



Projet SEDITERRA (N°CUP : I42F17000010006)



**LIVRABLE T1. 2.4 : INVENTAIRE DES MÉTHODOLOGIES DE CARACTÉRISATIONS
AVANT DRAGAGE, DES TRAITEMENTS, OUTILS EXISTANTS ET FILIÈRES DE
GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE MARINS ET ESTUARIENS DE L'AREA
MARITTIMO**

**PRODOTTO T1.2.4 : INVENTARIO DELLE METODOLOGIE DI CARATTERIZZAZIONE
ANTECEDENTI AL DRAGAGGIO, DEI TRATTAMENTI, DEGLI STRUMENTI ESISTENTI
E DELLE FILIERE DI GESTIONE NELL'AREA MARITTIMO**



INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON



ANNÉE 2018 / ANNO 2018

<p>Nom du livrable :</p> <p>Nome del deliverable :</p>	<p>Inventaire des méthodologies de caractérisations avant dragage, des traitements, outils existants et filières de gestion des sédiments de dragage marins et estuariens de l'aire Marittimo</p> <p>Inventario delle metodologie di caratterizzazione antecedenti al dragaggio, dei trattamenti, degli strumenti esistenti e delle filiere di gestione nell'area Marittimo</p>
<p>Rédigé (parties françaises) et mise en forme globale par :</p>	<p>Erwan Tessier (INSA de Lyon)</p>
<p>Redatto da : (parties italiennes)</p>	<p>Greta Vagge - Laura Cutroneo (DISTAV Gènes) Enrichetta Barbieri - Fabiano Pilato (ISPRA Livourne) Alessandra Zoppeddu (RAS Cagliari)</p>
<p>Validé par :</p> <p>Validato da :</p>	<p>Ilaria Tivolle (CD83) Jacques Méhu (INSA de Lyon)</p> <p>Marco Capello (DISTAV Genova) David Pellegrini (ISPRA Livourne)</p>

ORGANISATION DU DOCUMENT :

RÉSUMÉS DES CONTRIBUTIONS EN FRANÇAIS ET EN ITALIEN

CONTRIBUTION INTÉGRALE FRANÇAISE (en français)

CONTRIBUTION INTÉGRