia ex situ.

Tecnologie di trattamento *in situ* :

La particolarità dei trattamenti in situ risiede nel fatto che essi non necessitano della rimozione del sedimento contaminato e quindi possono rappresentare una buona soluzione dal punto di vista sia economico sia ecologico. Le tecnologie di trattamento in situ comportano un minore impatto da un punto di vista ecologico.

I trattamenti in situ sono da considerarsi come scelta prioritaria, nel caso in cui siano attuabili nell'ambiente specifico.

I trattamenti in situ possono essere di tipo :

- Biologico
- Chimico

Altre due tipologie di trattamento in situ, riportate nella bibliografia internazionale, sono il confinamento dei sedimenti (capping) e la solidificazione/stabilizzazione.

- Confinamento dei sedimenti (capping)
- Solidificazione/stabilizzazione

Il fitorisanamento è una tecnologia per il trattamento dei suoli e dei sedimenti contaminati che sfrutta la capacità delle piante di degradare, rimuovere o concentrare i contaminanti. I trattamenti di fitorisanamento possono essere applicati in situ, con piante autoctone, in aree prospicienti la costa.

Sulla base del meccanismo responsabile della decontaminazione del sedimento, i trattamenti di fitorisanamento possono essere distinti in :

- Fitoestrazione
- Rizofiltrazione
- Fitodegradazione
- Fitostabilizzazione
- Fitostimolazione o biodegradazione rizosfera-dipendente
- Fitovolatilizzazione

L'applicazione di un trattamento di fitorisanamento richiede una analisi preliminare volta alla individuazione della specie vegetale più adatta nelle condizioni specifiche di riferimento.

Tecnologie di trattamento *ex situ* :

I trattamenti *ex situ* prevedono il dragaggio dei sedimenti contaminati ed una successiva fase di trattamento.

Una volta avvenuto il dragaggio del sedimento contaminato il trattamento avviene in due fasi distinte :

- Fase di pre-trattamento
- Fase di trattamento

Il pre-trattamento ha due scopi :

- Rendere il materiale omogeneo al fine di ottenere una limitata variabilità delle caratteristiche fisiche
- Ridurre i volumi da trasportare

I pre-trattamenti possono prevedere la separazione delle diverse classi granulometriche e/o l'eliminazione dell'acqua (disidratazione).

Per la fase di trattamento esistono numerose tecnologie che possono essere impiegate in funzione della natura dei contaminanti presenti e delle caratteristiche fisiche del sedimento.

In base alla tecnologia utilizzata per la rimozione dei contaminanti i trattamenti possono essere suddivisi in :

- Trattamenti biologici
- Trattamenti chimico-fisici
- Trattamenti termici

- PRINCIPALI CANALI DI DESTINAZIONE PER I SEDIMENTI DRAGATI ITALIANI :

Fino al 2016 l'Italia non disponeva di un organismo istituzionale nazionale in grado di raccogliere dai gestori dei porti le cifre relative alle varie operazioni di dragaggio. Di conseguenza, i volumi totali di sedimenti dragati sul territorio nazionale non erano noti con precisione. A tale scopo nel 2016 è stato creato un osservatorio nazionale che ha avviato questa opera di capitalizzazione.

Escludendo le quantità dragate per rimuovere la sabbia dalla parte anteriore dei porti e dalle foci dei fiumi, il dragaggio dei siti portuali comporterebbe tra 0,2 e 1,5 milioni di m³ di sedimenti. Questa quantità, che tiene conto solo del dragaggio autorizzato per lo smaltimento in mare, riduce notevolmente il volume totale dei sedimenti effettivamente dragati sul territorio nazionale.

Le tecniche di dragaggio utilizzate in Italia dipendono dal tipo di materiale da scavare (sedimenti fini, sabbia, ghiaia, ecc.), dall'area da dragare (area esposta a venti e correnti, aree chiuse, ecc.) e dalle quantità totali da dragare. Sono disponibili le stesse tecniche di dragaggio utilizzate in Francia, cioè il dragaggio idraulico (in funzionamento stazionario o in marcia) o il dragaggio meccanico.

Come per le quantità dragate, l'assenza di un organismo centrale (fino al 2016) che raccolga informazioni sull'organizzazione del dragaggio sul territorio, non permette di sapere con precisione quale tecnica sia principalmente utilizzata.

Per quanto riguarda la destinazione del materiale di dragaggio, fino al 1999 l'uscita in mare era l'unica opzione disponibile per la gestione dei sedimenti provenienti dalle attività di dragaggio nei porti di piccole e medie dimensioni sparsi in tutta Italia. Non sono noti con precisione i dati sui sedimenti recuperati con il ripascimento o altri mezzi, come la deposizione in bacini di contenimento.

Negli ultimi anni c'è stata una crescente attenzione alla conservazione dell'ambiente marino italiano e una tendenza alla gestione ecosostenibile delle attività costiere.

Nell'ALLEGATO 10 è presentato uno schema sintetico per il riutilizzo dei sedimenti dragati in Italia, con l'indicazione delle norme vigenti.

5.3) SPECIFICITÀ DEI SEDIMENTI MEDITERRANEI : FIBRE DI POSIDONIA

Oltre al problema ricorrente della contaminazione dei sedimenti marini mediterranei, vi è la presenza in quantità variabili (ma spesso consistenti) di foglie o fibre derivanti dal degrado delle praterie di Posidonia. Questi residui organici si trovano mescolati nelle diverse frazioni granulometriche del materiale dragato e causano difficoltà di gestione quando vengono depositati sul terreno.

La specie *Posidonia oceanica* è una pianta da fiore acquatico (fanerogame marine) endemica del Mar Mediterraneo presente su gran parte delle sue coste tra la superficie e i 45 metri di profondità. Le posidonie formano vaste praterie (prati sottomarini) che occupano una superficie compresa tra l'1 e il 2 % del fondale del Mediterraneo, cioè da 3,5 a 3,7 milioni di ettari (Rico-Raimondino, 1995 ; Pasqualini, 1997).

Questa pianta di angiosperma marina (cioè di fiori) è costituita da steli striscianti o eretti, chiamati rizomi, di solito sepolti nel sedimento. I rizomi terminano in gruppi di 4-8 foglie (detti mazzi) lunghi 20-80 cm e larghi circa 1 cm. I rizomi hanno anche radici, che possono estendersi fino a 70 cm nel sedimento. Le nuove foglie si formano tutto l'anno e vivono in media tra i 5 e gli 8 mesi.

La « matre » dei posidonia è l'insieme costituito dai rizomi, dalle scaglie (o picciolo), dalle radici e dal sedimento che riempie gli interstizi. Ad eccezione delle foglie, le parti morte della pianta sono molto poco putrescibili, il che spiega la loro lunghissima conservazione (diversi secoli o millenni) all'interno della matre (Boudouresque et al., 2006). La stuoia funge da ancoraggio per l'erbario, ma svolge anche un ruolo importante nella stabilizzazione dei letti.

Le palline che si trovano spesso sulle spiagge sono chiamate "aegagropiles" (o "palle di mare"). Misurano da 2 a 10 cm di diametro e sono formati dalla sfilacciatura delle fibre delle foglie morte della pianta, agglutinate con frammenti di rizoma. Dopo il degrado delle foglie morte, la risacca le agglomera in palline sulle secche, di fronte alle spiagge.

La dinamica delle praterie di Posidonia oceanica è fortemente influenzata da tutta una serie di fattori abiotici (idrodinamica, morfologia subacquea, luce, salinità, temperatura, nutrienti) e biotici (competizione con altre macrofite, pascolo di specie erbivore). In autunno, l'aumento della massa di foglie morte (tasso di caduta delle foglie, dimensioni delle foglie) si combina con le condizioni meteorologiche (aumento dell'idrodinamica, tempeste di equinozio) per trasportare grandi quantità di questo materiale vegetale morto verso le spiagge (Boudouresque e Meinesz, 1982 ; Pergent et al., 1997 ; Walker et al., 2001).

Il ciclo naturale di crescita della posidonia, unito alle varie degradazioni subite dai letti, provoca così il rilascio di una grande quantità di foglie e fibre opache che finiscono, sotto l'azione del moto ondoso e delle correnti marine, sia arenandosi sulla costa per accumularsi e formare letti di posidonia, sia mescolandosi direttamente all'interno dei sedimenti, che diventeranno poi il loro ultimo ricettacolo.

- STATO DI REGOLAMENTAZIONE DELLA POSIDONIA :

In Francia, la Posidonia (anche quella morta) è tra le specie marine protette (legge del 10 luglio 1976 sulla protezione della natura ; ordinanza interministeriale del 19 luglio 1988 sull'elenco delle specie vegetali marine protette ; articolo L.411-1.2 del Codice dell'ambiente).

Le praterie di posidonia sono indicate come "Habitat Prioritari di Interesse Comunitario la cui conservazione richiede la designazione di Zone Speciali di Conservazione (ZSC)" nella Direttiva Europea sugli Habitat Naturali (92/43/CEE). Questo elenco delle praterie di Posidonia come ZSC le classifica automaticamente come siti Natura 2000. La posidonia è anche protetta dalla Convenzione di Barcellona del 1976 (adottata nel 1995) e dalla Convenzione di Berna del 1979 (adottata nel 1996).

In Italia, le autorità hanno istituito una procedura per garantire la protezione delle praterie di Posidonia. Si tratta della legge "Nuovi interventi in campo ambientale" (n°426 - 9/12/98) e più recentemente della legge "Disposizioni in campo ambientale" (n°93 - 23/3/2001). Questi testi, anche se molto generali, si rivolgono comunque alle praterie di Posidonia con, in particolare, disposizioni finanziarie per la realizzazione di studi e programmi per la protezione e la mappatura di P. oceanica. La Regione Liguria, da parte sua, ha adottato nel 2001 il regolamento per la valutazione dell'impatto dei progetti di sviluppo sui siti di importanza comunitaria (Direttiva Habitat), che comprendono i fondali di P. oceanica (Deliberazione di Giunta Regionale n. 646 dell'8 giugno 2001).

La posidonia (e le praterie che costituiscono) sono quindi un obiettivo importante per la protezione e la gestione dell'ambiente marino mediterraneo. Tuttavia, nonostante la sua protezione, questo ecosistema è ancora soggetto a molteplici perturbazioni che ne stanno causando la regressione in tutta la regione mediterranea. Così, nel corso del secolo, le stime della perdita di superficie di pascolo variano dal 10% al 50% (Thomas et al., 2005 ; Gonzalez-Correa et al., 2007 ; Deter et al., 2013 ; Marbà et al., 2014). L'aumento delle attività ricreative, i ripetuti e concentrati ormeggi selvaggi inducono il degrado meccanico e lo strappo delle foglie e dell'opaco. La moltiplicazione dello sviluppo costiero, il declino della qualità dell'acqua e l'introduzione di specie invasive concorrenti (ad esempio *Caulerpa taxifolia*) contribuiranno anche al declino delle praterie di Posidonia (Boudouresque et al., 2009).

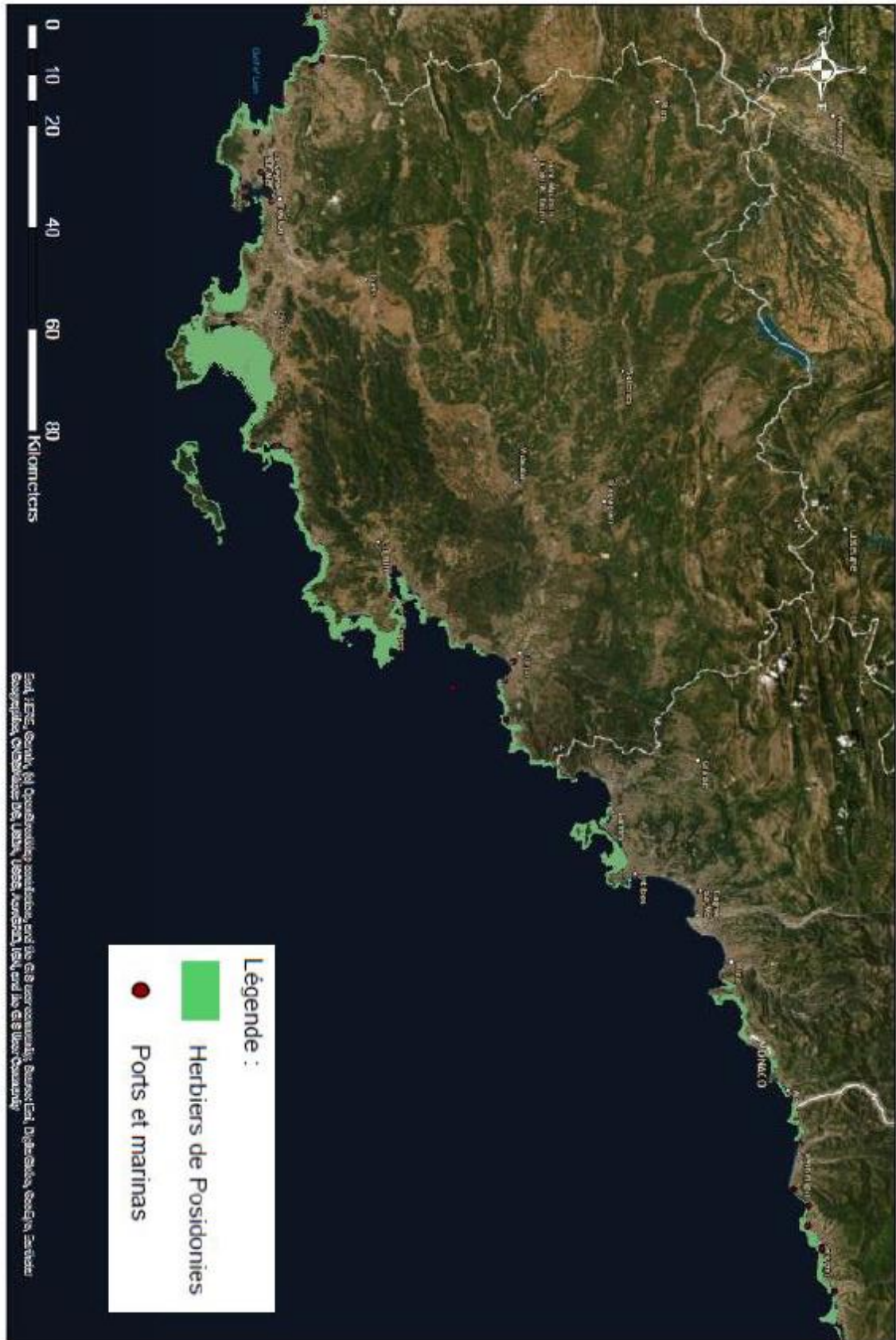
- **POSIZIONE DEI PRATI DI POSIDONIA NELL'AREA DEL PROGETTO SEDITERRA :**

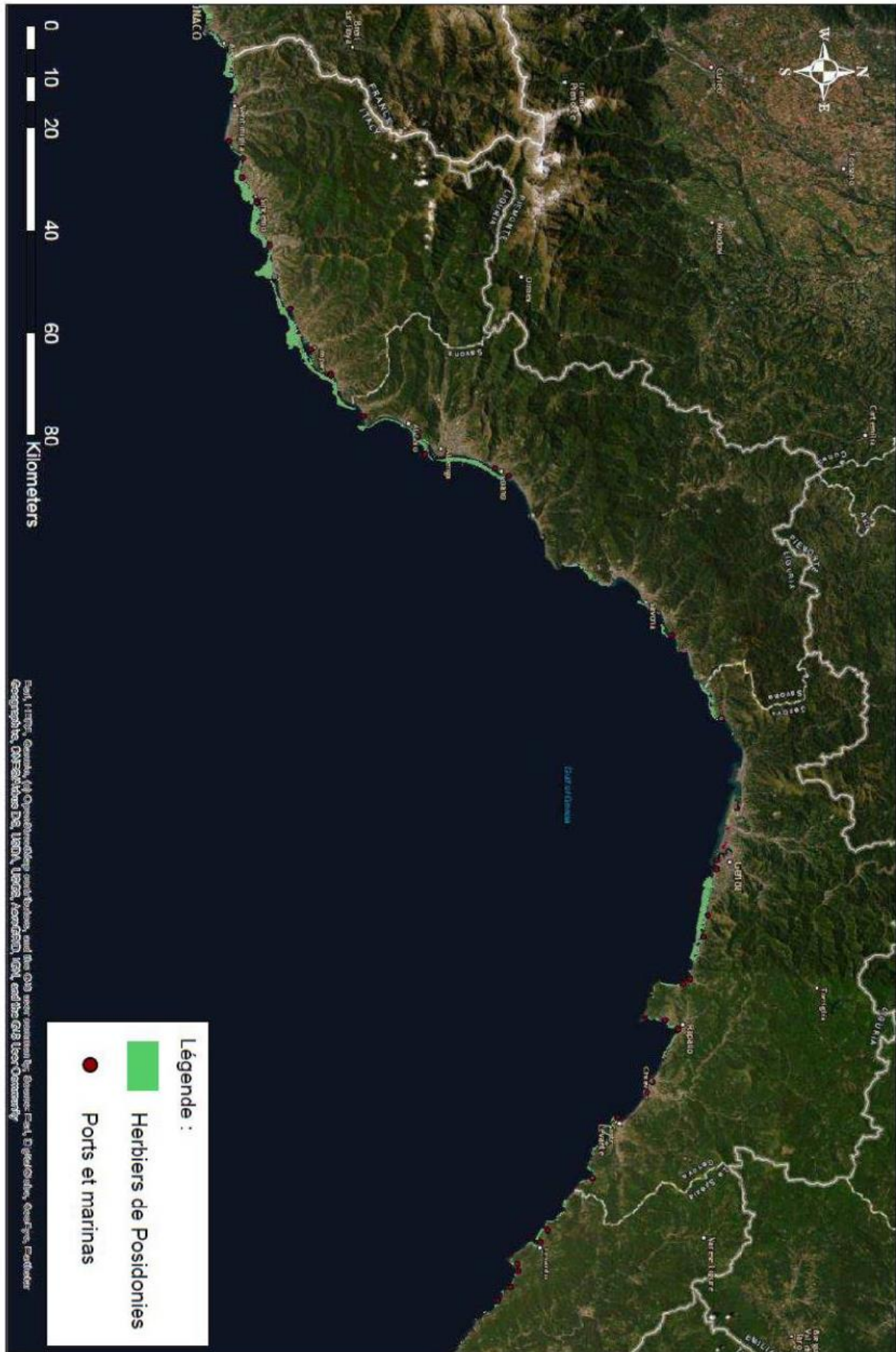
Le seguenti mappe mostrano la posizione dei prati di Posidonia Oceanica nel territorio di Marittimo Francia-Italia. Sono stati estratti dalla piattaforma EMODnet (European Marine Observation and Data Network) :

<https://www.emodnetseabedhabitats.eu/access-data/launch-map-viewer>

Il litorale mediterraneo è fortemente artificializzato da porti e sviluppi costieri (dighe, pennelli, frangiflutti, ecc.). Le coste più interessate sono quelle delle Alpi Marittime con 1 porto o rifugio ogni 3,1 km, la provincia di Genova, la Liguria e parte della Sardegna (Boudouresque et al., 2006).

Le praterie di Posidonia coprono tra i 30.000 e i 40.000 km² del Mediterraneo. La parte nord-occidentale del bacino del Mediterraneo è ben rappresentata con erbari notevoli per la loro superficie e lo stato di conservazione. Il Nord-Est della Sardegna sembra essere il settore più rappresentativo con una densità molto elevata di porti e porticcioli vicino alle praterie di Posidonia. Altre regioni potenzialmente interessate dal problema della Posidonia nei sedimenti sono : la costa ligure tra Ventimiglia e Loano (Liguria occidentale, IT), la regione di Livorno (Toscana, IT), la regione di Tolone (Var, FR).







- **GESTIONE A TERRA DEGLI RESIDUI DI POSIDONIA :**

La presenza, in quantità variabile, di residui di Posidonia nei sedimenti dragati provoca ulteriori difficoltà di gestione che si aggiungono ai problemi già esistenti legati alla gestione a terra dei "rifiuti" dei sedimenti. Ad esempio, questi residui organici possono : aumentare considerevolmente il volume dei sedimenti da gestire ; disturbare la loro disidratazione e il biorisanamento ; limitare il loro recupero diretto e complicare le loro possibilità di trattamento prima del recupero. Inoltre, lo speciale status normativo di questi residui costituisce un ostacolo alla ricerca e allo sviluppo di una specifica attività economica in grado di offrire soluzioni gestionali efficaci e sostenibili.

Un passo importante legato alla gestione di questi residui è la loro separazione dai sedimenti (principalmente attraverso processi di separazione fisica come la vagliatura, la separazione per differenza di densità e flottazione, l'idrociclonazione, ecc.) I processi utilizzati devono permettere di recuperare un sedimento (e in particolare le sue frazioni recuperabili come le sabbie) privo di fibre. Una volta separato dal sedimento, resta da trovare uno sbocco in grado di "assorbire" le quantità in gioco. Anche per il semplice stoccaggio in discarica, le proprietà fisico-chimiche (ad es. Degradabilità ; contenuto di sale) e lo status giuridico delle fibre di Posidonia causano difficoltà di gestione operativa.

Sono state tentate diverse prove di recupero su scala internazionale (ad esempio : Produzione di isolamento ; Compost - fertilizzanti o terreno di coltura ; Mezzi di controllo dell'inquinamento dell'acqua ; Produzione di compositi ; Sostituti di fibre polimeriche ; Recupero energetico - Produzione di metano - Produzione di bioetanolo ; etc.) ma nessuna delle applicazioni testate ha permesso di proporre una soluzione che potesse essere trasposta su scala industriale.

Lo studio bibliografico realizzato nel progetto Sediterra (vedi deliverables T1.4.7 - T1.5.8 - Collettività di Corsica) non ha quindi permesso di evidenziare una soluzione pratica rilevante a questo problema di gestione dei sedimenti ricchi di fibre di posidonia. I test di separazione e di recupero effettuati sui sedimenti del progetto, in particolare quelli di Centuri (Corsica) e Tolone - ricchi di fibre vegetali - dovrebbero permettere di trarre conclusioni sulla fattibilità.

VI. SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI STUDIATI NEL PROGETTO

Deliverable T2.1.1 del progetto SEDITERRA è il rapporto di sintesi delle attività di caratterizzazione ambientale e geotecnica preliminare dei sedimenti raccolti nei porti di Tolone, Genova, Livorno, Centuri (Corsica), nel canale "Navicelli", che collega Pisa a Livorno, e nel porto di Cagliari.

Lo scopo della caratterizzazione è stato quello di definire la qualità dei materiali al fine di valutare il loro potenziale utilizzo come materie prime secondarie e di stabilire le quantità di sedimenti per le successive attività pilota di lavorazione e recupero.

La fase di campionamento e la fase di caratterizzazione analitica dei parametri fisico-chimici ed ecotossicologici dei sedimenti sono state effettuate contemporaneamente dai laboratori ISPRA e INSA in modo incrociato e condiviso.

In ciascuno dei 6 siti portuali associati al progetto SEDITERRA sono stati individuati 3 diversi punti di campionamento (ad eccezione del porto di Genova dove è stato prelevato un solo campione), dai quali sono state raccolte aliquote di materiale omogeneizzato che sono state inviate ai laboratori ISPRA e INSA e al Servizio Geologico della Città Metropolitana di Cagliari.

6.1) SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DAI PARTNER FRANCESI

I sedimenti studiati nel progetto sono stati analizzati applicando le procedure di caratterizzazione francese nell'ambito dell'individuazione delle condizioni di gestione dei sedimenti dragati.

Queste analisi e prove sono state effettuate su campioni di sedimenti provenienti da sei diverse fonti nell'area di Marittimo (Tolone, Genova, Livorno, Centuri (Corsica), Pisa (Canale dei Navicelli) e Cagliari), la maggior parte di questi siti di campionamento è stata sottoposta a tre distinte operazioni di campionamento. In totale sono stati prelevati 16 campioni di sedimenti per la caratterizzazione.

Due siti di campionamento si trovano in Francia (Centuri in Corsica e Tolone nel Var) e quattro siti di campionamento in Italia (Cagliari, Pisa, Genova, Livorno).

La Francia applica, a priori, per i sedimenti gestiti a terra, la regola generale per definire la natura pericolosa o non pericolosa dei rifiuti, basata sulla trascrizione nel diritto francese della direttiva europea 2008/98/CE del 19 novembre 2008.

La caratterizzazione fisico-chimica ed ecotossicologica del sedimento, effettuata secondo l'approccio attualmente in vigore in Francia (da parte di PROVADEMSE, un fornitore di servizi di INSA LYON), mostra che solo il sedimento di Livorno ha le caratteristiche di un rifiuto pericoloso per quanto riguarda la proprietà di pericolosità HP14 "Ecotossico". Di conseguenza, ad eccezione del sedimento di Livorno, tutti i sedimenti studiati hanno potuto essere recuperati senza trattamento preventivo. Il recupero del sedimento di Livorno richiede un'operazione di trattamento preliminare per eliminarne la pericolosità dell'HP14.

L'applicazione ai sedimenti delle sei origini del protocollo europeo di prova di lisciviazione EN 12457-2 permette di posizionare questi sedimenti in relazione alle condizioni di accettabilità negli impianti di stoccaggio da un lato e di recupero nelle tecniche stradali dall'altro.

Tutti e sei i sedimenti rientrano nella categoria dei rifiuti potenzialmente idonei per un impianto di stoccaggio di rifiuti non pericolosi, ma non direttamente idonei per un impianto di stoccaggio di rifiuti inerti. I sei sedimenti di SEDITERRA, previa verifica della loro variabilità, sono conformi al Livello 1 di caratterizzazione ambientale dei materiali alternativi utilizzati nella costruzione di strade ("Guida SETRA marzo 2011").

L'applicazione della prova europea di percolazione a colonna CEN/TS 14405 ai quattro sedimenti selezionati per le prove di recupero (Tolone, Centuri, Cagliari, Livorno) mostra che nessuno dei quattro sedimenti selezionati è conforme, allo stato attuale, alle condizioni di livello 2 di caratterizzazione ambientale per l'utilizzo nella costruzione di strade.

Tuttavia, la guida SETRA ("Acceptability of alternative materials in road techniques - Environmental assessment, March 2011") lascia la possibilità di giustificare l'accettabilità dei sedimenti nelle tecniche stradali sulla base di uno studio specifico che richiede la realizzazione di lisimetri o schede di prova.

Infine, ulteriori prove per caratterizzare il comportamento di lisciviazione dei sedimenti sotto l'influenza del pH, effettuate secondo il protocollo europeo EN 14429, mostrano che i quattro campioni testati mostrano tutti una sensibilità ad un contesto di base, che dovrebbe portare ad una particolare attenzione riguardo al rischio di solubilizzazione degli elementi contenuti nei sedimenti quando sono incorporati in materiali a base di leganti idraulici o pozzolanici.

6.2) SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DAI PARTNER ITALIANI

Il documento italiano (Deliverable T2.1.1) presenta i metodi e i risultati analitici ottenuti dai partner italiani.

Le quantità da analizzare sono state selezionate sulla base delle attività analitiche previste e inviate con documentazione transfrontaliera in conformità al Regolamento (CE) n. 1013/2006 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 giugno 2006.

Fase di caratterizzazione analitica : i laboratori ISPRA hanno effettuato analisi fisico-chimiche ed eco-tossicologiche su ciascuno dei campioni prelevati.

Di seguito sono riportati i risultati dei dati fisico-chimici e biologici che hanno permesso di identificare le aree di campionamento dei sedimenti per le successive fasi pilota di trattamento e recupero :

Siti di prelievo scelti	Parametri risultati critici (rispetto a riferimenti normativi e/o caratteristiche standard di siti portuali)
CENTURI 1	TBT: 355 ng TBT g ⁻¹ (d.w.) Indice HC (C10-C40): 120,77 µg/g (p.s.) Test sviluppo embrionale del Riccio di mare <i>Paracentrotus lividus</i> : tossicità' ALTA
LIVORNO 1	Indice HC (C10-C40): 33,75 µg/g (p.s.) Test sviluppo embrionale del Riccio di mare <i>Paracentrotus lividus</i> : tossicità' MEDIA
CAGLIARI 1	Contaminazione da Zinco, Cadmio, Piombo. Indice HC (C10-C40): 127,99 µg/g (p.s.) Test sviluppo embrionale del Riccio di mare <i>Paracentrotus lividus</i> : tossicità' ALTA
TOLONE 1	Contaminazione da Nichel. Indice HC (C10-C40): 92,19 µg/g (p.s.) ΣIPA: 1278,86 ng/g (p.s.)
NAVICELLI 1	Contaminazione da Cromo, Zinco, Rame, Cadmio. TBT: 1180ng TBT g ⁻¹ (d.w.): Indice HC (C10-C40): 204,20 µg/g (p.s.) ΣIPA: 906,69 ng/g (p.s.) Test sviluppo embrionale del Riccio di mare <i>Paracentrotus lividus</i> : tossicità' MOLTO ALTA Test MTX <i>Vibrio fisheri</i> : Tossicità MODERATA
GENOVA	Indice HC (C10-C40): 63,81 µg/g (p.s.) ΣIPA: 144,58 ng/g (p.s.) Test sviluppo embrionale del Riccio di mare <i>Paracentrotus lividus</i> : tossicità' MODERATA

6.3) FASE DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nella parte dedicata alla caratterizzazione geotecnica sono state confrontate le norme tecniche francesi e quelle italiane che regolano la valutazione della qualità delle terre in rapporto al loro possibile utilizzo nella costruzione o manutenzione di opere stradali.

Sulla base delle caratteristiche dei sedimenti sono state eseguite le prove necessarie alla "classification selon nature" della normativa francese NF P11-300 e alla classificazione italiana CNR UNI 10006.

Le analisi sono state effettuate presso il Laboratorio Geotecnico del Servizio Geologico della Città Metropolitana di Cagliari, partner della Regione Sardegna.

Per ciascun campione è stata ricostruita la curva granulometrica e valutata la "suscettività all'acqua" attraverso la determinazione dei limiti di consistenza (Limite di Liquidità ; Limite di Plasticità), il calcolo dell'Indice di Plasticità (IP) e dell'indice di Gruppo (IG).

Utilizzando la NF P11-300 e la CNR UNI 10006 è stato formulato un giudizio di utilizzabilità, in campo stradale, dei sedimenti prelevati nei differenti porti.

Le condizioni di “costipabilità” (optimum proctor) dei singoli campioni sono state valutate attraverso la prova Proctor nella modalità modificata (AASHO mod.). Per ciascun campione è stata ricostruita la curva % umidità – densità secca e stimato il valore di densità secca massima/umidità% ottima.

La determinazione dell'indice di portanza CBR, di ogni campione, è stata effettuata su ciascuno dei provini Proctor. Si dispone in questo modo, oltre che del valore CBR% in corrispondenza del valore di densità massima Proctor mod., anche di una misura della portanza per differenti % umidità possedute dal terreno.

In allegato al documento “Livabile T2.1.1” sono riportati i dati analitici raggruppati in tabelle di raffronto secondo le classificazioni francese e italiana, i certificati di prova, il giudizio sulla qualità geotecnica dei singoli campioni sulla base dei criteri NF P11 -300 e CNR UNI 10006, la documentazione fotografica delle fasi di campionamento e di prova e le tabelle di raffronto tra le analisi condotte da ISPRA e da INSA –PROVADEMSE.

Nella tabella che segue la sintesi dei risultati :

UBICAZIONE	NF P11 - 300	CNR UNI 10006	Giudizio CNR UNI 10006	Classificabili come utilizzabili per rilevati e couche de forme NF P11- 300
PORTO DI TOLONE 1	A1	A4	MEDIOCRE	NO
PORTO DI TOLONE 2	A1	A4	MEDIOCRE	NO
PORTO DI TOLONE 3	A1	A4	MEDIOCRE	NO
PORTO DI GENOVA	B1	A2-4	BUONO	SI
CANALE NAVICELLI PISA-LIVORNO 1	A1	A7-5	SCADENTE	NO
CANALE NAVICELLI PISA-LIVORNO 2	A1	A4	MEDIOCRE	NO
CANALE NAVICELLI PISA-LIVORNO 3	A2	A7-5	SCADENTE	NO
CORSICA 1	D1	A3	BUONO	SI
CORSICA 2	D1	A1-b	BUONO/OTTIMO	SI
CORSICA 3	D1	A1-b	BUONO/OTTIMO	SI
PORTO LIVORNO 1	A1 h	A4	MEDIOCRE	NO
PORTO LIVORNO 2	B5 h	A1-b	BUONO/OTTIMO	SI
PORTO LIVORNO 3	A1	A4	MEDIOCRE	NO
PORTO CANALE CAGLIARI 1	B5	A2-4	BUONO	SI
PORTO CANALE CAGLIARI 2	B5	A2-4	BUONO	SI
PORTO CANALE CAGLIARI 3	A1	A4	MEDIOCRE	NO

6.4) CREAZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO (SIG) ONLINE

Un Sistema Informativo Geografico (o SIG) è un sistema informativo progettato per raccogliere, archiviare, elaborare, analizzare, gestire e presentare dati spaziali e geografici sotto forma di mappe digitali.

Il GIS (Geographic Information System) realizzato nell'ambito del progetto SEDITERRA è consistito nella produzione e nella disponibilità on-line di dati cartografici per la caratterizzazione dei depositi di sedimenti presenti nell'area di Marittimo (Francia-Italia). Il database creato è stato utilizzato su una piattaforma web di tipo GIS (Geographic Information System).

I dati utilizzati per creare il GIS sono stati raccolti durante il progetto SEDITERRA dai partner, in particolare dal dipartimento del Var per i dati francesi e dalla Regione Sardegna per i dati italiani. È stata inoltre sviluppata la collaborazione con i partner del progetto Interreg Marittimo SEDRIPORT.

Lo strumento utilizzato in questo contesto è ArcGIS Online® i cui diritti di accesso sono supportati dalla comunità corsa.

I codici di accesso utilizzati per visualizzare il lavoro prodotto sono riservati ai partner del progetto e ai finanziatori.

VII. SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DAI TRATTAMENTI E DAI TEST DI VALORIZZAZIONE IMPLEMENTATI NEL PROGETTO

I sedimenti utilizzati per i test di trattamento e di recupero sono stati raccolti presso i siti dei partner, ovvero :

- Porto di Centuri (Corsica - Francia)
- Vasca di stoccaggio a Livorno (Toscana - Italia)
- Vasca di stoccaggio a Cagliari (Sardegna - Italia)
- Centro di trattamento (CPEM) a La Seyne/sur mer (Var - Francia)
- Porto di Genova (Liguria - Italia)
- Canale Navicelli a Pisa (Toscana - Italia)

Va notato che non tutti questi diversi lotti di sedimenti, derivanti da operazioni di dragaggio, non sono stati utilizzati per realizzare tutti gli esperimenti effettuati nel progetto SEDITERRA.

Le prove di trattamento dei sedimenti mediante separazione granulometrica e lavaggio del suolo sono state effettuate presso ISPRA Livorno sui sedimenti provenienti da Livorno e Cagliari, e presso La Seyne/mer sui sedimenti provenienti da Centuri e sui sedimenti prelevati dal CPEM ENVISAN - successivamente denominato sedimento di Tolone (vedi deliverable T2.3.3).

Le prove di trattamento con mycoremediation sono state condotte su tutti i sedimenti disponibili : Genova, Livorno, Cagliari, Centuri, Tolone e il Canale dei Navicelli a Pisa (vedi deliverable T2.3.4).

Le prove di trattamento di disidratazione sono state effettuate sui sedimenti del Canale dei Navicelli a Pisa (vedi deliverable T2.3.5).

I test di calcinazione (pirogassificazione) sono stati effettuati sulle fibre vegetali estratte dal sedimento di Tolone (vedi il deliverable T2.3.6).

Infine, sono state effettuate prove pilota di valorizzazione a La Seyne/mer su sedimenti provenienti da Centuri e Tolone, e a Livorno su sedimenti prelevati da Cagliari e Livorno (vedi il deliverable T2.4.7).

7.1) TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI MEDIANTE SEPARAZIONE GRANULOMETRICA E LAVAGGIO DEL SUOLO - ISPRA LIVOURNE (DELIVERABLE T2.3.3)

Presso la sede dell'ISPRA di Livorno è stata allestita un'area sperimentale dedicata all'applicazione del trattamento, sia su scala pilota che di laboratorio.

- PRINCIPI E OBIETTIVI DEL TRATTAMENTO

L'obiettivo principale del processo operato dall'impianto è separare quantitativi sperimentali di sedimento marino nelle diverse frazioni granulometriche che lo costituiscono, in modo da recuperare la componente sabbiosa, cioè la parte di sedimento solitamente meno contaminata e riutilizzabile. Secondo quanto riportato in letteratura, le granulometrie di taglio su cui si opera la separazione vanno dai 63 a 40 μm , dimensioni che rispondono ad esigenze di tipo tecnologico ed economico e ad esigenze relative al contenuto di inquinante che le sabbie possono contenere.

- MATERIALI E METODI DI TRATTAMENTO

La separazione della sabbia può avvenire tramite una classificazione per via umida del sedimento, classificazione che in un mezzo fluido è basata sulla velocità limite di spostamento dei grani in un campo di forze gravitazionali (classificatori a sedimentazione) e/o in un campo di forze centrifughe (idrocycloni). La frazione fine del sedimento (più contaminata) viene avviata alla fase di dewatering mentre le acque di processo sono raccolte in appositi contenitori ed idoneamente smaltite da ditte autorizzate.

L'impianto sperimentale è costituito dalle seguenti sezioni/moduli :

1. Modulo per la rimozione di materiali a basso peso specifico, quali posidonia oceanica e Frammenti di plastica
2. Vibrovagliatura
3. Idrocycloni
4. Celle di attrizione
5. Classificatore a spirale

Ogni prova sperimentale di separazione meccanica nelle diverse frazioni granulometriche ha visto l'utilizzo di circa 4mc di sedimento (corrispondenti a circa 6 tonnellate).

L'acqua di processo, preventivamente stoccata in apposite cisterne di raccolta del volume di 2.5m³, segue un ciclo chiuso, senza scarichi durante il processo di trattamento. Difatti l'acqua utilizzata per il lavaggio dei sedimenti è stata raccolta solamente a valle del trattamento in apposito silos a tenuta stagna del medesimo volume di 2.5 m³ e in seguito smaltita come rifiuto liquido secondo le disposizioni della normativa vigente.

Le frazioni uscenti dall'impianto (solide e liquide) sono state campionate miscelando più aliquote raccolte durante il funzionamento dell'impianto ed avviate ad attività analitica, attribuendo ai campioni le seguenti sigle :

TQ = SEDIMENTO TAL QUALE

SG = SABBIE GROSSOLANE

SF = SABBIE FINI

PE = PELITI

Alla fine del processo di trattamento le frazioni di sedimento recuperate, separate per classi granulometriche, sono state analizzate dal punto di vista chimico, fisico e biologico per la valutazione qualitativa dei materiali e l'individuazione delle opzioni di gestione e riutilizzo.

- **PRINCIPALI CONCLUSIONI FORMULATO DA ISPRA LIVORNO**

Il soil washing sfrutta la tendenza delle sostanze inquinanti a concentrarsi maggiormente nella frazione fine, a causa della sua maggiore superficie specifica, quindi maggiormente interessata ai fenomeni di adsorbimento riguardanti sia la sostanza organica, sia i contaminanti stessi.

Rispetto alla matrice sabbiosa, costituita principalmente da silice e carbonati, la frazione limoargillosa è caratterizzata tendenzialmente da minerali argillosi, ossidi e idrossidi di ferro e alluminio e materiale organico, tutte specie chimiche molto attive nei processi di scambio ionico e complessazione.

Dal processo di soil washing si è ottenuta una sabbia caratterizzata da una buona qualità ambientale, idonea per le attività di riutilizzo indicate dagli altri partner del progetto SEDITERRA, e una frazione fine quale principale sede di destinazione nella migrazione dei contaminanti.

L'esecuzione di test di cessione condotti sulle acque di processo e sull'eluato dei sedimenti è stata ritenuta utile per analizzare la mobilità degli inquinanti in matrici complesse come i sedimenti marini, al fine di capire come possa variare il rilascio di questi elementi nell'ambiente marino-costiero e nel riutilizzo in ambito terrestre.

Oltre che per la valutazione qualitativa dei sedimenti, tali test sono stati utili anche per valutare la capacità di trasferimento dei contaminanti dal sedimento alle acque di processo, simulando i potenziali impatti che le differenti opzioni di gestione e riutilizzo (es. Sottofondi stradali, ripascimenti arenili, materiali edili, etc...) potrebbero avere sull'ambiente.

Oltre alla concentrazione di partenza degli elementi chimici indagati nei sedimenti e alla grande variabilità ambientale del sito di prelievo dei sedimenti trattati, alcuni fattori chimico-fisici, quali pH, potenziale Redox, solubilità, temperatura, concentrazioni di Ossigeno e Carbonio organico, interagendo tra loro potrebbero influire sui processi di mobilità degli inquinanti e creare alcune difficoltà nella valutazione qualitativa dei diversi parametri indagati e quindi del processo di trattamento utilizzato. Tali fattori interferenti potrebbero essere oggetto di ulteriore approfondimento in successive sperimentazioni.

La "relazione conclusiva sulle attività di monitoraggio a carico di ARPAT" si trovano le considerazioni espresse da ARPAT che, sintetizzando, denotano nelle acque di processo "una generale tendenza ad una migrazione degli inquinanti monitorati, con aumento della loro concentrazione" e nelle frazioni solide recuperate "un generale aumento della concentrazione degli inquinanti monitorati nelle frazioni pelitiche rispetto alle frazioni sabbiose".

Il confronto con i valori chimici di riferimento per aree limitrofe con bassa contaminazione e con frazione pelitica paragonabile, hanno evidenziato una situazione di partenza (TQ) non particolarmente compromessa.

Applicando il processo di separazione meccanica si evidenzia una concentrazione dei metalli nelle frazioni più fini (PE) a favore delle sabbie grossolane (SG), che risultano fondamentalmente non più contaminate e quindi riutilizzabili : i valori riscontrati risultano generalmente inferiori a L1, ad eccezione del cadmio per il quale peraltro non è evidente un'associabilità alla composizione granulometrica.

Al fine del riutilizzo dei materiali recuperati, l'attenzione va comunque posta ai processi di trasferimento e solubilizzazione di alcuni elementi chimici, poiché si è registrato nelle prove condotte l'aumento di concentrazione di alcuni metalli nelle acque di processo, rispetto a quelle in entrata, a testimonianza del passaggio di alcuni metalli dal sedimento alle acque.

La valutazione delle concentrazioni dei composti organostannici evidenziano valori diversi tra Livorno e Cagliari. In particolare per Livorno : partendo da livelli superiori a L1, nelle peliti si arriva a valori maggiori di L2, ottenendo comunque frazioni sabbiose SG e SF riutilizzabili, poiché si ha un abbattimento della contaminazione.

Per quanto riguarda la contaminazione degli idrocarburi, si pone l'attenzione solamente sulle concentrazioni degli idrocarburi pesanti (C>12) che risultano superiori al valore "L2" in tutte le frazioni ma comunque con valori trascurabili nelle sabbie grossolane. Non vi è evidenza di trasferimento dal sedimento alle acque di processo.

Per gli IPA di Cagliari, nonostante nelle acque di processo non si rilevino particolari aumenti della concentrazione dei cogeneri risultati a concentrazioni più elevate ma essendo quest'ultimi sostanze pericolose prioritarie, particolare attenzione deve esser data alla gestione delle frazioni sabbiose, nonostante l'ottima efficienza di abbattimento da parte dell'impianto pilota riguardo ad altri contaminanti.

Gli idrocarburi pesanti non sono indice di preoccupazione, anche derivante dal fatto che essendo una contaminazione aspecifica andrebbe indagato, con ulteriori analisi, a quali composti sia veramente imputabile l'elevato contenuto.

Dalle indagini relative al contenuto di PCB, si rileva una concentrazione degli stessi nelle frazioni pelitiche e rilascio trascurabile dal TQ alla matrice acquosa.

L'impianto pilota ha svolto in maniera efficiente e precisa la propria funzione di separazione meccanica dei sedimenti nelle diverse classi granulometriche di cui si compongono. I risultati ottenuti indicano che i sedimenti portuali trattati attraverso l'impianto pilota possono fornire materiali idonei e di buona qualità chimico-fisica : sono quindi possibili interventi di riutilizzo delle frazioni sabbiose SG recuperate.

- SINTESI GENERALE DI ISPRA LIVORNO

L'impianto pilota per il trattamento sperimentale dei sedimenti ha svolto in maniera efficiente e precisa la propria funzione di separazione meccanica dei sedimenti nelle diverse classi granulometriche di cui si compongono.

I risultati ottenuti indicano che i sedimenti portuali trattati attraverso l'impianto pilota possono fornire materiali idonei e di buona qualità chimico-fisica : sono quindi possibili interventi di riutilizzo delle frazioni sabbiose grossolane [SG] recuperate (es. sottofondi stradali, ripascimenti arenili, materiali edili, etc.).

Dal processo di soil washing si è ottenuta una sabbia caratterizzata da una buona qualità ambientale, idonea per le attività di riutilizzo e una frazione fine quale principale sede di destinazione nella migrazione dei contaminanti.

Con un materiale di partenza tale quale [TQ] di buona qualità ambientale, anche la frazione sabbiosa fine [SF] potrebbe essere riutilizzata ; la residua frazione pelitica [PE] rappresenta un esiguo volume di sedimento da smaltire rispetto alla totalità del sedimento tal quale, con benefici economici e ambientali.

Tramite l'esecuzione dei test di cessione è stata valutata, inoltre, la capacità di trasferimento dei contaminanti dal sedimento alle acque di processo, simulando i potenziali impatti che le differenti opzioni di gestione e riutilizzo potrebbero avere sull'ambiente.

E' apparso evidente che sia la concentrazione di partenza degli elementi chimici indagati nei sedimenti, sia la grande variabilità ambientale del sito di prelievo dei sedimenti trattati, anche altri fattori chimico-fisici, quali pH, potenziale Redox, solubilità, temperatura, concentrazioni di Ossigeno e Carbonio organico, interagendo tra loro, influiscono sui processi di mobilità degli inquinanti, apportando ulteriori difficoltà nella valutazione qualitativa dei diversi parametri indagati nonché del processo di trattamento utilizzato. Lo studio di tali fattori interferenti potrebbero essere oggetto di ulteriore approfondimento in successive sperimentazioni, specialmente se applicate a sedimenti marini con livelli di contaminazione di partenza più elevati rispetto a quelli testati all'interno di questo progetto.

Ulteriori esperimenti simili a quelli condotti nell'ambito del progetto SEDITERRA sono necessari e auspicabili al fine di implementare e promuovere il recupero e l'utilizzo dei materiali trattati in opere di riutilizzo benefico.

7.2) TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI CON MYCOREMEDIATION – DISTAV GENOVA (DELIVERABLE T2.3.4)

- PRINCIPI E OBIETTIVI DEL TRATTAMENTO

Nell'ottica di migliorare le caratteristiche chimiche dei sedimenti dragati dai porti per un loro futuro riutilizzo, il DISTAV ((Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita)) dell'Università di Genova ha proposto l'attività pilota di trattamento dei sedimenti tramite mycoremediation. La mycoremediation (attraverso l'uso di micomiceti) fa parte dei trattamenti noti come bioremediation, una alternativa "verde" ai tradizionali metodi di trattamento degli inquinanti presenti nei sedimenti e nelle acque.

Le strategie di bioremediation consistono nella stimolazione e nello sfruttamento di microorganismi componenti dei cicli biogeochimici naturali. Questi microorganismi sono in grado di degradare gli inquinanti organici e bio-immobilizzare quelli inorganici (metalli) attraverso processi biologici che realizzano naturalmente (secrezione di enzimi e acidi organici da parte di microrganismi che possono interagire con gli inquinanti).

- MATERIALI E METODI DI TRATTAMENTO

L'attività di mycoremediation del DISTAV è stata portata a termine sui sedimenti prelevati da 6 aree differenti : porto di Genova, cassa di colmata del porto di Livorno, Canale dei Navicelli di Pisa, cassa di colmata del porto di Cagliari, porto di Centuri e porto di Tolone. Nello specifico, per ciascun sito sono stati campionati 30 kg di sedimento successivamente sottoposti al processo di mycoremediation.

Inizialmente, l'attività ha previsto la caratterizzazione della flora fungina autoctona, presente all'interno di ciascun sedimento. In base alle informazioni contenute in bibliografia, sono state selezionate le specie di microfunghi, individuate all'interno dei sedimenti di ciascuna area, più efficienti nella degradazione dei composti organici e nell'accumulo dei metalli. Infine, le specie indigene selezionate in ciascun sito sono state sfruttate per valutare la capacità di questi microrganismi di diminuire o eliminare gli inquinanti presenti nei sedimenti da cui sono state estratte.

La caratterizzazione della flora fungina è stata svolta al fine di utilizzare i microfunghi naturalmente presenti in ciascuna area senza introdurre nuove specie, in vista della possibile applicazione del protocollo di mycoremediation direttamente in ambiente.

Nello specifico, i sedimenti prelevati dalle casse di colmata (casi di Livorno e Cagliari) sono stati esposti alle condizioni atmosferiche per lunghi periodi di tempo, i sedimenti prelevati nel Canale dei Navicelli di Pisa sono salmastri e i sedimenti del porto di Centuri sono caratterizzati dalla presenza di Posidonia Oceanica.

Ogni campione è stato dapprima omogeneizzato e, successivamente, sono state prelevate le seguenti aliquote di sedimento :

- 5 g per la caratterizzazione micologica del sedimento e quindi per la selezione dei microfunghi per l'attività di mycoremediation
- 215 g per la caratterizzazione fisica del sedimento
- 1.5 kg per la caratterizzazione chimica del sedimento
- 25 kg per svolgere l'attività di mycoremediation (15 Kg per quanto riguarda il porto di Centuri)

I ceppi fungini sono stati isolati dai sedimenti mediante il metodo delle diluizioni in Piastra. Il campione è stato diluito in acqua sterile in proporzione 1:10 (w/v).

In seguito ad agitazione meccanica per 10-20 min, la soluzione ottenuta è stata a sua volta diluita tramite un fattore 10. In ciascuna piastra Petri è stato inoculato 1 mL di sospensione. Infine, le piastre sono state incubate per una settimana al buio a una temperatura di 24 °C. Per favorire la crescita fungina sono stati utilizzati dei terreni di coltura specifici, addizionati con antibiotici in modo da limitare la crescita di ceppi batterici. Settimanalmente sono state contate le colonie fungine e i morfotipi sono stati isolati in colture pure in provetta. A questo punto, mediante approccio polibacico, si è proceduto all'identificazione morfologica e molecolare dei ceppi isolati.

Una volta identificate correttamente tutte le specie trovate, sono state selezionate, in base alla frequenza di isolamento e alle conoscenze bibliografiche, quelle più adatte al mycoremediation test per i contaminanti sia organici che inorganici, per ogni sedimento.

Una volta identificati i pool di specie da utilizzare, sono state effettuate inoculazioni liquide di terreni di coltura impoveriti (a ridotto contenuto di sostanze nutritive) per promuovere la crescita di funghi quanto basta per attivare e stimolare i funghi stessi nel sedimento a degradare e/o accumulare altre sostanze. Per ogni serbatoio è stato preparato un inoculo da 0,5L. Una volta preparato e inoculato con i funghi selezionati, è stato agitato per 4 giorni prima di essere aggiunto al sedimento stesso.

- **PRINCIPALI RISULTATI E PROSPETTIVE FORMULATO DI DISTAV GENOVA**

I saggi di mycoremediation hanno reso evidente come il trattamento fungino sia stato più efficace nell'accumulo dei metalli pesanti, rispetto che nella degradazione dei contaminanti organici. Uno dei principali limiti delle sperimentazioni effettuate è stato quello di lavorare con tassi di contaminazione piuttosto bassi : sia i metalli sia i contaminanti organici erano spesso sotto i livelli di tolleranza normati. La contaminazione su cui effettivamente si è lavorato può definirsi, infatti, residua. Tuttavia, almeno per quanto riguarda i metalli, i risultati sono stati molto incoraggianti e promettenti.

Nella maggior parte dei sedimenti si è avuta una riduzione dei contaminanti e un incremento della concentrazione metallica sulle membrane di feltro inoculate con funghi autoctoni. Trattandosi di organismi viventi, è emerso un certo grado di selettività nell'accumulo metallico : infatti, le specie fungine sono capaci di assorbire meglio determinati metalli rispetto ad altri, e non tutte hanno evoluto la capacità di bioaccumulare. Esistono, infatti, i cosiddetti metalli con funzione biologica che i funghi sanno assorbire poiché decisivi per garantire il buon funzionamento cellulare (es. Fe e Zn), mentre esistono poi i metalli indifferenti che soltanto alcune specie sono capaci di chelare e assorbire grazie all'evoluzione di meccanismi specifici e anche grazie all'adattamento e/o all'esposizione a questi metalli stessi (es. Cr, As, Pb, Hg).

Seguendo la strategia di valutazione ponderata della qualità e della pericolosità dei sedimenti riportata nel D.M. Italiano 173/2016, è stata fatta una valutazione quantitativa dell'efficacia della mycoremediation sui sedimenti trattati.

Considerando il valore limite L1 (il livello chimico di riferimento più basso), prima del trattamento (Tempo 0) i sedimenti di Genova avevano un'alta contaminazione di metalli (rosso), Pisa e Cagliari una contaminazione (HQC) molto alta (nero). Considerando L2 (il più alto livello chimico di riferimento), i sedimenti di Genova avevano una contaminazione assente (bianco), Cagliari una contaminazione media (giallo), e Pisa una contaminazione molto elevata (nero).

Dopo il trattamento (al Tempo 3), c'è stato un miglioramento generale dei sedimenti, ma solo per Genova il miglioramento è corrisposto ad una riduzione della classe di contaminazione per L1 (da alta a media contaminazione).

Per quanto riguarda i sedimenti di Livorno, Centuri e Tolone, non è stato possibile calcolare la pericolosità dei sedimenti in quanto le concentrazioni dei metalli (tra quelli considerati dalla normativa) che superavano i limiti di detezione al Tempo 0 erano troppo pochi e avrebbero dato risultati non significativi. Per quanto riguarda gli IPA, tutti i sedimenti riportavano una contaminazione trascurabile iniziale e quindi la valutazione non è stata applicata.

La valutazione della qualità ha mostrato quindi un miglioramento dei sedimenti dopo la mycoremediation, anche se non tale da abbassare la classe di rischio dei sedimenti a una condizione accettabile per un eventuale riutilizzo.

Ciò potrebbe significare che per alti livelli di contaminazione dei metalli, come nel caso dei sedimenti di Pisa, l'effetto positivo del mycoremediation o il tempo del trattamento non sono stati sufficienti per ottenere un possibile riutilizzo dei sedimenti.

Ciò potrebbe essere dovuto a fattori ambientali esterni o a caratteristiche fisiche dei sedimenti (granulometria, contenuto di sostanza organica, pH, temperatura ambientale, umidità). Pertanto, sarà necessario approfondire questo aspetto nel processo di trattamento e trovare un possibile miglioramento.

La selezione dei ceppi fungini è risultata determinante per l'impiego dei funghi autoctoni, perché essi sono sicuramente i più adattati a vivere e tollerare l'ambiente contaminato oggetto di studio. D'altro canto, esiste la possibilità che i funghi assumano come strategia di sopravvivenza, nei confronti di un determinato contaminante, l'esclusione. Questo fa sì che ciascuna specie sia abile e molto efficiente nell'accumulo di determinati metalli, mentre ne escluda completamente altri.

I saggi di mycoremediation effettuati hanno permesso la caratterizzazione micologica di un particolare ambiente estremo, quello dei sedimenti dragati, di cui ad oggi si hanno ben poche conoscenze.

Inoltre, il lavoro ha permesso la selezione di ceppi fungini marini autoctoni impiegabili in processi di biorisanamento dei sedimenti dragati contaminati grazie alle loro ottime capacità di biodegradazione di sostanze organiche tossiche e, in particolare, di bioconcentrazione di metalli pesanti.

I bassi valori di contaminazione riscontrati in quasi tutti i siti hanno messo in evidenza come i funghi siano potenzialmente impiegabili anche in trattamenti di contaminazioni residue soprattutto metalliche. Lo studio, infatti, di una membrana assorbente porosa su cui il micelio fungino possa facilmente attecchire e crescere rimanendo chimicamente a contatto col substrato sottostante accumulando i metalli anche residuali, rappresenta un interessante e importante obiettivo che potrebbe diminuire notevolmente i costi di smaltimento e stoccaggio dei sedimenti dragati fuori dal Porto, oltre che aggiungere valore e trasformare questi sedimenti in una risorsa in modo del tutto naturale e sostenibile direttamente in situ.

Tale progetto deve ancora essere perfezionato e implementato per favorire il suo utilizzo su ampia scala e direttamente in situ, trasferendo quindi l'attività a una scala reale e non di laboratorio, adattandolo di volta in volta ad ogni tipologia di sedimento da trattare e cercando di renderlo applicabile con qualunque condizione climatica (anche sfavorevole alla sopravvivenza dei funghi).

7.3) TRATTAMENTO DEI SEDIMENTI MEDIANTE DISIDRATAZIONE - NAVICELLI / PROVINCIA DI PISA (DELIVERABLE T2.3.5)

- PRINCIPI E OBIETTIVI DEL TRATTAMENTO

L'attività pilota è consistita nell'effettuare il dragaggio idraulico (mediante pompaggio) di circa 500 m³ di sedimenti, prelevati dal fondo del canale, e di testare l'efficienza e verificare l'impatto ambientale della loro disidratazione (« Dewatering ») attraverso l'utilizzo di geotessili drenanti (« geotubi »). Il monitoraggio ambientale è stato effettuato effettuando una caratterizzazione fisico-chimica delle acque di scarico.

- MATERIALI E METODI DI TRATTAMENTO

I sedimenti sono stati dragati con mezzi idraulici e pompati in 2 geotessili drenanti (dimensioni di ogni geotessile : 4,0 m x 30,0 m x Hr < 1,7 m). La prova è stata effettuata installando l'impianto lungo la riva destra del Canale Navicelli nelle zone di collegamento idraulico del canale fluviale, nel tratto tra l'Incile e la Darsena Pisana.

La posa in opera del sistema è stata preceduta da un'accurata sistemazione morfologica della zona con lo scopo di favorire il corretto drenaggio delle acque di percolazione e al fine di rendere agevole l'accesso all'area di intervento.

I geotessili sono prodotti con caratteristiche di resistenza meccanica adattate al contenimento finale del materiale pompato. Permettono di confinare all'interno la parte solida del materiale dragato, facilitando al contempo il drenaggio dell'acqua presente.

I tubi in geotessile sono dotati di specifici boccaporti di riempimento (diametro minimo DN100) posti ad una distanza di circa 10 m l'uno dall'altro per consentirne il riempimento mediante l'impiego di idonei apparati di pompaggio.

I tubi sono dotati di specifici bocchettoni per consentirne il riempimento con una miscela acqua/sedimento, contenente un massimo di sedimenti del 15% V/V.

Il dragaggio idraulico è stato eseguito con pompa aspirante e refluyente tipo DragFlow (Vedi documentazione fotografica che segue), in tubazione di lunghezza fino 100 m, con portata di miscela fango/acqua compresa nell'intervallo 150-300 mc/h, idonea allo scavo di materiale di tipo limosoargilloso. La portata oraria di caricamento della miscela dragata all'interno di ogni singolo tubolare drenante previsto, è stata di circa un quarto del volume massimo di contenimento dello stesso, al fine di garantire un adeguato tempo di rilascio del surnatante separatosi all'interno.

Il monitoraggio ambientale è stato impostato effettuando un controllo fisico-chimico giornaliero delle acque scaricate durante tutto il processo di pompaggio e nei giorni successivi alla fine dei lavori. I sedimenti sono stati caratterizzati meno frequentemente nelle fasi più significative del processo di disidratazione (inizio, medio termine e fine del trattamento).

Durante la fase di pompaggio sono stati prelevati due campioni d'acqua al giorno per l'analisi : all'inizio e alla fine delle attività. Il pompaggio nei geotessili drenanti è durato 3 giorni. Dopo il riempimento (cioè la fine del pompaggio), è stato prelevato un campione d'acqua giornaliero per 4 giorni consecutivi. Sono stati inoltre prelevati altri due campioni d'acqua per il monitoraggio 7 e 10 giorni dopo la fine del monitoraggio giornaliero.

L'acqua (1000 mL di campioni) è stata prelevata in diversi punti del geotubo per ottenere un campione medio composito rappresentativo di tutta l'acqua espulsa.

I risultati analitici ottenuti si riferiscono ai limiti normativi di cui alla Tabella 2 dell'Allegato 5, Parte IV del DL 152/2006 per le acque reflue.

- SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI DA NAVICELLI

Dall'esame dei risultati analitici emerge che le concentrazioni massime misurate nelle acque emesse e rilasciate nell'ambiente circostante (acque di canale) sono superiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente per le acque reflue (Concentrazioni Soglie di Contaminazione (CSC)), per quanto riguarda i solfati (da 7 a 8 volte la soglia), il nichel (1.8x), l'arsenico (3 à 30x), il piombo (2x) e il rame (2.3x).

Questi superamenti in acqua non sono strettamente correlati ai livelli presenti nei sedimenti, che sono ben al di sotto delle soglie consentite dalla legislazione (Tab. 1 dell'All. 5, Parte IV del D. Lgs. 152/2006).

Infine, al termine del monitoraggio, ossia 10 giorni dopo la fine del pompaggio, si osserva che, ad eccezione del contenuto di solfati (a causa della natura salmastra dei sedimenti), i valori misurati nelle acque sudate sono tutti ben al di sotto delle soglie legislative per le acque reflue.

7.4) TRATTAMENTO DI CALCINAZIONE DI FRAZIONI DI FIBRE DI POSIDONIA - PROVADEMSE / INSA LYON (DELIVERABLE T2.3.6)

- PRINCIPI E OBIETTIVI DEL TRATTAMENTO

Le operazioni di dragaggio dei sedimenti marini comportano, in alcuni casi, il recupero di quantità importanti di biomasse marine, così come di posidonia. Le operazioni di trattamento dei sedimenti di dragaggio permettono di separare una frazione prevalentemente minerale valorizzabile e di produrre residui vegetali, i quali, malgrado la presenza di sabbia, potrebbero essere destinati alla valorizzazione energetica evitandone così la messa a discarica.

Lo studio effettuato si occupa della possibilità di recupero energetico da questi residui di biomassa marina. A tal fine è stato effettuato un esperimento pilota di trattamento termico delle fibre e delle grano dei residui vegetali per determinare il loro potenziale di recupero energetico e per garantirne la valutazione.

- MATERIALI E METODI DI TRATTAMENTO

Produzione dei residui di biomasse marine

I sedimenti provenienti da Tolone e inoltrati al CPEM ENVISAN di La Seyne-sur-Mer sono stati sottoposti da parte di ENVISAN a un trattamento in due fasi, che ha consentito di separare la frazione minerale dei sedimenti, indirizzata verso altri canali di recupero, da quella organica, destinata alla valorizzazione energetica.

La prima fase consiste nel collocare i sedimenti all'interno di un serbatoio d'acqua, munito di piani inclinati e di una coclea che permette di separare i residui organici più grossolani in base alla densità. La seconda parte del trattamento viene eseguita sui residui ottenuti e consiste nella separazione sott'acqua dei residui vegetali con l'ausilio di due setacci a tamburo.

I residui organici oggetto del presente studio sono stati ricavati grazie a questa seconda fase.

Preparazione dei residui di biomasse marine

Le parti di residui vegetali che possono essere destinate alla valorizzazione energetica sono quella fibrosa e quella granulare non sabbiosa. La tecnologia utilizzata nel trattamento termico è la pirogassificazione in letto fisso, per la quale i rifiuti sotto forma di fibre e granuli non sono adatti, a causa della loro scarsa densità. Risulta dunque indispensabile la preparazione dei rifiuti (setacciatura, separazione e pellettizzazione), affinché questi rispondano alle caratteristiche fisiche necessarie per il trattamento in letto fisso. Per preparare i campioni di residui di biomasse marine ai fini della gassificazione, abbiamo prima stabilito il tasso di umidità e studiato la cinetica di essiccazione dei campioni, ne abbiamo determinato la composizione in base alla loro natura (fibre e granuli) e la rispettiva distribuzione granulometrica. Abbiamo inoltre studiato le loro caratteristiche fisico-chimiche e ricondizionato i campioni a un tasso d'umidità ottimale, prima della loro pellettizzazione. I residui di biomassa marina sono stati dunque preparati, dopo l'ottimizzazione del loro valore energetico mediante essiccazione e l'estrazione mediante setacciamento della frazione superiore a 500 µm. Questa rappresenta più del 90% della massa secca di residui vegetali, il cui contenuto di cenere (21%) è ridotto rispetto al campione grezzo e il cui valore energetico (>17 MJ/kg) è superiore a quello del campione grezzo e simile a quello di combustibili come il legno. Quanto alla frazione inferiore a 500 µm, essenzialmente sabbiosa, potrebbe essere oggetto di una valorizzazione ancora da studiare. Dopo aver eliminato la frazione inferiore a 500 µm, i campioni sono stati ricostituiti in proporzione a ciascuna frazione (fibre 25% e granuli : 75%) e umidificati al 30%, prima di essere ridotti in pellets. I pellets sono stati poi essiccati all'aria aperta per raggiungere un'umidità residua inferiore al 20%, prima della gassificazione.

Dispositivo sperimentale di gassificazione

Il dispositivo sperimentale di gassificazione utilizzato per le prove di fattibilità della valorizzazione energetica è un reattore di pirogassificazione a letto fisso equicorrente, della potenza di 100 kW. Il reattore è stato specialmente predisposto per le esigenze di PROVADEMSE, per poterlo adattare al trattamento di determinati rifiuti e di disporre dell'insieme dei dati necessari per la verifica del comportamento della materia nel reattore, la valutazione del rendimento della gassificazione e la determinazione del bilancio di materia ed energia dell'operazione. Il reattore è completato da uno scambiatore per il raffreddamento del syngas prodotto, da una caldaia destinata alla combustione del syngas raffreddato e da un aerotermostato per la dissipazione delle calorie prodotte dalla caldaia.

Monitoraggio della gassificazione

Il funzionamento del reattore di gassificazione è stato monitorato attraverso la misurazione dei seguenti parametri :

- Flusso d'aria iniettato nelle varie zone del reattore (essiccazione o pirolisi, ossidazione, riduzione)
- Temperature di zone diverse, compreso il gas prodotto (syngas), dalla sua fuoriuscita dal reattore fino all'ingresso in caldaia al momento del raffreddamento
- Pressione e perdita di carico in diversi punti del reattore
- Combustione del syngas, andamento dei flussi di syngas, dell'aria di combustione e dei fumi
- Recupero del calore e determinazione della potenza del syngas

Caratterizzazione degli ingressi e delle uscite di gassificazione

La caratterizzazione dei prodotti in entrata (pellet) e dei diversi prodotti risultanti dal processo, residui solidi, syngas e fumo, sono stati effettuati mediante analisi fisico-chimiche, analisi elementari e analisi della composizione degli inorganici.

L'analisi del syngas è stata condotta attraverso il prelievo dei catrami (Tar Protocol), la cui analisi specifica è stata affidata al CIRAD di Montpellier, e la misurazione costante dei gas permanenti in fase gassosa, mediante micro gascromatografo.

- PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTO

Caratteristiche dei pellets di biomasse marine

I pellets di biomasse marine presentano un contenuto di cloro superiore alla soglia stabilita per la valorizzazione energetica in caldaia a biomassa. La loro composizione (analisi degli elementi e del contenuto di metalli) è, invece, compatibile con la loro valorizzazione energetica come CSS (combustibile solido secondario). Tali pellets possono dunque essere recuperati negli impianti elencati nella lista ICPE 2971, come per esempio gli impianti di pirogassificazione.

Considerato l'elevato contenuto di cenere di questi residui di biomasse marine, nonostante l'eliminazione della frazione inferiore a 500 μ m, si è reso necessario uno studio del comportamento alla fusione delle ceneri che ha dimostrato che la gassificazione di tali residui vegetali può presentare il rischio di produrre quantità importanti di ceneri fuse, che potrebbero solidificarsi per raffreddamento, con conseguenze gravi sul deflusso del materiale nei reattori o nei sistemi d'evacuazione delle ceneri.

Questo aspetto costituisce un limite operativo da verificare ed eventualmente risolvere nell'ambito dello sviluppo industriale di questa soluzione di valorizzazione energetica dei residui di biomasse marine.

Risultati degli esperimenti di gassificazione

Questi esperimenti hanno permesso di verificare il comportamento meccanico del letto di gassificazione (deflusso, perdita di carico, ristagno, curvatura, etc.), nonostante l'osservata formazione di solidificazioni tra i residui. Rispetto all'esecuzione degli stessi test con gli scarti di legno A o anche con cippato di legno B, i test sono ancora più facili da eseguire.

Le prove hanno dimostrato che il calore in uscita prodotto dal reattore di gassificazione di biomassa marina residuale può essere utilizzato per le operazioni di essiccazione dei residui vegetali, che precedono la gassificazione.

Le caratteristiche di combustione del syngas prodotto sono simili a quelle osservate in altri combustibili come il cippato.

La combustione del syngas all'interno della caldaia ha permesso di produrre una potenza media intorno ai 50 kW, di cui 17 kW apportati dal propano. Un'ottimizzazione del processo potrebbe consentire un buon funzionamento anche senza l'apporto di propano. Il rapporto energetico della caldaia mostra che i catrami contenuti nel syngas costituiscono una parte non trascurabile del contenuto energetico prodotto dalla gassificazione.

La realizzazione delle prove di pirogassificazione e le operazioni di manutenzione successive hanno permesso di mettere in evidenza fenomeni di corrosione all'interno della caldaia impiegata per la combustione del syngas. Questo costituisce un limite operativo da verificare e, eventualmente, risolvere nell'ambito dello sviluppo industriale di questa soluzione di valorizzazione energetica dei residui di biomassa marina.

Caratteristiche dei prodotti della gassificazione

I residui solidi derivati dal processo di gassificazione di pellets di biomasse marine presentano contenuti di cloruro e di metalli relativamente importanti, per via della loro concentrazione all'interno della materia, privata di una parte del suo contenuto organico.

Tale composizione li rende inadeguati per una valorizzazione energetica secondaria all'interno di impianti di combustione di biomasse.

La composizione del syngas prodotto a partire da pellets di biomasse marine dimostra che esso è di qualità inferiore rispetto a un syngas ottenuto dal cippato, il che si traduce in un PCI più scarso (3,85 MJ/Nm³ contro i 4,65 MJ/Nm³ del syngas derivato dal cippato). Inoltre, la gassificazione dei pellets di biomasse marine conduce alla produzione, nel syngas, di un contenuto dello 0,12% di H₂S, in parte responsabile dei fenomeni di corrosione osservati al momento delle operazioni di manutenzione.

Il syngas derivato da pellets di biomasse marine ha un contenuto di catrami pari a $4,1 \text{ g/Nm}^3$, simile a quello del syngas derivato da cippato di legno B. Questi catrami sono principalmente costituiti da composti aromatici e da IPA, per circa il 70%. Secondo le applicazioni previste per il syngas, potrebbe rendersi necessaria una fase di depurazione (non necessaria nel nostro caso di alimentazione di una caldaia adattata).

L'analisi dei fumi di combustione del syngas rileva contenuti di NO_x, SO_x, idrocarburi, piombo e somme di elementi metallici (Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V, Zn) superiori alle soglie di emissione stabilite per gli impianti di combustione delle biomasse e dei combustibili solidi, soggette al regolamento per gli impianti classificati per l'ambiente (ICPE 2910). Dunque, se il syngas è destinato alla combustione, è indispensabile effettuare un trattamento dei fumi, in particolare mediante impianti di abbattimento delle emissioni di NO_x (DeNO_x), per adeguarsi alle soglie di emissione consentite dal regolamento.

Rendimento del processo di gassificazione

In termini di rendimento, i test realizzati hanno consentito di convertire il 91,2% della materia organica in gas combustibile. Tale tasso di conversione è piuttosto importante ma potrebbe essere migliorato con alcuni interventi sulla condotta del procedimento, in modo tale da avvicinarsi al tasso di conversione ottenuto con scarti di legno A o cippato (96%).

Il bilancio di materia mostra che il 93% dell'alimentazione (carico lordo e aria di processo) è trasformato in syngas, mentre i residui solidi rappresentano il 3,8% della materia in ingresso.

Il bilancio energetico di questi esperimenti, che non corrispondono a delle condizioni ottimali di funzionamento, mostra che la potenza in ingresso (47 kW), basata sul PCI del carico, ha permesso di produrre 30 kW di syngas, 3,2 kW di energia nei residui (PCI), 3 kW di calore derivato dal raffreddamento del syngas e 10,7 kW di energia specifica dei residui e delle perdite parietali.

- SINTESI GENERALE FORMULATA DA PROVADEMSE (INSA LYON)

Il presente studio, realizzato in seno alla piattaforma PROVADEMSE dell'INSA di Lione, aveva come obiettivo quello di eseguire delle ricerche sulla fattibilità tecnica e ambientale del trattamento dei residui di biomasse marine mediante gassificazione. L'accento è stato posto sulla preparazione del carico prima del trattamento. Le operazioni di preparazione hanno dimostrato che era indispensabile che i residui di biomasse marine subissero alcune operazioni unitarie prima della gassificazione. Le principali operazioni unitarie individuate ed effettuate precedentemente alla gassificazione sono :

- Essiccazione
- Setacciatura e separazione delle frazioni fini (frazione <0,5mm)
- Addensamento mediante pellettizzazione

- **Essiccazione** : Le operazioni di essiccazione sono state precedute da uno studio della cinetica di essiccazione seguendo diverse condizioni operative (temperatura, durata di essiccazione, spessore dello strato, etc.). Durante la fase di preparazione è stato dimostrato che l'umidità dei residui di biomasse marine doveva essere portata da oltre 60% a circa 15% o 20%.
- **Setacciatura/separazione** : uno studio della granulometria fine è stato condotto sui residui di biomasse marine e alcune analisi (MOT, PCI, contenuto di ceneri) sono state eseguite su ciascuna frazione. L'interpretazione dei risultati ottenuti ci ha consentito di constatare che le frazioni fini (al di sotto dei 500µm) rappresenterebbero circa il 10% della massa totale. A rivelarsi importante è stato il fatto che in questa frazione si concentrava la gran parte delle sostanze minerali del carico lordo, mentre la quasi totalità della frazione organica, e quindi dell'energia, si concentravano nella frazione opposta (superiore a 500µm). È questo che nel nostro procedimento ha giustificato il buon fondamento di realizzare, in fase di preparazione, la separazione delle frazioni fini inferiori a 500µm.
- **Addensamento** : La massa volumica dei residui di biomasse marine essiccate rappresenta soltanto 119 kg/m³. Questo valore è troppo scarso perché il rifiuto possa essere affidato a un reattore di gassificazione a letto fisso, in cui il deflusso nel reattore è gravitazionale. Era dunque necessario procedere alla pellettizzazione del carico e abbiamo potuto ottenere, in seguito a questa operazione, dei pellets di una densità maggiore di 480 kg/m³, adatta per questo genere di processi di gassificazione a letto fisso.

Successivamente alle operazioni di preparazione, che hanno seguito il procedimento riassunto sopra, abbiamo effettuato alcuni test di gassificazione durati svariate ore e distribuiti su più di due giorni. Infine, il vero e proprio studio di fattibilità di gassificazione su scala sperimentale è stato effettuato sui pellets di biomasse marine.

Le prove hanno permesso di verificare il buon comportamento meccanico del letto di gassificazione (deflusso, perdita di carico, compattazione, curvatura, etc.).

Abbiamo in seguito analizzato tutti gli effluenti solidi, liquidi e gassosi derivati dal processo. Un'attenzione particolare è stata rivolta all'analisi del syngas e all'identificazione dei catrami (composti considerati tali). In termini di emissioni gassose (emissioni atmosferiche) abbiamo eseguito un'analisi dei fumi, la quale ci ha permesso di confrontare i risultati ottenuti con la normativa in vigore. Abbiamo notato in particolare le alte concentrazioni di NO_x che superano le soglie stabilite dalle varie normative.

I residui solidi sono stati esaminati, il che ha permesso di notare che essi non rispettavano le soglie previste per le ceneri prodotte in impianti annoverati nella rubrica ICPE 2910-B.

Abbiamo dunque dimostrato che la gassificazione dei residui vegetali derivati dal trattamento dei sedimenti marini presenta un forte potenziale. Tuttavia, un'altra filiera di recupero dovrebbe essere individuata per le frazioni fini (<500µm), costituite per la maggiore da sabbia, che rappresenta meno del 10% dei residui vegetali lordi. Inoltre, se il gas viene bruciato, particolare attenzione deve essere prestata alle emissioni atmosferiche. Sarebbe giudizioso prevedere delle attrezzature di trattamento dei fumi (NOx, IC, metalli).

7.5) SINTESI DI TRATTAMENTI PILOTA E VALORIZZAZIONE - INSA LYON (PROVADEMSE) - ISPRA LIVOURNE - RAS (CAGLIARI) - DELIVERABLE T2.4.7

- PRINCIPI E OBIETTIVI

La gestione dei sedimenti di dragaggio del Mar Mediterraneo è sottoposta a procedure di valutazione diverse in Francia e in Italia. Entrambi gli approcci sono stati messi in pratica, al fine di valutare le condizioni di accettabilità della gestione di tali sedimenti.

L'obiettivo primario è il recupero dei sedimenti in quanto materia prima sostitutiva nelle opere di ingegneria civile come terrapieni, malte per il riempimento di trincee e calcestruzzi comuni.

In Francia, la valutazione ambientale dell'impiego dei sedimenti in simili applicazioni può essere soggetta ad una procedura che può spingersi fino alla realizzazione di simulazioni pilota.

Il rapporto T2.4.7 descrive le procedure di valutazione francese e italiana, la loro applicazione ai sedimenti esaminati, la preparazione dei materiali a base di sedimenti, lo studio delle proprietà tecniche di tali materiali, nonché la loro valutazione ambientale. L'obiettivo è quello di identificare i parametri che potrebbero rendere certe opere non conformi alle condizioni di accettabilità per il recupero e di prevedere eventuali adattamenti delle procedure di valutazione ambientale dei sedimenti marini, in vista del loro recupero in entrambi i Paesi.

- MATERIALI E METODI

I quattro sedimenti che sono stati oggetto delle prove pilota per il trattamento e il reimpiego di sedimenti marini sono stati selezionati tra i 16 campioni caratterizzati nella fase preliminare. Tali campioni sono identificati con il luogo di provenienza :

- Centuri
- Tolone
- Cagliari
- Livorno

Le metodologie francesi e italiane utilizzate e i risultati della caratterizzazione dei sedimenti a livello fisico-chimico, ecotossicologico e geotecnico sono presentati in dettaglio nel deliverable T2.4.7. Questo deliverable T2.4.7 presenta anche la metodologia e i risultati dei vari test di formulazione e dei controlli geotecnici condotti in laboratorio, permettendo una selezione in-fine di quelli da implementare e monitorare su scala pilota.

I lavori pilota di recupero sviluppati a partire dai 4 sedimenti selezionati (due italiani e due francesi), di identico disegno, sono stati realizzati in due siti separati :

- All'interno di container termoregolati sulla piattaforma ambientale dedicata alla R&S del CPEM ENVISAN a La Seyne-Sur-Mer per le opere a base di sedimenti di Centuri e Tolone
- All'interno dei locali dell'ISPRA a Livorno per le opere a base di sedimenti di Livorno e Cagliari.

Trattamento effettuato : I trattamenti dei sedimenti sono stati effettuati mediante lavaggio/idrociclonazione con attrezzature ISPRA sul sito di Livorno per i sedimenti di Livorno e Cagliari ; e sul sito di Tolone per i sedimenti di Centuri ; e con attrezzature ENVISAN sul sito di Tolone (CPEM) per i sedimenti di "Tolone". Gli obiettivi di questi trattamenti erano la rimozione di elementi fini e residui vegetali dai sedimenti per preservare le frazioni sabbiose, che sono state poi utilizzate nelle formulazioni.

Piloti di valutazione testati :

Nel caso dei sedimenti italiani, gli scenari e le tipologie di piloti di recupero selezionati sono i seguenti :

- Due lisimetri che simulano un riempimento, realizzati con :
 - Sedimento grezzo di Cagliari
 - Sedimenti trattati di Livorno
- Quattro lastre di malta o calcestruzzo :
 - Due lastre di malta con sedimento di Cagliari grezza e trattata
 - Due lastre di cemento con sedimenti di Livorno grezzi e trattati

Nel caso dei sedimenti francesi, gli scenari e i tipi di piloti di recupero selezionati sono i seguenti :

- Tre lisimetri che simulano un argine, sviluppati con :
 - Sedimento grezzo di Cagliari
 - Sedimenti di Centuri trattati a Tolone (da ISPRA)
 - Sedimento grezzo di Tolone

- 6 lastre di malta o calcestruzzo
 - Due lastre di malta con i sedimenti di Tolone, grezze e trattate
 - Due lastre di calcestruzzo con sedimenti grezzi e trattati di Tolone
 - Due lastre di malta con sedimenti di Centuri grezzi e trattati

- 2 lastre di malta o calcestruzzo di controllo
 - Una lastra di malta di controllo con cemento e sabbia francese
 - Una lastra di controllo in calcestruzzo con cemento, ghiaia e sabbia francese

Descrizione dell'implementazione dei lisimetri pilota

A Livorno, i piloti riempiti di sedimenti sono costituiti da bidoni di legno OSB lunghi 2,5 m per 1,75 m di larghezza e alti 0,83 m, che coprono un'area di 4.375 m². A Tolone, le dimensioni dei lisimetri sono state adattate per mantenere la stessa superficie, cioè 2,26 x 1,94 m. I dettagli della realizzazione di questi "rack lisimetrici" sono presentati in T2.4.7.

Il sistema di irrigazione è costituito da 48 ugelli di nebulizzazione distribuiti in 3 array di 16 ugelli per esporre l'intera superficie dei lisimetri sperimentali. Le 3 reti sono gestite da un set di timer ed elettrovalvole. Le 3 reti vengono attivate, una ad una, ogni 6 minuti e 40 secondi, cioè un'irrigazione completa ogni 20 minuti.

Il primo giorno gli ugelli vengono attivati manualmente per immergere la massa totale di sedimenti, l'irrigazione viene interrotta non appena l'acqua raggiunge l'uscita (fondo del lisimetro).

Descrizione della realizzazione delle lastre pilota

Lastre pilota in malta e calcestruzzo sono realizzati secondo le formulazioni sviluppate in laboratorio (vedi il deliverable T2.4.7). La miscelazione viene effettuata in una normale betoniera. La malta viene versata in contenitori in PE con dimensioni L x L x A = 555 x 355 x 235 mm, ovvero una superficie di 0,20 m². Le lastre realizzate sono alte circa 11 cm.

Le formulazioni utilizzate sono riassunte nelle seguenti tabelle :

Composizione in percentuale di massa secca delle malte e dei calcestruzzi derivati dalle prove di formulazione e realizzati per le lastre sperimentali

	Mortier avec les sédiments de Cagliari & Toulon & Centuri		Béton avec les sédiments de Livourne & Toulon	
	<i>brut</i>	<i>traité</i>	<i>brut</i>	<i>traité</i>
Sédiment	29,43%	42,04%	20,19%	40,38%
sable	54,65%	42,04%	20,19%	0,00%
gravier	0,00%	0,00%	44,09%	44,09%
ciment	15,76%	15,76%	15,32%	15,32%
réducteur	0,16%	0,16%	0,21%	0,21%
total	100%	100%	100%	100%

Le percentuali di acqua utilizzate nelle formulazioni sono raggruppate nella tabella sottostante:

Contenuto d'acqua delle formulazioni delle lastre sperimentali

Pourcentage d'eau réel	Mortier		Béton	
	brut	traité	brut	traité
Toulon	19,7%	15,3%	10,86%	11,69%
Centuri	11,1%	13,3%	-	-
Cagliari	21,44%	16,50%	-	-
Livourne	-	-	12,30%	13,69%
Témoïn	18,4%		10,9%	

Monitoraggio dei pilota

Esposizione all'acqua dei lisimetri : La procedura adottata consiste nell'irrigare i sedimenti con un volume d'acqua equivalente alla pluviometria media annua in Francia, cioè 800 mm/m² su 6 mesi. Questo dato corrisponde a 30,77 mm/m² a settimana. I lisimetri hanno una superficie pari a 4,375 m² e ciascuno di essi richiede un volume d'acqua di 61,5 litri a settimana, cioè 1600 litri sui 6 mesi di prova. Gli eluti sono stati raccolti ogni settimana e si è preso nota del volume della soluzione recuperata, del suo pH e della conduttività.

Esposizione all'acqua delle lastre : La procedura adottata per le lastre di materiale consiste nel coprirle con 10 mm d'acqua per 24 ore, una volta a settimana, per un apporto complessivo di 2 litri d'acqua a settimana per ciascuna lastra. Il volume recuperato viene misurato per tenere il conto dell'evaporazione e dell'acqua d'infiltrazione. Questo procedimento è stato mantenuto finché le concentrazioni dei principali elementi non sono significativamente diminuite. In seguito, il tempo di contatto con l'acqua è stato aumentato a 48h ogni 15 giorni, sempre con 10 mm d'acqua, per dare il tempo alle lastre di ricaricare l'acqua dai pori e di ottenere concentrazioni misurabili degli elementi in traccia. In questo caso, l'equivalente pluviometrico è di 150 l/m², ma tutta l'acqua resta a contatto con il materiale. Questa situazione rappresenta degli episodi di precipitazione frequente e una configurazione che consente il mantenimento di una lama d'acqua per una durata che va dalle 24 alle 48 ore. Il rilascio ottenuto è probabilmente equivalente a quello di alcuni anni in situazioni reali a seconda delle modalità di stima della pioggia efficace per una lastra.

Monitoraggio analitico : Gli elutriati dei lisimetri e delle lastre sono stati sottoposti ad un'analisi chimica dei metalli e degli anioni nelle settimane successive :

semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Analyse	1	2	3	4	mix 5-6		mix 7-8		mix 9- 10		mix 11 à 14			

semaines	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Analyse	mix 15 à 18				mix 19 à 22				mix 23 à 26			

I parametri dell'analisi chimica monitorati sono : pH, Conducibilità, Cloruri, Solfati, Fluoruri, Antimonio (Sb), Arsenico (As), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Rame (Cu), Stagno (Sn), Mercurio (Hg), Molibdeno (Mo), Nichel (Ni), Piombo (Pb), Selenio (Se), Zinco (Zn).

Il lisimetro e gli eluati delle lastre sono stati sottoposti ad analisi ecotossicologiche su 3 campioni alla fine delle settimane 2 (1 campione); 9-10 (mix di 2 campioni); 23-26 (mix di 4 campioni).

Il biosaggio scelto per la valutazione ecotossicologica degli eluiti lisimetrici e delle lastre è il saggio di inibizione della riproduzione del rotifero *Brachionus calyciflorus* a 48 h (ISO 20666), mostratosi il più sensibile al momento dei saggi preliminari di valutazione della caratteristica di pericolo ecotossico (HP14).

Si tratta di un saggio di tossicità cronica il cui indicatore utilizzato nell'ambito della procedura francese HP14 è la EC20, con una soglia di accettabilità inferiore a 1%.

Metodologia per l'interpretazione dei dati analitici ambientali :

La valutazione delle emissioni di sostanze nell'acqua da parte dei sedimenti posti **nel lisimetro** è stata effettuata mediante il confronto delle concentrazioni e della massa complessiva rilasciata rapportata all'unità di superficie, con i valori limite stabiliti nell'ambito della procedura francese di accettabilità dei materiali alternativi nelle tecniche stradali (terzo livello di caratterizzazione ambientale – Vedere deliverable T1.2.4).

La valutazione delle emissioni di sostanze nell'acqua a partire da materiali formulati a base di sedimenti, esposti sotto forma di lastre, è stata effettuata comparando le concentrazioni e la massa rilasciata rapportata all'unità di superficie, con i valori di emissione osservati a partire da materiali realizzati secondo le stesse formulazioni senza sedimenti ed esposte alle stesse condizioni (materiali di controllo).

- RISULTATI PRINCIPALI OTTENUTO

Analisi geotecnica (partner RAS) :

- **Lastra in calcestruzzo** : I risultati mostrano che l'uso di sedimenti grezzi, miscelati con una percentuale uguale di sabbia, ha portato ad una significativa riduzione dei valori di resistenza alla compressione, che sono stati quasi dimezzati rispetto a quelli del campione di prova. In ogni caso, i valori di resistenza ottenuti permettono di portare le miscele sedimento-cemento nel campo dei materiali utilizzabili. In particolare, i valori di resistenza a compressione permettono di classificare i calcestruzzi adatti ad un uso non strutturale, cioè prodotti per i quali non è richiesto un elevato valore di resistenza a compressione.

Va inoltre notato che anche nei campioni ottenuti da sedimenti trattati, i valori di resistenza sono sostanzialmente simili a quelli ottenuti da sedimenti grezzi.

- **Lastra di malta** : anche nel caso di campioni di malta, il valore di resistenza dei campioni di controllo è quasi il doppio di quello dei campioni realizzati con sedimenti.

Per quanto riguarda la possibilità di utilizzare i sedimenti nella produzione di malte, i valori di resistenza ottenuti permettono comunque alle miscele sedimento-cemento di entrare nel campo dei materiali utilizzabili (con bassi requisiti meccanici).

Monitoraggio ambientale dei lisimetri :

L'ecotossicità degli eluiti di lisimetro compare soltanto nei primi eluiti dei lisimetri dei sedimenti di Tolone grezzo, Centuri grezzo e Centuri trattato. La classificazione dei sedimenti in base all'ecotossicità dei primi eluiti rispecchia i livelli di emissione di cloruri e solfati tra i tre sedimenti. La tossicità degli eluiti scompare nei prelievi successivi.

L'interpretazione delle analisi ecotossicologiche degli eluati dei lisimetri monitorati a Livorno non è stata possibile a causa dei lunghi tempi di conservazione degli eluati.

I parametri che possono rendere le opere non conformi alle condizioni di accettabilità dal punto di vista ambientale per un reimpiego nelle tecniche stradali sono :

- I cloruri
- I solfati
- Il molibdeno (solo nel caso del sedimento di Cagliari)

Per essere conformi alle condizioni di accettabilità stabilite in Francia per il reimpiego in riempimenti tecnici, i sedimenti marini studiati richiedono un lavaggio preliminare efficace dei cloruri e dei solfati.

Monitoraggio ambientale delle lastre :

L'ecotossicità degli eluiti delle lastre di materiali compare soltanto in quelli prelevati nel punto intermedio. In effetti, tali eluiti non presentano alcuna tossicità nei confronti di *Brachionus calyciflorus* all'inizio dell'esposizione e uno solo tra i materiali (malta di Tolone trattato) presenta una tossicità alla fine della durata dell'esposizione.

I livelli di tossicità osservati nel prelievo intermedio dei materiali a base di sedimenti differiscono solo leggermente da quelli di controllo. Si tratta dunque, almeno in parte, di un effetto dovuto alla matrice cementizia.

Gli eluiti delle lastre sperimentali presentano tutti un pH basico, compreso tra 9 e 10.5 per Tolone e Centuri e tra 8.5 e 10.5 per Cagliari e Livorno. Questi livelli di pH corrispondono a quelli osservati per i materiali di controllo. Rispecchiano l'effetto della matrice contenente elementi alcalini solubili in eccesso. L'evoluzione del pH degli eluiti non presenta alcun segno evidente di carbonatazione (diminuzione del pH) durante il periodo di monitoraggio.

I parametri che possono rendere le opere non conformi alle condizioni di accettabilità ambientale per il reimpiego in materiali come malta e calcestruzzo sono :

- I cloruri
- L'arsenico e il molibdeno nel caso del sedimento di Tolone trattato, in particolare nella formulazione di malta.

La texture (fine o sabbiosa) e le condizioni di preparazione del sedimento (lagunaggio, trattamento, esposizione all'acqua piovana) possono influire sul contenuto di cloruri e di eventuali altri elementi facilmente lisciviabili, in particolare in condizioni di pH basico (arsenico).

- SINTESI GENERALE FORMULATA E PROSPETTIVE

L'approccio francese e quello italiano per la caratterizzazione e la classificazione dei sedimenti studiati sono stati applicati sugli stessi campioni di sedimenti.

La procedura francese, costruita su un approccio di gestione dei sedimenti in quanto rifiuti, ha condotto a classificare i sedimenti di Tolone, Centuri e Cagliari come sedimenti non pericolosi. Il sedimento di Livorno, invece, è stato considerato pericoloso per via del suo carattere ecotossico (caratteristica di pericolo HP14). Quest'ultimo, al suo stato attuale, non è dunque recuperabile secondo le condizioni di gestione stabilite in Francia.

L'applicazione della procedura francese di accettabilità dei materiali alternativi nelle tecniche stradali a ciascuno dei quattro sedimenti ha dimostrato che nessuno di essi è riutilizzabile allo stato attuale in riempimenti ricoperti, poiché tutti superano i limiti di emissione di cloruri e solfati. Soltanto il sedimento di Livorno sarebbe conforme (se non fosse pericoloso) alle condizioni richieste dal recupero in sostrato rivestito di carreggiata o di corsia di accostamento.

Ciononostante, questa procedura lascia la possibilità di giustificare l'accettabilità dei sedimenti nelle tecniche stradali sulla base di uno studio specifico che richiede la realizzazione di lisimetri o di matrici di prova. È per questo motivo che con i sedimenti sono stati realizzati dei lisimetri di riempimento di cui alcuni con sedimenti trattati.

La procedura italiana, costruita invece secondo un approccio di gestione dell'impatto sull'ambiente marino, ha condotto a classificare il sedimento di Cagliari come idoneo per l'isolamento all'interno di vasche o per il capping in area portuale, e il sedimento di Livorno come idoneo per operazioni di ripascimento dei litorali o per l'immersione in mare.

Per questo, è stato condotto uno studio di formulazione, con l'obiettivo di incorporare nella formulazione di malta per il riempimento di trincee e in quella di calcestruzzo comune sedimenti di dragaggio marino, alcuni dei quali sono stati trattati mediante separazione su vagli con maglie diverse, ai fini della valutazione della loro accettabilità ambientale.

Al momento, l'elaborazione dei materiali di costruzione utilizzando il sedimento in sostituzione parziale della sabbia non è oggetto di nessuna procedura di valutazione, né in Francia né in Italia.

In Francia, oltre alla procedura per l'Accettabilità dei materiali alternativi nell'ingegneria stradale già citata e utilizzata in questo studio per la valutazione dei risultati delle prove lisimetriche, sono in corso lavori con il Ministero dell'Ambiente per proporre una guida per l'utilizzo di materiali alternativi (di cui i sedimenti potrebbero logicamente far parte) nella costruzione. Tuttavia, le soglie raccomandate non sono ancora disponibili.

Le prove di formulazione hanno consentito di mostrare che i cloruri sembrano essere molto concentrati nelle particelle fini ($< 63 \mu\text{m}$) e che l'eliminazione della frazione fine permette di ridurre nettamente i contenuti di cloruri. Tale pratica consente inoltre di ridurre la richiesta d'acqua di formulazione e di ottenere migliori prestazioni meccaniche.

La valutazione geotecnica e meccanica dei materiali formulati ha rivelato che i calcestruzzi e le malte realizzate con i sedimenti presentano una resistenza a compressione inferiore rispetto a quella dei materiali di controllo. Si è inoltre evidenziato che i calcestruzzi contenenti sedimenti sono adatti a un utilizzo non strutturale e che anche le malte a base di sedimenti possono essere utilizzate per applicazioni che richiedono scarse prestazioni meccaniche.

La valutazione ambientale dei materiali in condizioni sperimentali è consistita nella realizzazione di opere pilota che permettessero di simulare il comportamento ambientale dei sedimenti utilizzati in materiali di riempimento da una parte e in materiali di costruzione come la malta e il calcestruzzo dall'altra, con o senza trattamento.

Il trattamento dei sedimenti è stato effettuato mediante lavaggio con idrociclone sotto la supervisione dell'ISPRA sul sito di Livorno da un lato (sedimenti di Livorno e Cagliari) e sul sito di Tolone dall'altro (sedimenti di Tolone e Centuri) per estrarre le frazioni fini e i residui vegetali come in particolare le fibre di posidonia.

Le opere pilota consistono in vasche lisimetriche, costruite ed esposte all'acqua secondo le raccomandazioni della procedura francese di valutazione dell'accettabilità dei materiali alternativi nelle tecniche stradali e in alcune lastre di materiali monolitici (malta e calcestruzzo) esposti alternativamente a una lama d'acqua in superficie e all'aria. Il monitoraggio ambientale è stato eseguito mediante analisi fisico-chimiche ed ecotossicologiche regolari sulle acque a contatto con i materiali.

I risultati del monitoraggio ambientale delle opere pilota di riempimento mostrano che i parametri che possono rendere le opere non conformi alle condizioni di accettabilità ambientale per il recupero sono i cloruri, i solfati e, nel caso del sedimento di Cagliari, il molibdeno. Per essere conformi alle condizioni di accettabilità stabilite in Francia per il recupero in terrapieni, i sedimenti necessitano di un precedente lavaggio efficace dei cloruri e dei solfati.

Le condizioni specifiche d'impiego di questi materiali nelle opere marittime possono essere previste per i materiali che presentano emissioni di cloruri superiori al livello accettabile per le opere terrestri. Le caratteristiche di accettabilità ambientale per le opere marittime restano tuttavia ancora da definire.

I risultati del monitoraggio ambientale delle opere pilota di materiali monolitici (malta e calcestruzzo) mostrano che i materiali testati presentano nel complesso emissioni non molto diverse da quelle dei materiali di controllo. I parametri che possono rendere le opere non conformi alle condizioni di accettabilità ambientale per il recupero nei materiali come il calcestruzzo o la malta sono i cloruri e, nel caso del sedimento di Tolone trattato, in particolare nella formulazione della malta, l'arsenico e il molibdeno.

Va notato, tuttavia, che i livelli di rilascio sono molto più bassi per unità di superficie della struttura rispetto a quelli ottenuti per i sedimenti utilizzati da soli come riempimento. Per l'impiego nell'ingegneria civile, appare quindi fondamentale la quantità di sedimenti incorporati (i materiali che rilasciano di più sono quelli che contengono più sedimenti (dell'ordine del 40% per i sedimenti trattati) così come la superficie di scambio in quanto i materiali monolitici (malta o calcestruzzo) consentono una significativa limitazione del rilascio, compatibile con le soglie per le strutture stradali (a parità di superficie di esposizione).

La selezione e il trattamento dei sedimenti può migliorare la qualità ambientale dei materiali. In particolare, la consistenza (fine o sabbiosa) e le condizioni di preparazione dei sedimenti (lagunaggio, trattamento, esposizione all'acqua piovana) possono influenzare il contenuto di cloruri ed eventualmente di altri elementi facilmente lisciviabili, soprattutto se posti in condizioni di pH basico (arsenico) come avviene nei materiali cementizi.

Infine, le condizioni specifiche di utilizzo di questi materiali nelle strutture marine possono essere considerate per i materiali con un maggiore rilascio di cloruro rispetto ai materiali di controllo. Le caratteristiche ambientali accettabili per le strutture marine restano da definire.

Da tutti questi lavori ne consegue che l'utilizzo di sedimenti marini in strutture (argini o materiali da costruzione) in un ambiente legato alle acque marine o salmastre richiede una procedura di valutazione adattata, in quanto questo tipo di applicazione non è previsto nella procedura di valutazione ambientale francese per l'utilizzo di materiali alternativi nell'ingegneria stradale.

Inoltre, la presentazione degli approcci francese e italiano alla valutazione ambientale dei sedimenti ha permesso di evidenziare la loro complementarietà e di prevedere prospettive di sviluppo di procedure francesi e italiane che potrebbero portare, per entrambi i paesi, allo sviluppo di una procedura (o anche all'utilizzo di un software) per la classificazione dei sedimenti che integri tutti i criteri fisico-chimici ed ecotossicologici e che permetta di determinare l'accettabilità del sedimento nei suoi diversi scenari di recupero e gestione come:

- Il recupero nelle tecniche stradali continentali
- Il recupero in opere costiere o marittime
- Il recupero in materiali monolitici continentali
- Il recupero in materiali monolitici costieri o marittimi
- Il ripascimento dei litorali
- L'immersione in area marina non costiera
- L'immersione in vasca marittima

La complementarità dei test ecotossicologici francesi e italiani, dedicati agli organismi continentali da una parte e marini dall'altra, permette di considerare questo tipo di procedura integrata che copra l'insieme delle situazioni di gestione, che siano connesse o meno all'ambiente marino.

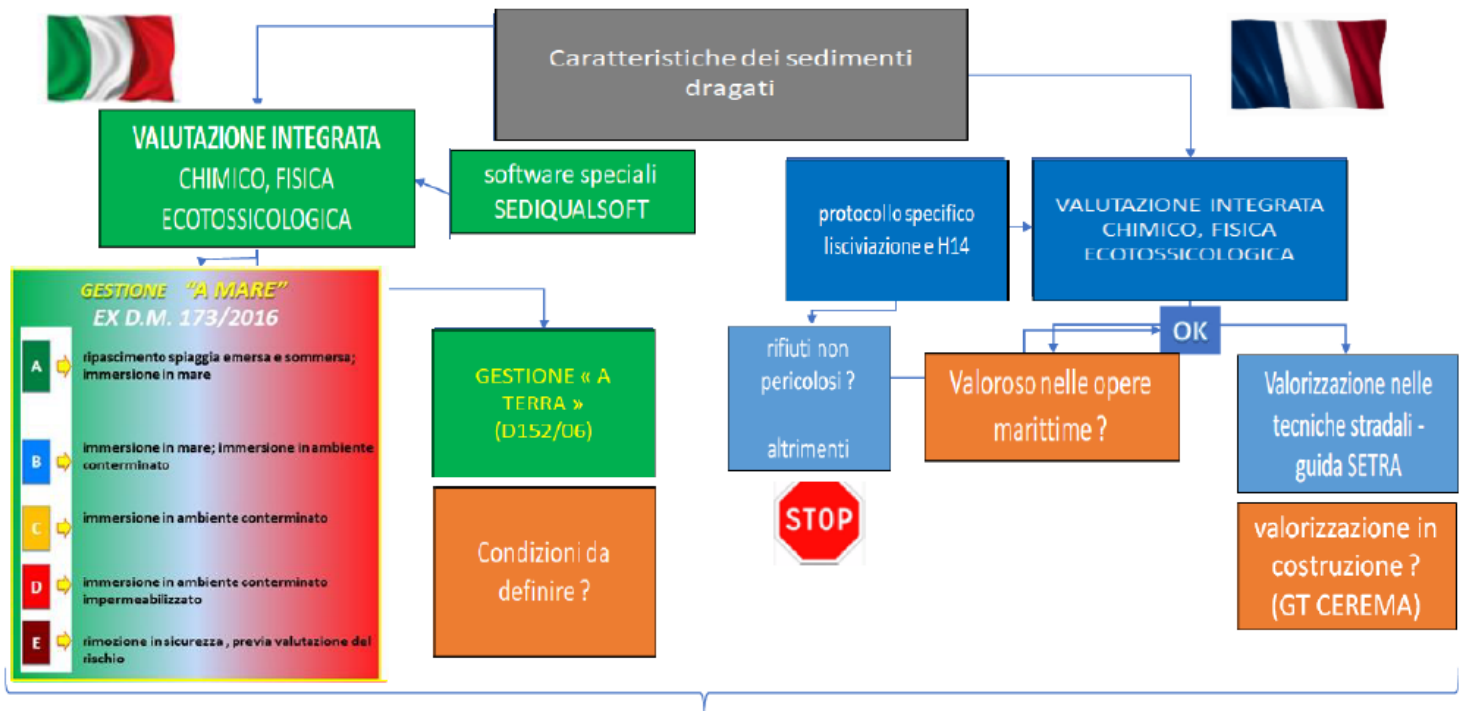
VIII. LINEE GUIDA FORMULATE E PROSPETTIVE PROPOSTE (DELIVERABLE T3.2.2)

Il progetto SEDITERRA ha permesso di analizzare e confrontare due modelli di gestione dei sedimenti di dragaggio : quello italiano e quello francese. Sulla base dei numerosi scambi tecnici e normativi condotti tra i partner, si è deciso di proporre raccomandazioni e soluzioni tecniche sotto forma di albero decisionale in questo duplice contesto tecnico-normativo franco-italiano. Queste raccomandazioni sono state formulate per aiutare i gestori dei porti e le altre parti interessate del settore a migliorare il trattamento e il riutilizzo a terra dei sedimenti dei porti e dei canali dragati.

Gli obiettivi di questo albero decisionale sono i seguenti :

- Per dare un resoconto sintetico dei processi decisionali esistenti nei due contesti francese e italiano.
- Considerazione delle normative, degli standard e delle guide esistenti
- Integrazione delle azioni di SEDITERRA e del contributo di queste azioni al processo decisionale
- Proposta di armonizzazione o almeno di approcci comuni tra i due contesti
- Individuazione di vie per ulteriori lavori tra gli attuali partner di SEDITERRA o con nuovi partner

Lo schema seguente riassume il contesto normativo dei processi decisionali di gestione dei sedimenti sia nel contesto italiano che in quello francese.



Quadro europeo (direttiva quadro sui rifiuti, direttiva sull'uscita dallo stato di rifiuto, direttiva sull'edilizia, economia circolare, ecc.)

Osservazioni relative al schema precedente

- Per una descrizione dettagliata della metodologia e del quadro normativo si rimanda ai paragrafi precedenti
- In Francia, un sedimento inizialmente classificato come rifiuto pericoloso può comunque essere parzialmente recuperato se, a seguito di un'operazione di pretrattamento o di trattamento, la frazione pericolosa è stata isolata e rimossa dalla frazione non pericolosa.
- Attualmente in Francia, nei lavori marittimi possono essere recuperati solo i sedimenti classificati come inerti o, quanto meno, che rispettano le soglie accettabili per lo scarico.

Richiamo delle situazioni :

Da parte italiana, viene implementata una valutazione integrata fisico-chimica ed ecotossicologica e un software appositamente sviluppato permette di integrare i diversi dati per portare ad una classificazione dei sedimenti in base a 5 possibilità (A, B, C, D, E) in funzione della scala decrescente della qualità dei sedimenti (e della scala crescente dei rischi ambientali e dei vincoli di gestione). Queste 5 possibilità riguardano l'ambiente marino e sono coperte dal regolamento DM173/2016. La gestione a terra di questi sedimenti è disciplinata dalla normativa sui rifiuti, principalmente attraverso le discariche. Il recupero dell'ingegneria civile è molto poco sviluppato e manca di supervisione e prospettive.

Da parte francese, la gestione a terra è di fatto parte della gestione dei rifiuti e solleva immediatamente la questione dello stato dei rifiuti pericolosi o non pericolosi sulla base delle 15 proprietà di pericolo da HP1 a HP15 elencate nell'allegato III della direttiva 2008/98/CE. La maggior parte di queste proprietà non sono rilevanti per i sedimenti e la parte principale della decisione si basa sulla verifica della proprietà di pericolo "Ecotossico" HP14. Per i sedimenti classificati come non pericolosi (che rappresentano la stragrande maggioranza), la possibilità di valorizzarli nelle tecniche stradali è coperta dall'applicazione di una guida pubblicata dal Ministero dell'Ambiente e pubblicata da CEREMA nel 2011. Una versione specifica per i sedimenti è in fase di finalizzazione. Inoltre, in Francia è stata avviata una nuova riflessione per consentire l'utilizzo di materiali alternativi (da rifiuti) nell'edilizia. Inoltre, è allo studio anche la definizione di un quadro normativo che consenta il recupero dei sedimenti nelle infrastrutture marittime.

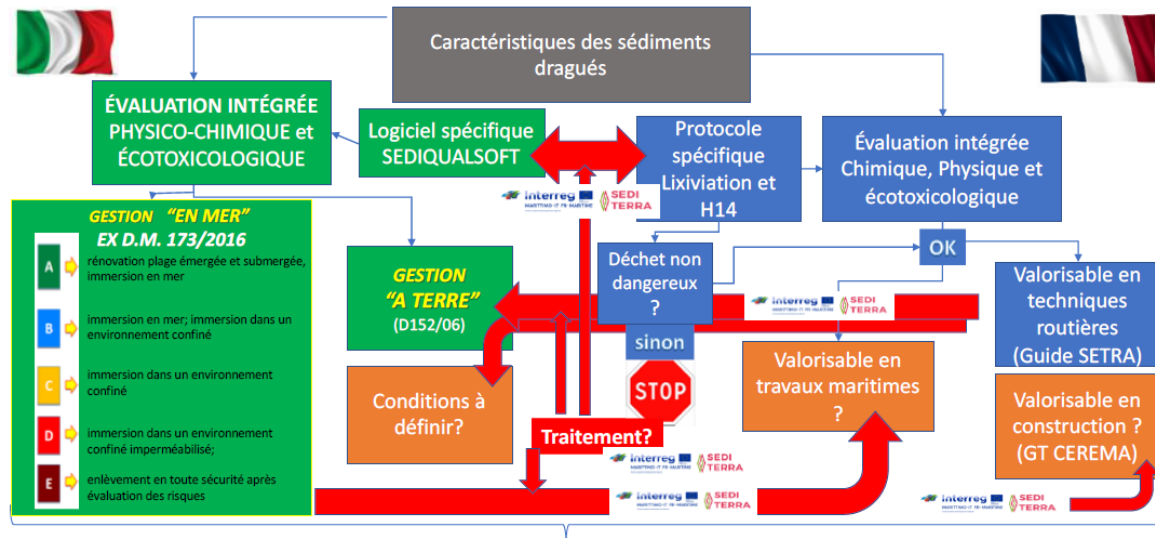
8.1) PROSPETTIVE DI SVILUPPO CHE INTEGRANO I POSSIBILI CONTRIBUTI DEI RISULTATI DI SEDITERRA AL PROCESSO DECISIONALE

➤ Schema generale

Lo schema seguente riassume tutte le possibili interazioni tra le situazioni esistenti nei due contesti francese e italiano e i risultati delle azioni di SEDITERRA.

Le principali interazioni sono le seguenti :

1. Trasferimento di competenze dai partner italiani ai partner francesi sulle condizioni di valorizzazione dei sedimenti nelle opere marittime
2. Trasferimento di competenze dai partner francesi ai partner italiani sulle condizioni di recupero dei sedimenti terrestri (ingegneria civile e recupero energetico)
3. Armonizzazione e sviluppo congiunto di un approccio integrato alla valutazione fisico-chimica ed ecotossicologica (lavoro da sviluppare ulteriormente)
4. Trattamento e pretrattamento dei sedimenti



Quadro europeo (direttiva quadro sui rifiuti, direttiva sull'uscita dallo stato di rifiuto, direttiva sull'edilizia, economia circolare, ecc.)

Per quanto riguarda le opere marine, l'aumento delle conoscenze sui sedimenti dragati e trattati dovrebbe portare allo sviluppo di una valida alternativa all'utilizzo di materie prime naturali in questo settore. Il riutilizzo di materiali provenienti da operazioni di dragaggio in opere marittime può avere il vantaggio (cioè rispetto al recupero a terra) di ridurre il consumo di risorse naturali in un contesto in cui la presenza di sali nei sedimenti non sarà un problema.

In Italia, con il Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 173/2016, il regolamento è approvato e detta le modalità tecniche e i criteri per 1) la caratterizzazione ; 2) la classificazione ; 3) l'individuazione delle possibili opzioni di gestione dei sedimenti marini e salmastri da movimentare.

Esempi pratici e consolidati di quest'ultimo sono principalmente :

- Alimentazione di spiagge emerse e sommerse
- Riempimento di banchine e infrastrutture portuali (ad es. fondamenta stradali e ponti portuali) ...
- Riempimento dei serbatoi di riempimento (che diventeranno principalmente piazzali e spazi per l'utilizzo delle attività portuali)
- Difesa costiera e opere antiersione

Come indicato in precedenza, in Francia non è stata ancora definita la metodologia per l'accettazione dei sedimenti dragati per le operazioni di recupero nelle opere marittime. Il riutilizzo più appropriato deve essere definito sulla base del tipo di sedimenti dragati, del livello accettabile di contaminazione e sulla base di diversi fattori territoriali, economici e ambientali quali: caratteristiche dell'ambiente costiero circostante, tipo e dimensione dei depositi di sedimenti, eventuale trattamento dei sedimenti per ridurre la contaminazione, costi associati ai metodi di trattamento, trasporto del materiale dragato e smaltimento dei materiali residui non appropriati, transito e stoccaggio provvisorio.

In Francia, l'obiettivo della gestione dei sedimenti a terra è innanzitutto la possibilità di utilizzare i sedimenti come materiale sostitutivo nelle opere di ingegneria civile o nelle tecniche stradali. Guide applicative, o anche regolamenti, sono stati pubblicati dal Ministero dell'Ambiente per fornire un quadro di riferimento per queste azioni di recupero.

I risultati incoraggianti ottenuti nell'ambito dei progetti pilota studiati, sia sul sito INSA di Tolone che sul sito ISPRA di Livorno, suggeriscono che si stanno aprendo interessanti prospettive di collaborazione tra le squadre e le autorità francesi e italiane su questi temi di recupero dei sedimenti.

Lo studio dell'approccio francese e italiano alla valutazione ambientale dei sedimenti ha permesso di evidenziare le loro specificità e la loro complementarità.

Per quanto riguarda l'approccio italiano, la valutazione della qualità dei sedimenti e la conseguente classificazione si basa sull'integrazione dei risultati relativi alle caratteristiche fisiche, chimiche ed ecotossicologiche dei materiali. I risultati ottenuti dalle analisi chimiche e le risposte dei test ecotossicologici possono essere elaborati attraverso un modello di valutazione della qualità dei sedimenti (SediquaSoft ©) che pondera i risultati dei diversi test della batteria in un indice di pericolosità sintetico (HQ : Hazard Quotient Quotient) e fornisce direttamente la classificazione dei sedimenti secondo il DM 173/2016.

La Francia, da parte sua, applica, per i sedimenti gestiti a terra, la regola generale per definire la natura pericolosa o non pericolosa dei rifiuti, derivata dalla trascrizione nel diritto francese della Direttiva Europea 2008/98/CE del 19 novembre 2008. In pratica, solo la proprietà H14 è rilevante e discriminataria per i sedimenti. La fattibilità del recupero di sedimenti non pericolosi viene poi valutata in base agli scenari di utilizzo nell'ingegneria civile, essenzialmente in funzione della disponibilità di sostanze inquinanti al percolamento.

La proposta di collaborazione mira all'evoluzione delle procedure francesi e italiane per portare, per entrambi i paesi, all'elaborazione di una procedura comune (o anche all'utilizzo di un software) per la classificazione dei sedimenti che integri tutti i criteri fisico-chimici ed ecotossicologici e consenta di determinare l'accettabilità del sedimento nei suoi diversi scenari di valorizzazione e gestione quali :

- Valorizzazione delle tecniche stradali continentali
- La valorizzazione nelle opere costiere o marittime
- Riciclaggio in materiali monolitici continentali
- Recupero in materiali monolitici costieri o marittimi
- Riemersione della spiaggia
- Smaltimento in aree marine non costiere
- Immersione in una vasca marina

Oltre ai test di lisciviazione sopra citati, la complementarietà dei test ecotossicologici francesi e italiani dedicati agli organismi continentali e marini permette di prevedere questo tipo di procedura integrata che copre tutti gli scenari di gestione in funzione degli ambienti e degli ecosistemi considerati, siano essi collegati o meno all'ambiente marino.

Per quanto riguarda le operazioni di "trattamento" nel senso più ampio del termine per i sedimenti dragati, questi possono rientrare in quattro categorie principali :

- a) Pretrattamento : separare il deposito in più frazioni in modo tale che almeno una di queste frazioni possa soddisfare le specifiche di un processo di riqualificazione o di un processo di post-trattamento necessario prima della riqualificazione.
- b) Trattamento : estrazione di sostanze inquinanti o modificazione chimica di alcune sostanze inquinanti che costituiscono un ostacolo al recupero nel loro stato attuale.
- c) Trasformazione o conversione (così com'è o dopo il pretrattamento) di tutto o parte del deposito in una risorsa recuperabile
- d) Incorporazione (così com'è o dopo il pretrattamento) di tutto o parte del deposito in una risorsa recuperabile, in particolare in materiali conformi alle specifiche d'uso

Ciascuna di queste categorie è stata testata nell'ambito del progetto SEDITERRA.

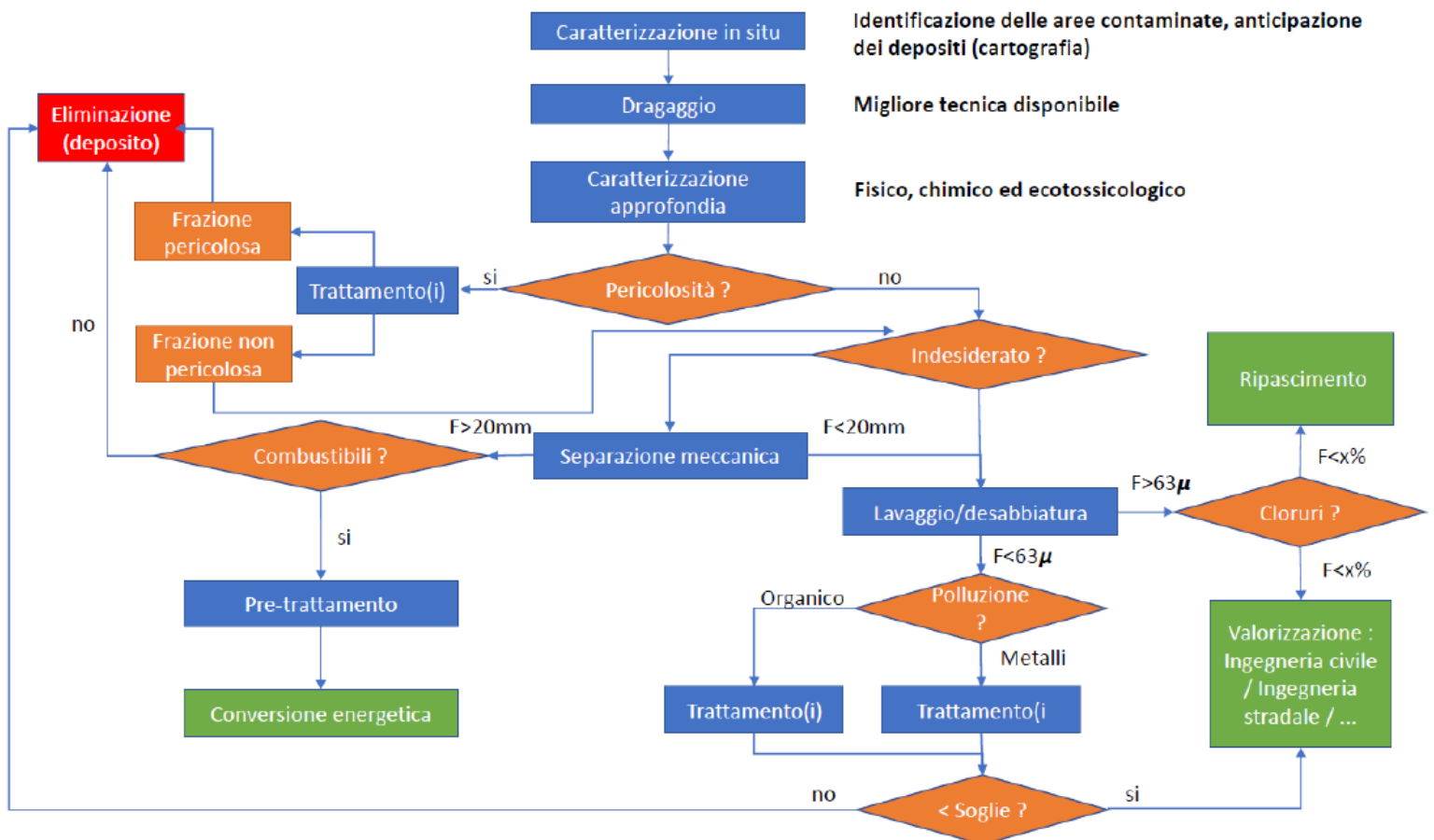
I protocolli e i risultati ottenuti sono presentati nei deliverable prodotti. La scelta e lo scopo del pretrattamento e del trattamento da attuare da soli o più in generale combinati dipenderà essenzialmente da :

- La natura dei sedimenti (natura mineralogica, indesiderabile, granulometria, ...)
- Potenziale di recupero (che dipenderà dalla natura dei sedimenti e soprattutto dal mercato locale in termini di sbocchi, sistemi di gestione e normative).

8.2) ALBERO DI DECISIONE

L'approccio globale da applicare, sviluppato congiuntamente dai partner francesi e italiani, può finalmente essere sintetizzato come illustrato nel diagramma di flusso che segue.

Molte sinergie e miglioramenti del sistema possono essere realizzati mettendo in comune le conoscenze dei team SEDITERRA, a beneficio di entrambi i territori.



SCHEMA DELL'APPROCCIO GLOBALE DA APPLICARE AD UN PROGETTO DI DRAGAGGIO

IX. ANNEXES / ALLEGATI

9.1) ANNEXE 1 / ALLEGATO 1

- **Fr** : Conditions pour lesquelles les travaux de dragage maritime sont soumis au régime de Déclaration ou d’Autorisation :

Lieu	Volume (m ³)	Seuils de qualité		
		≤ N1	> N1 ^A , < N2	≥ N2 ^A
Indifférent	≥ 500 000	A		
Atlantique - Manche- Mer du Nord Et Rejet ≥ 1 km de conchyliculture ou cultures marines	≥ 50 000	D	A	A
	< 50 000		D	
	≥ 5 000	n		
	< 5 000	n		
Autres façades OU Rejet < 1 km de conchyliculture cultures marines	≥ 5 000	D	A	A
	< 5 000		D	
	≥ 500	n		
	< 500	n		

D : déclaration ; A : autorisation ; n : non classé.

^A : seuil franchi pour au moins un des éléments.

Source : R.214-1 rubrique 4.1.3.0, du Code de l’Environnement.

- **It** : Condizioni per le quali i lavori di dragaggio marittimo sono sottoposti al regime di Dichiarazione o Autorizzazione :

Luogo	Volume (m ³)	Livelli qualitativi		
		≤ N1	> N1 ^A , < N2	≥ N2 ^A
Indifferente	≥ 500 000	A		
Atlantico - Manica- Mare del Nord e Scarico a ≥ 1 km da molluschicoltura e colture marine	≥ 50 000	D	A	A
	< 50 000		D	
	≥ 5 000	n		
	< 5 000	n		
Altre fasce costiere o scarico a < 1 km da molluschicoltura e colture marine	≥ 5 000	D	A	A
	< 5 000		D	
	≥ 500	n		
	< 500	n		

D: dichiarazione; A: autorizzazione; n: non classificato.

^A: soglia raggiunta da almeno uno degli elementi.

Fonte: art. R.214-1, rubrica 4.1.3.0 del Codice dell’Ambiente.

9.2) ANNEXE 2 / ALLEGATO 2

- **Fr : Seuils français N1, N2 et S1 de qualité des sédiments de dragage :**

Les tableaux suivants détaillent les niveaux N1, N2 et S1 à prendre en compte « *lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement* » et indiquent les textes réglementaires associés. Les valeurs sont exprimées en mg/kg ou µg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2mm.

- **It : Livelli francese N1, N2 e S1 di qualità dei sedimenti di dragaggio :**

Le seguenti tabelle illustrano i livelli di dettaglio N1, N2 e S1 da prendere in considerazione « *al momento dell'analisi dei rifiuti nelle acque di superficie o dei sedimenti marini, degli estuari o estratti da corsi d'acqua o canali, che rientrano rispettivamente nell'ambito delle rubriche 2.2.3.0, 4.1.3.0 e 3.2.1.0 della nomenclatura in allegato all'articolo R.214-1 del Codice dell'Ambiente* » e indicare i relativi strumenti statuari. I valori sono espressi in mg/kg o µg/kg di sedimento secco analizzato sulla frazione inferiore a 2mm.

Composés	Niveaux N1 (mg/kg MS)	Niveau N2 (mg/kg MS)	Texte réglementaire associé
Arsenic (As)	25	50	Arrêté du 9 août 2006
Cadmium (Cd)	1,2	2,4	
Chrome (Cr)	90	180	
Cuivre (Cu)	45	90	
Mercure (Hg)	0,4	0,8	
Nickel (Ni)	37	74	
Plomb (Pb)	100	200	
Zinc (Zn)	276	552	

Composés	Niveaux N1 (µg/kg MS)	Niveau N2 (µg/kg MS)	Texte réglementaire associé
TBT	100	400	Arrêté du 23 décembre 2009

Composés	Niveaux N1 (µg/kg MS)	Niveau N2 (µg/kg MS)	Texte réglementaire associé
Naphtalène	160	1 130	Arrêté du 8 février 2013
Acénaphène	15	260	
Acénaphylène	40	340	
Fluorène	20	280	
Anthracène	85	590	
Phénanthrène	240	870	
Fluoranthène	600	2 850	
Pyrène	500	1 500	
Benzo [a] anthracène	260	930	
Chrysène	380	1 590	
Benzo [b] fluoranthène	400	900	
Benzo [k] fluoranthène	200	400	
Benzo [a] pyrène	430	1 015	
Di benzo [a,h] anthracène	60	160	
Benzo [g,h,i] pérylène	1 700	5 650	
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650	

Composés	Niveaux N1 (µg/kg MS)	Niveau N2 (µg/kg MS)	Texte réglementaire associé
PCB congénère 28	5	10	Arrêté du 17 juillet 2014
PCB congénère 52	5	10	
PCB congénère 101	10	20	
PCB congénère 118	10	20	
PCB congénère 138	20	40	
PCB congénère 153	20	40	
PCB congénère 180	10	20	

Composés	Niveau S1 (mg/kg)	Texte règlementaire associé
As	30	Arrêté du 9 août 2006
Cd	2	
Cr	150	
Cu	100	
Hg	1	
Ni	50	
Pb	100	
Zn	300	
PCB totaux	0.680	
HAP Totaux	22.800	
TBT	0.1 (seuil N1)	

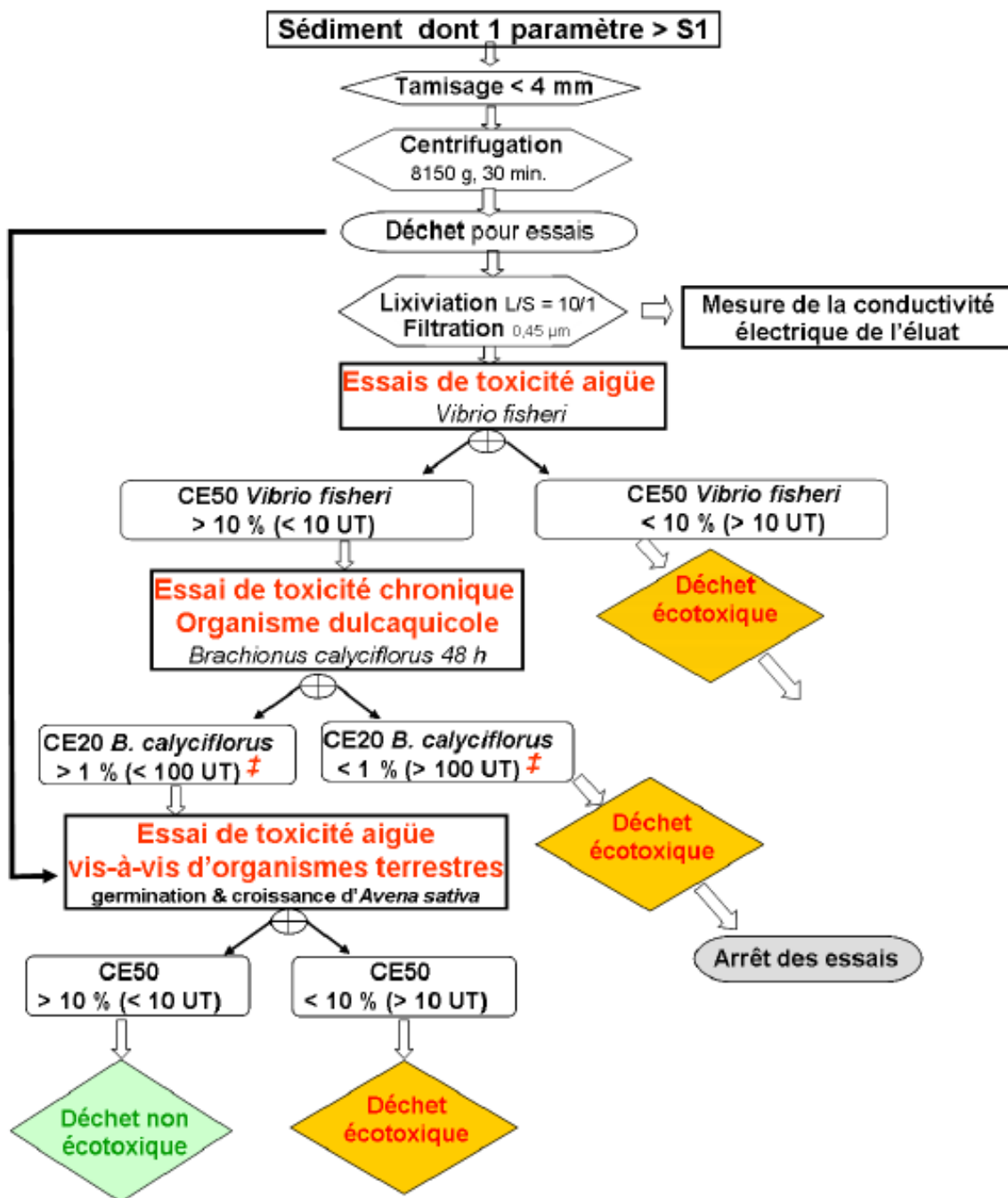
9.3) ANNEXE 3 / ALLEGATO 3

- Fr : Seuils proposés pour évaluer le caractère dangereux des sédiments au titre des propriétés de danger HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11, HP 13 (d'après INERIS/CEREMA)
- It : Soglie proposte per la valutazione della pericolosità dei sedimenti con proprietà di pericolo HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11, HP 13 (in accordo con INERIS/CEREMA)

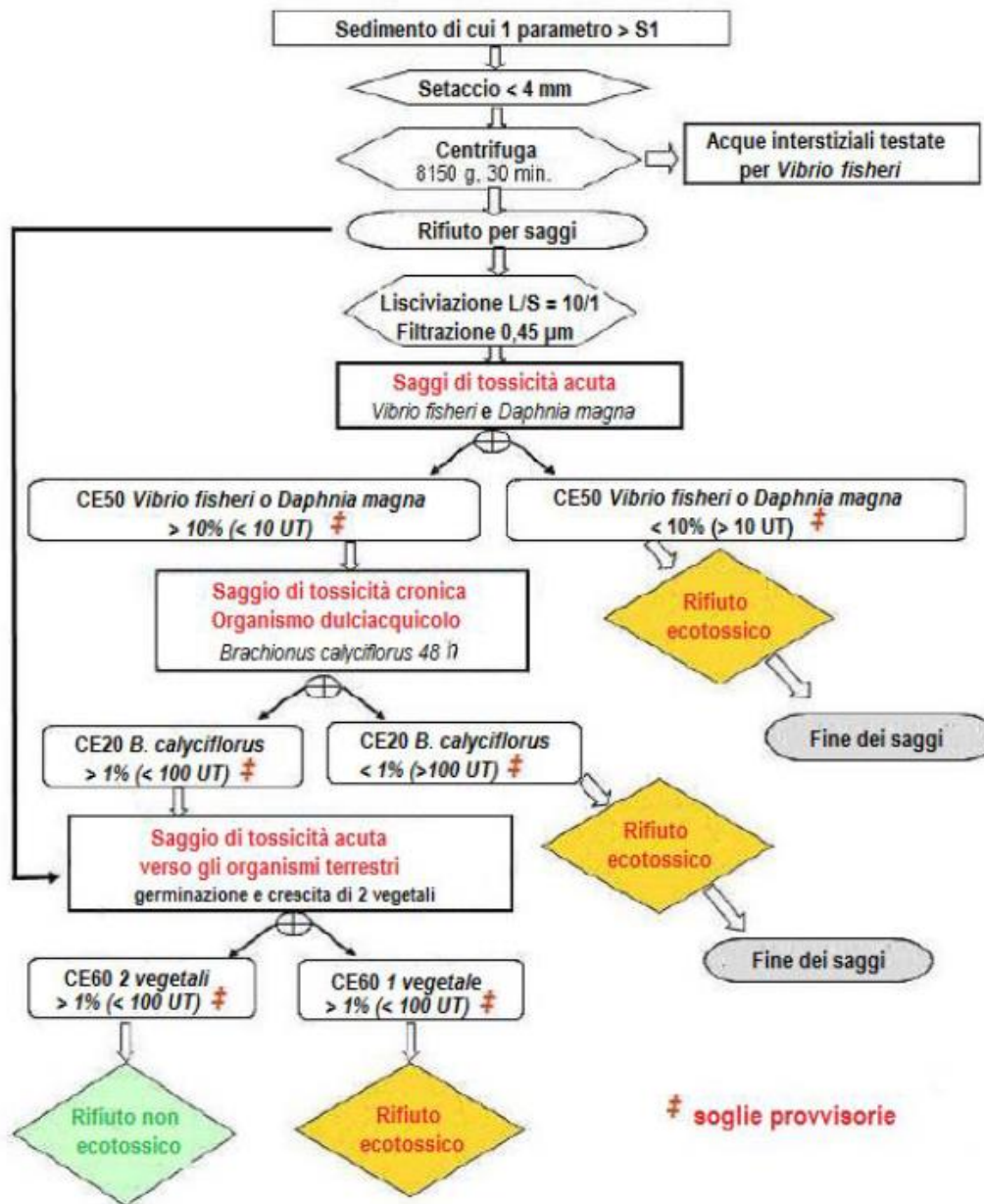
Paramètre	SEUILS PERMETTANT DE GARANTIR LE CARACTERE NON DANGEREUX D'UN SEDIMENT AU TITRE DES PROPRIETES DE DANGER HP 4 à 8, HP 10, HP 11 ET HP 13 <i>Démarche simplifiée</i> (mg/kg de matière sèche)
Arsenic	330
Cadmium	530
Chrome VI	250
Cuivre	4000
Mercure	500
Nickel	130
Plomb	1000
Zinc	7230
PCB (7 congénères)	50
HAP (16 US-EPA)	500
Tributylétain	3000

9.4) ANNEXE 4 / ALLEGATO 4

- Fr : Protocole établi par le Groupe de Travail « Dangerosité des sédiments » du MEEDDM pour la mesure de l'écotoxicité (propriété HP 14) des sédiments marins et continentaux destinés à une gestion a terre (1er octobre 2009)



- It : Protocollo elaborato dal Gruppo di Lavoro « Pericolosità dei sedimenti » del MEEDDM per la misurazione dell'ecotossicità (caratteristica HP 14) dei sedimenti marini e continentali destinati alla gestione terrestre (1 ottobre 2009)



CE 50 O CE 20 = concentrazione dell'eluato o della matrice solida che comporta il 50% o il 20% dell'effetto tossico massimo

Y % = tasso di diluizione dell'eluato o della matrice solida

UT = unità tossica

9.5) ANNEXE 5 / ALLEGATO 5

- **Fr : Criteres à respecter pour l'acceptation de déchets inertes :**

→ Paramètres à analyser lors du test normalisé de lixiviation (selon NF EN 12457-2) et valeurs limites à respecter :

Paramètre	Valeur limite à respecter exprimée en mg/kg de matière sèche
As	0,5
Ba	20
Cd	0,04
Cr total	0,5
Cu	2
Hg	0,01
Mo	0,5
Ni	0,4
Pb	0,5
Sb	0,06
Se	0,1
Zn	4
Chlorure ⁽¹⁾	800
Fluorure	10
Sulfate ⁽¹⁾	1 000 ⁽²⁾
Indice phénols	1
COT (carbone organique total) sur éluat ⁽³⁾	500
FS (fraction soluble) ⁽¹⁾	4 000

(1) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble. (2) Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1 500 mg/l à un ratio L/S = 0,1 l/kg et 6 000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S = 10 l/kg. Il est nécessaire d'utiliser l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S = 0,1 l/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S = 10 l/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local. (3) Si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un pH compris entre 7,5 et 8,0. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

→ Paramètres à analyser en contenu total et valeurs limites à respecter :

Paramètre	Valeur limite à respecter exprimée en mg/kg de déchet sec
COT (carbone organique total)	30 000
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères)	1
Hydrocarbures (C10 à C40)	500
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	50

• **It : Criteri da rispettare per l'accettazione dei rifiuti inerti :**

→ Parametri da analizzare al momento del test standardizzato di lisciviazione (Secondo la NF EN 12457-2) e valori limite da rispettare :

Parametro	Valore limite da rispettare espresso in mg/kg di materiale secco
As	0,5
Ba	20
Cd	0,04
Cr totale	0,5
Cu	2
Hg	0,01
Mo	0,5
Ni	0,4
Pb	0,5
Sb	0,06
Se	0,1
Zn	4
Cloruro ⁽¹⁾	800
Fluoruro	10
Sulfato ⁽¹⁾	1000.2
Indice fenoli	1
COT (carbone organico totale) su eluato ⁽³⁾	500
FS (frazione solubile) ⁽¹⁾	4.000

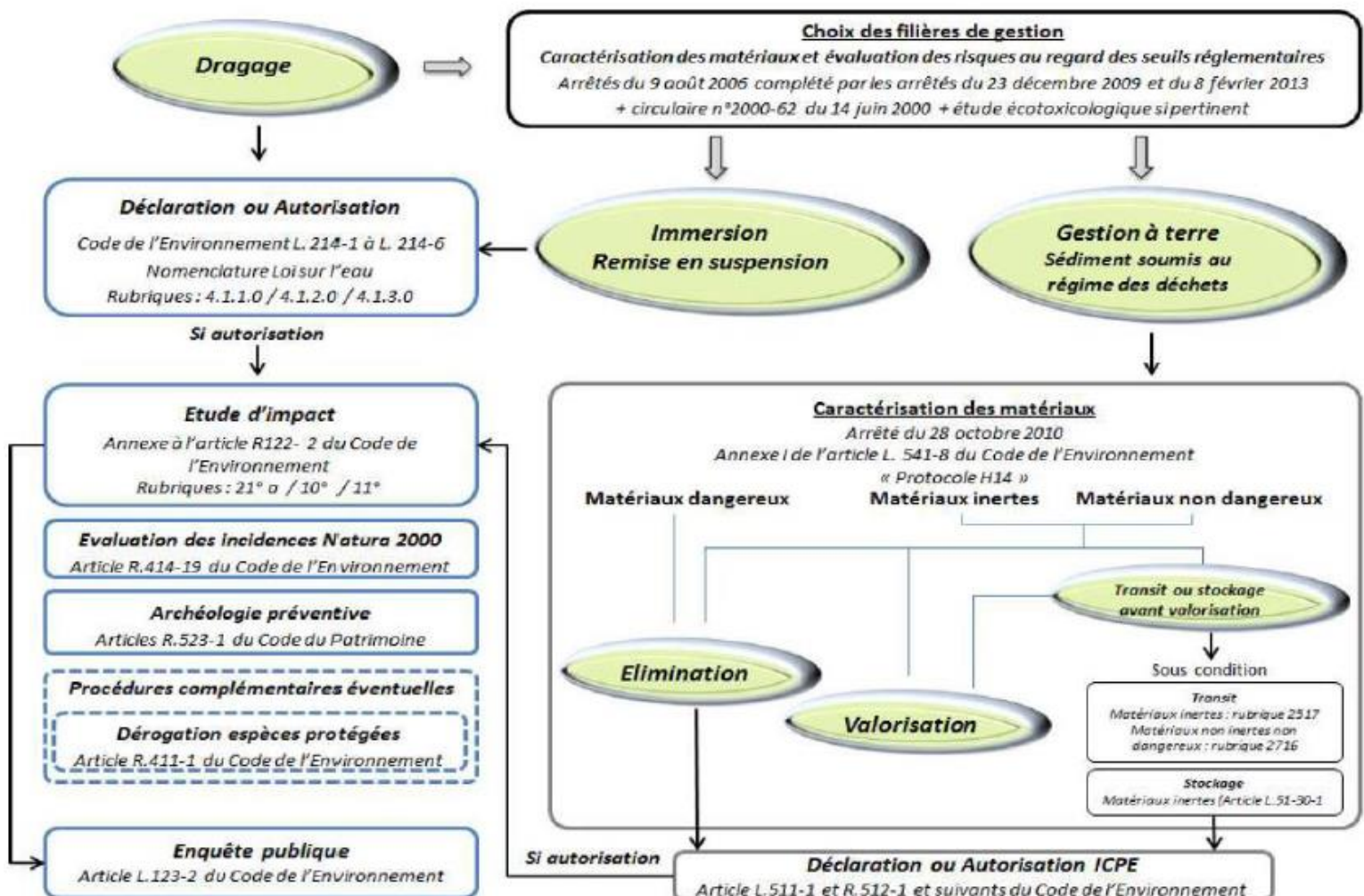
(1) Se il rifiuto non rispetta almeno uno dei valori stabiliti per il cloruro, il solfato o la frazione solubile, esso può essere ancora ritenuto conforme ai criteri di ammissione qualora rispetti o i valori associati al cloruro e al solfato o quello associato alla frazione solubile. (2) Se il rifiuto non rispetta questo valore per il solfato, può ancora essere ritenuto conforme ai criteri di ammissione qualora la lisciviazione non superi i seguenti valori 1 500 mg/l per una proporzione L/S = 0,1 l/kg e 6 000 mg/kg di materiale secco per una proporzione di L/S = 10 l/kg. È necessario utilizzare il saggio di percolamento NF CEN/TS 14405 per determinare il valore quando L/S = 0,1 l/kg, in condizioni di equilibrio iniziale ; il valore corrispondente a L/S = 10 l/kg può essere determinato da un saggio di lisciviazione NF EN 12457-2 o da un saggio di percolazione NF CEN/TS 14405 in condizioni che si avvicinano all'equilibrio locale. (3) Se il rifiuto non soddisfa il valore limite indicato per il carbonio organico totale su eluato al proprio valore di pH, può anche essere oggetto di un saggio di lisciviazione NF EN 12457-2 con un pH compreso tra 7,5 e 8,0. Il rifiuto può essere considerato conforme ai criteri d'ammissione per il carbonio organico totale su eluato qualora il risultato di quest'analisi non superi i 500 mg/kg di materiale secco.

→ Parametri da analizzare sui contenuti totali e valori limite da rispettare :

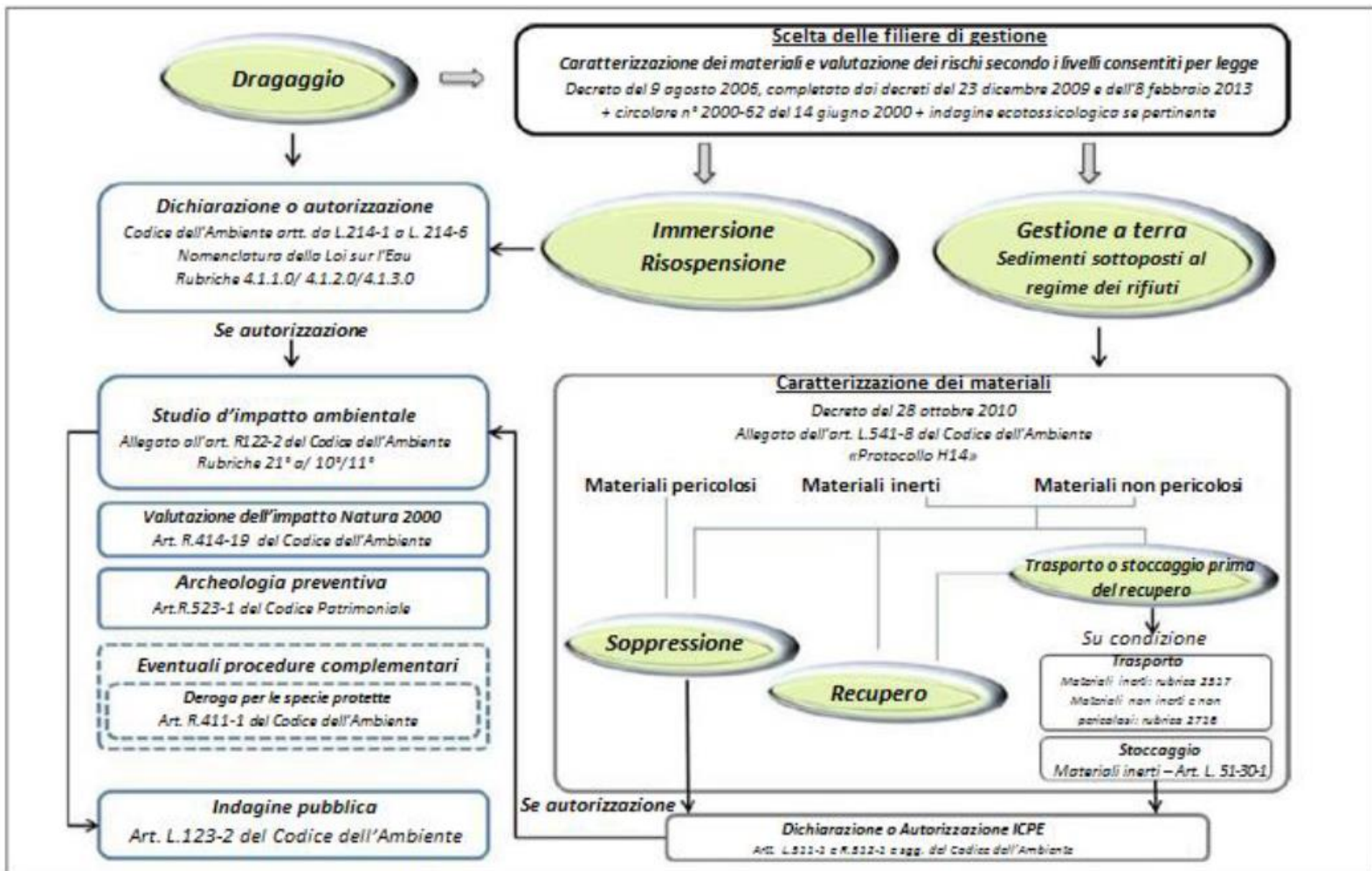
Parametro	Valori limite da rispettare espressi in mg/kg di rifiuto secco
COT (carbonio organico totale)	30.000
BTEX (benzene, toluene, etilbenzene e xilene)	6
PCB (policlorobifenili, 7 congeneri)	1
Idrocarburi (da C10 a C40)	500
IPA (idrocarburi policiclici aromatici)	50

9.6) ANNEXE 6 / ALLEGATO 6

- Fr : Synthèse des procédures règlementaires applicables à un projet de dragage et choix des filières de gestion (d'après « Guide pour la rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin – GEODE 2014 ») :



- It : Sintesi delle procedure normative applicabili ad un progetto di dragaggio e scelta delle opzioni di gestione (basato su « Guida per la preparazione degli studi di impatto per le operazioni di dragaggio e di smaltimento in estuario e in ambiente marino - GEODE 2014»)



9.7) ANNEXE 7 / ALLEGATO 7

- Fr : Seuils de contamination dans le sol et le sous-sol liés à l'utilisation spécifique des sites à réhabiliter (d'après tableau 1 - annexe 5 - partie IV du décret législatif 152/2006) :
- It : Soglia di contaminazione nel suolo e nel sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare (secondo la Tabella 1 - Allegato 5 - Parte IV del D.Lgs. 152/2006) :

	A Sites écologiques à usage public, privé et résidentiel (en mg/kg M.S.)	B Sites à usage commercial et industriel (en mg/kg M.S.)
Composti inorganici		
1	Antimonio	10
2	Arsenico	20
3	Berillio	2
4	Cadmio	2
5	Cobalto	20
6	Cromo totale	150
7	Cromo VI	2
8	Mercurio	1
9	Nichel	120
10	Piombo	100
11	Rame	120
12	Selenio	3
13	Stagno	1
14	Tallio	1
15	Vanadio	90
16	Zinco	150
17	Cianuri (liberi)	1
18	Fluoruri	100
Aromatici		
19	Benzene	0.1
20	Etilbenzene	0.5
21	Stirene	0.5
22	Toluene	0.5
23	Xilene	0.5
24	Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	1
Aromatici policiclici(1)		
25	Benzo(a)antracene	0.5
26	Benzo(a)pirene	0.1
27	Benzo(b)fluorantene	0.5
28	Benzo(k,)fluorantene	0.5
29	Benzo(g, h, i,)terilene	0.1
30	Crisene	5
31	Dibenzo(a,e)pirene	0.1
32	Dibenzo(a,l)pirene	0.1
33	Dibenzo(a,l)pirene	0.1
34	Dibenzo(a,h)pirene.	0.1
35	Dibenzo(a,h)antracene	0.1
36	Indenopirene	0.1
37	Pirene	5
38	Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34)	10
Alifatici clorurati cancerogeni (1)		
39	Clorometano	0.1
40	Diclorometano	0.1
41	Triclorometano	0.1
42	Cloruro di Vinile	0.01
43	1,2-Dicloroetano	0.2
44	1,1 Dicloroetilene	0.1
45	Tricloroetilene	1
46	Tetracloroetilene (PCE)	0.5
Alifatici clorurati non cancerogeni (1)		
47	1,1-Dicloroetano	0.5
48	1,2-Dicloroetilene	0.3
49	1,1,1-Tricloroetano	0.5
50	1,2-Dicloropropano	0.3
51	1,1,2-Tricloroetano	0.5
52	1,2,3-Tricloropropano	1
53	1,1,2,2-Tetracloroetano	0.5

	A Sites écologiques à usage public, privé et résidentiel (en mg/kg M.S.)	B Sites à usage commercial et industriel (en mg/kg M.S.)
Alifatici alogenati Cancerogeni (1)		
54 Tribromometano(bromoformio)	0.5	10
55 1,2-Dibromoetano	0.01	0.1
56 Dibromoclorometano	0.5	10
57 Bromodiclorometano	0.5	10
Nitrobenzeni		
58 Nitrobenzene	0.5	30
59 1,2-Dinitrobenzene	0.1	25
60 1,3-Dinitrobenzene	0.1	25
61 Cloronitrobenzeni	0.1	10
Clorobenzeni (1)		
62 Monoclorobenzene	0.5	50
63 Diclorobenzeni non cancerogeni (1,2-diclorobenzene)	1	50
64 Diclorobenzeni cancerogeni (1,4 - diclorobenzene)	0.1	10
65 1,2,4 -triclorobenzene	1	50
66 1,2,4,5-tetracloro-benzene	1	25
67 Pentaclorobenzene	0.1	50
68 Esaclorobenzene	0.05	5
69 Fenoli non clorurati (1)		
70 Metilfenolo(o-, m-, p-)	0.1	25
71 Fenolo	1	60
Fenoli clorurati (1)		
72 2-clorofenolo	0.5	25
73 2,4-diclorofenolo	0.5	50
74 2,4,6 - triclorofenolo	0.01	5
75 Pentaclorofenolo	0.01	5
Ammine Aromatiche (1)		
76 Anilina	0.05	5
77 o-Anisidina	0.1	10
78 m,p-Anisidina	0.1	10
79 Difenilamina	0.1	10
80 p-Toluidina	0.1	5
81 Sommatoria Ammine Aromatiche (da 73 a 77)	0.5	25
Fitofarmaci		
82 Alaclor	0.01	1
83 Aldrin	0.01	0.1
84 Atrazina	0.01	1
85 α-esacloroetano	0.01	0.1
86 β-esacloroetano	0.01	0.5
87 γ-esacloroetano (Lindano)	0.01	0.5
88 Clordano	0.01	0.1
89 DDD, DDT, DDE	0.01	0.1
90 Dieldrin	0.01	0.1
91 Endrin	0.01	2
Diossine e furani		
92 Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴
93 PCB	0.06	5
Idrocarburi		
94 Idrocarburi Leggeri C inferiore o uguale a 12	10	250
95 Idrocarburi pesanti C superiore a 12	50	750
Altre sostanze		
96 Amianto	1000 (*)	1000 (*)
97 Esteri dell'acido ftalico (ognuno)	10	60

ANNEXE 7bis / ALLEGATO 7bis

- Fr : Valeurs limites à respecter en contenu lixiviable pour « *Identification des déchets non dangereux soumis à des procédures simplifiées de valorisation* » - Annexe 3 du DM du 05/02/1998 :
- It : Valori limite di lisciviazione per « *Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero* » – DM 05/02/1998 Allegato 3 :

Allegato 3

CRITERI PER LA DETERMINAZIONE DEL TEST DI CESSIONE

Per la determinazione del test di cessione si applica l'appendice A alla norma UNI 10802, secondo la metodica prevista dalla norma UNI EN 12457-2. Solo nei casi in cui il campione da analizzare presenti una granulometria molto fine, si deve utilizzare, senza procedere alla fase di sedimentazione naturale, una ultracentrifuga (20000 G) per almeno 10 minuti. Solo dopo tale fase si potrà procedere alla successiva fase di filtrazione secondo quanto riportato al punto 5.2.2 della norma UNI EN 12457-2. I risultati delle determinazioni analitiche devono essere confrontati con i valori limite della seguente tabella:

Parametri	Unità di misura	Concentrazioni limite
Nitrati	Mg/l NO ₃	50
Fluoruri	Mg/l F	1,5
Solfati	Mg/l SO ₄	250
Cloruri	Mg/l Cl	100
Cianuri	microngrammi/l Cn	50
Bario	Mg/l Ba	1
Rame	Mg/l Cu	0.05
Zinco	Mg/l Zn	3
Berillio	microngrammi/l Be	10
Cobalto	microngrammi/l Co	250
Nichel	microngrammi/l Ni	10
Vanadio	microngrammi/l V	250
Arsenico	microngrammi/l As	50
Cadmio	microngrammi/l Cd	5
Cromo totale	microngrammi/l Cr	50
Piombo	microngrammi/l Pb	50
Selenio	microngrammi/l Se	10
Mercurio	microngrammi/l Hg	1
Amianto	Mg/l	30
COD	Mg/l	30
PH		5,5 <> 12,0

In sede di approvazione del progetto di cui all'articolo 5 del presente decreto, vengono stabiliti i parametri significativi e rappresentativi del rifiuto che devono essere determinati in relazione alle particolari caratteristiche del sito o alla natura del rifiuto

9.8) ANNEXE 8 / ALLEGATO 8

- Fr : Niveaux chimiques italiens de référence L1 et L2 (en mg/kg de M.S.) – d’après annexes techniques de l’article 109 du Décret Législatif n°152 du 3 avril 2006 (D. lgs. 152/2006) :
- It : Livelli chimici italiano di riferimento L1 e L2 (in mg/kg di P.S.) - secondo gli allegati tecnici dell'articolo 109 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (D. lgs. 152/2006) :

PARAMETRO	L1	L2
Elementi in tracce	[mg kg⁻¹] p.s.	
Arsenico	12	20
Cadmio	0,3	0,80
Cromo	50	150
Cr VI	2	2
Rame	40	52
Mercurio	0,3	0,80
Nichel	30	75
Piombo	30	70
Zinco	100	150
Contaminanti organici	[µg kg⁻¹] p.s.	
Composti organostannici	5 ⁽¹⁾	72 ⁽²⁾
Σ PCB ⁽³⁾	8	60
Σ DDD ⁽⁴⁾	0,8	7,8
Σ DDE ⁽⁴⁾	1,8	3,7
Σ DDT ⁽⁴⁾	1,0	4,8
Clordano	2,3	4,8
Aldrin	0,2	10 ⁷
Dieldrin	0,7	4,3
Endrin	2,7	10

PARAMETRO	L1	L2
α -HCH	0,2	10^7
β -HCH	0,2	10^7
γ -HCH (Lindano)	0,2	1,0
Eptacloro epossido	0,6	2,7
HCB	0,4	50^7
Idrocarburi C>12	Non disponibile	50000
Σ IPA(16) ⁽⁵⁾	900	4000
Antracene	24	245
Benzo[a]antracene	75	500
Benzo[a]pirene	30	100
Benzo[b]fluorantene	40	500^7
Benzo[k]fluorantene	20	500^7
Benzo[g,h,i]perilene	55	100^7
Crisene	108	846
Indenopirene	70	100^7
Fenantrene	87	544
Fluorene	21	144
Fluorantene	110	1494
Naftalene	35	391
Pirene	153	1398
Σ T.E. PCDD,PCDF ⁽⁶⁾ (Diossine e Furani) e PCB diossina simili	2×10^{-3}	$1 \times 10^{-2*}$

⁽¹⁾ riferito al solo TBT

⁽²⁾ riferito alla sommatoria di MBT, DBT, TBT;

⁽³⁾ come sommatoria dei seguenti congeneri: 28, 52, 77, 81, 101, 118, 126, 128, 138, 153, 156, 169, 180;

⁽⁴⁾ come sommatoria degli isomeri 2,4 e 4,4;

⁽⁵⁾ come sommatoria dei 16 IPA di maggior rilevanza ambientale indicati dall'USEPA (Acenaftilene, Benzo(a)antracene, Fluorantene, Naftalene, Antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Crisene, Indeno(1,2,3,c-d)pirene;

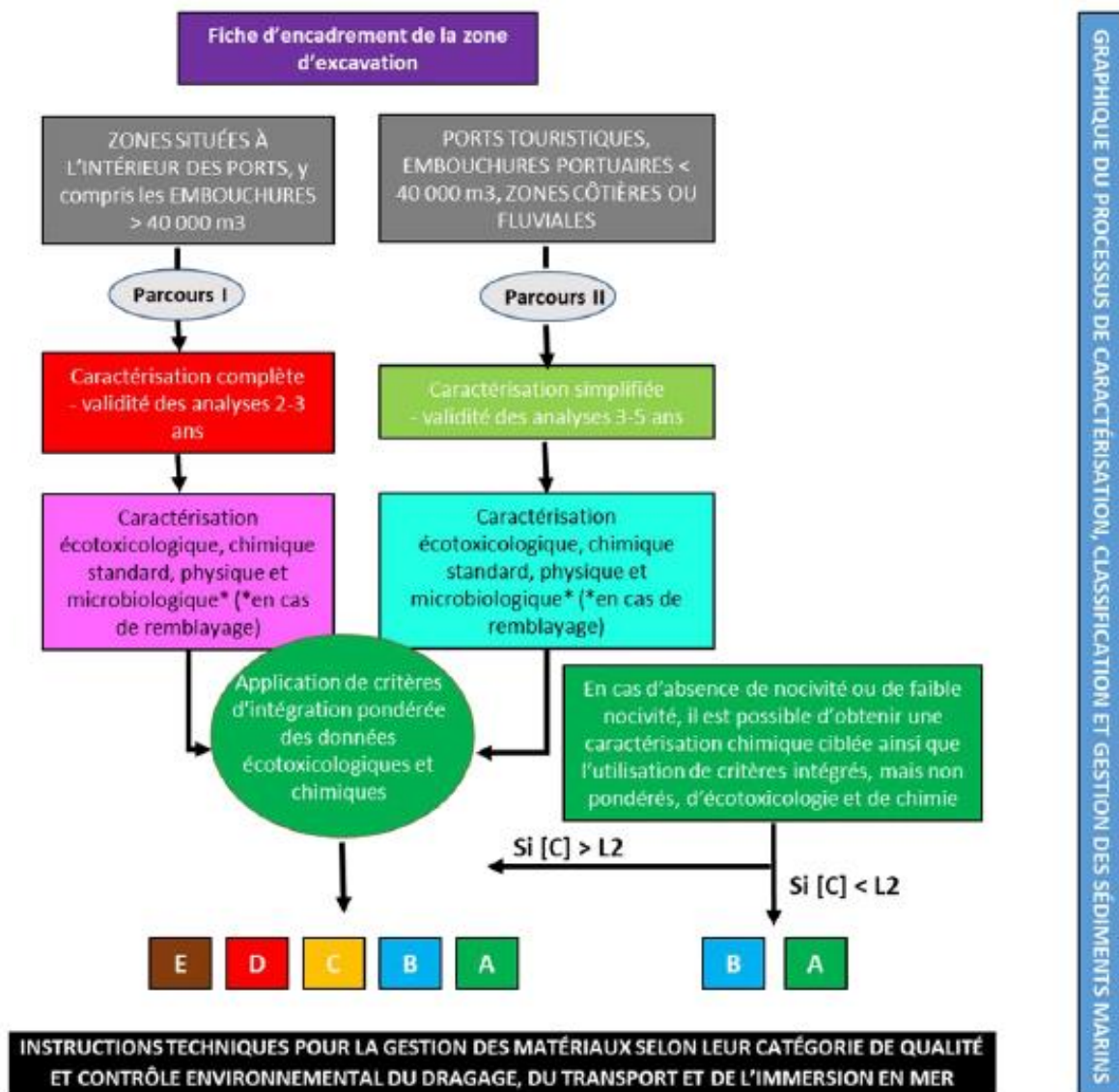
⁽⁶⁾ L'Elenco dei congeneri e relativi Fattori di Tossicità Equivalenti (EPA, 1989) e l'elenco congeneri PCB Diossina simili (WHO, 2005) e quello riportato alle note della tabella 3/A di cui al D.Lgs.172/2015.

⁽⁷⁾ Concentrazione valida solo per attività di ripascimento emerso;

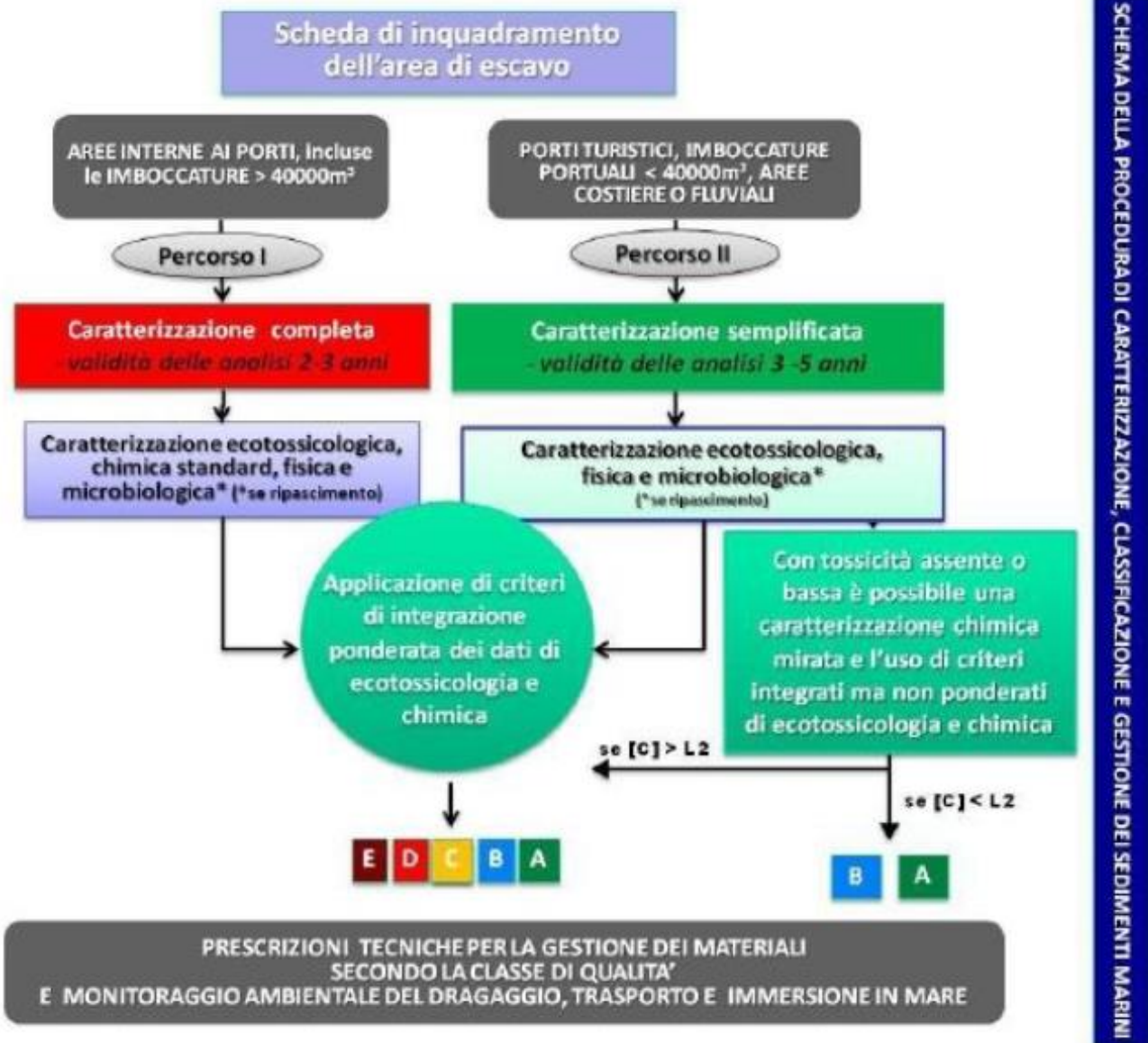
* relativa alla sommatoria di PCDD e PCDF

9.9) ANNEXE 9 / ALLEGATO 9

- Fr : Schéma des procédures de caractérisation, classification et gestion des matériaux de dragage dans des zones NON SIN :



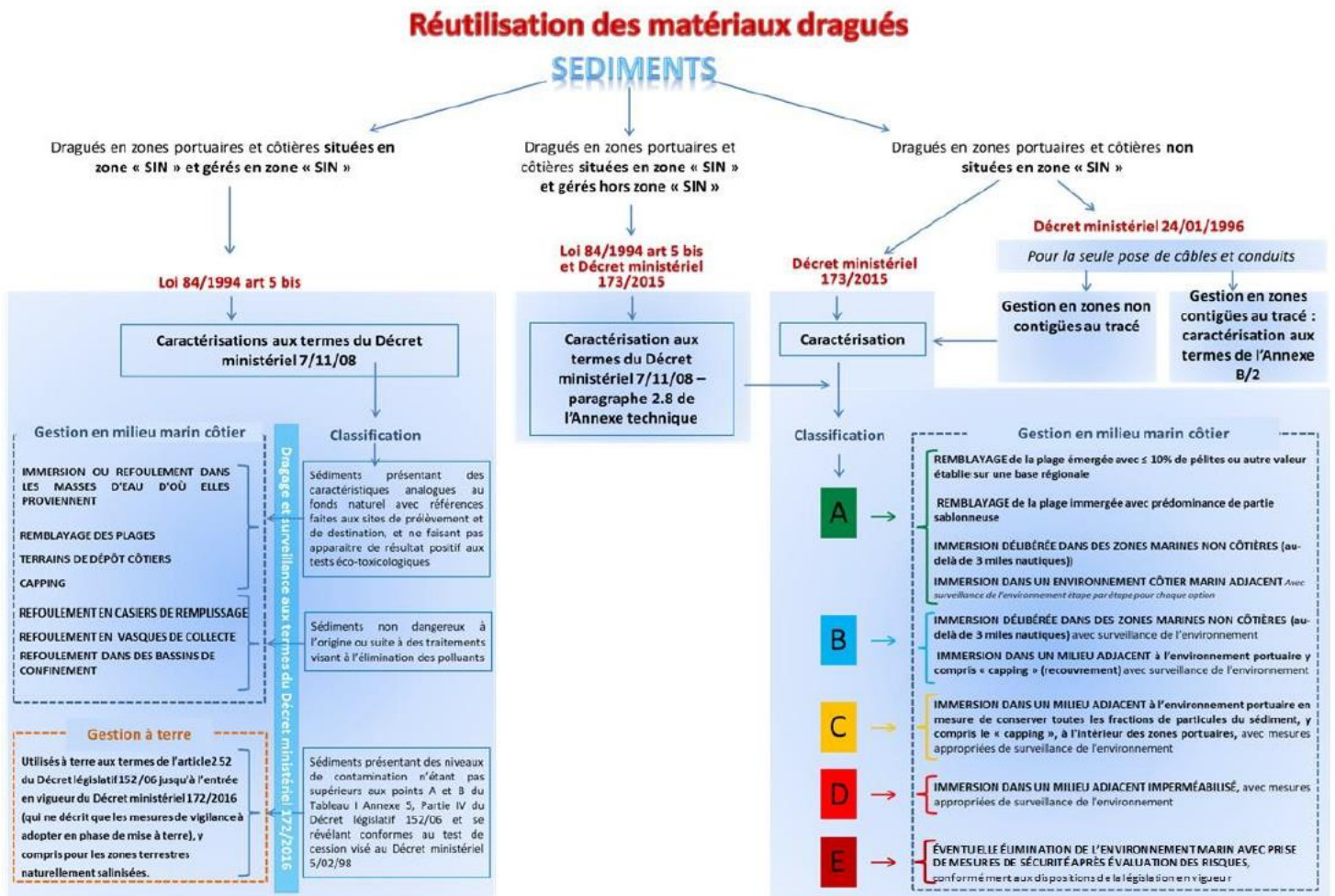
- It : Schema di inquadramento delle procedure di caratterizzazione, classificazione e gestione dei materiali di escavo nelle aree NON SIN :



9.10) ANNEXE 10 / ALLEGATO 10

- Fr : Schéma récapitulatif relatif au réemploi des sédiments dragués en Italie (& normes en vigueur) :

Cadre général italien pour la caractérisation, la classification et la gestion des matériaux



Classification de la qualité des sédiments selon des critères d'intégration pondérés - HQ_C = Hazard Quotient (chimique)

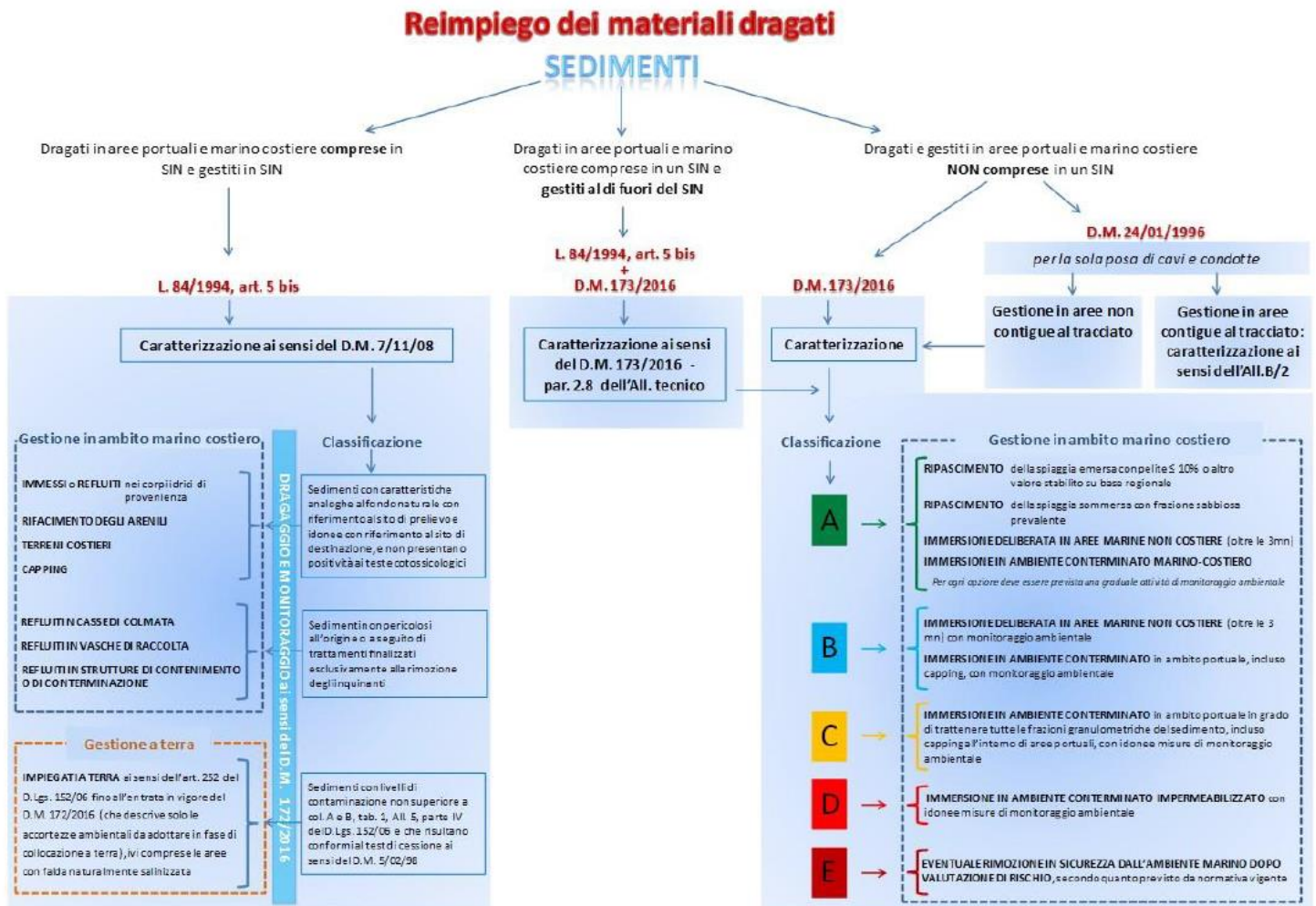
Classe di pericolo ecotossicologico elaborato per l'intera batteria (HQ _{Quattoria})	Classificazione chimica	Classe di Qualità del materiale
Assente	HQ _C (L2) ≤ Trascurabile	A
	Basso ≤ HQ _C (L2) ≤ Medio	B
	HQ _C (L2) = Alto	C
Basso	HQ _C (L2) > Alto	D
	HQ _C (L1) ≤ Basso	A
	HQ _C (L1) ≥ Medio e HQ _C (L2) ≤ Basso	B
Medio	Medio ≤ HQ _C (L2) ≤ Alto	C
	HQ _C (L2) > Alto	D
≥ Alto	HQ _C (L2) ≤ Basso	C
	HQ _C (L2) ≥ Medio	D
	HQ _C (L2) ≤ Basso	D
	HQ _C (L2) ≥ Medio	E

Classification des sédiments sur la base de critères tabulaires – [C] = Concentration chimique

Classe di tossicità	Classe chimica	Classe di Qualità del materiale
Assente	[C] ≤ L2	A
	[C] > L2	Da determinare secondo i criteri ponderati di cui alla tabella 2.5 ⁽⁴⁹⁾
Bassa	[C] ≤ L1	A
	L1 < [C] ≤ L2	B
Media	[C] > L2	Da determinare secondo i criteri ponderati di cui alla tabella 2.5 ⁽⁴⁹⁾
	[C] ≤ L2	C
≥ Alta	[C] > L2	D
	[C] ≤ L2	D
	[C] > L2	E

- It : Schema riassuntivo per il reimpiego dei sedimenti dragati in Italia (& norme attuali in vigore) :

Quadro generale per la caratterizzazione, classificazione e gestione dei materiali



Classificazione della Qualità dei sedimenti secondo i criteri di integrazione ponderata.
 HQ_c = Hazard Quotient (chimico)

Classificazione dei sedimenti basata sui criteri tabellari; [C] = concentrazione

Classe di pericolo ecotossicologico elaborato per l'intera batteria ($HQ_{Batteria}$)	Classificazione chimica	Classe di Qualità del materiale
Assente	$HQ_c (L2) \leq$ Trascurabile	A
	Basso $\leq HQ_c (L2) \leq$ Medio	B
	$HQ_c (L2) =$ Alto	C
	$HQ_c (L2) >$ Alto	D
Basso	$HQ_c (L1) \leq$ Basso	A
	$HQ_c (L1) \geq$ Medio e $HQ_c (L2) \leq$ Basso	B
	Medio $\leq HQ_c (L2) \leq$ Alto	C
	$HQ_c (L2) >$ Alto	D
Medio	$HQ_c (L2) \leq$ Basso	C
	$HQ_c (L2) \geq$ Medio	D
\geq Alto	$HQ_c (L2) \leq$ Basso	D
	$HQ_c (L2) \geq$ Medio	E

Classe di tossicità	Classe chimica	Classe di Qualità del materiale
Assente	$[C] \leq L2$	A
	$[C] > L2$	Da determinare secondo i criteri ponderati di cui alla tabella 2.5 ⁽⁴⁹⁾
Bassa	$[C] \leq L1$	A
	$L1 < [C] \leq L2$	B
Media	$[C] > L2$	Da determinare secondo i criteri ponderati di cui alla tabella 2.5 ⁽⁴⁹⁾
	$[C] \leq L2$	C
	$[C] > L2$	D
\geq Alta	$[C] \leq L2$	D
	$[C] > L2$	E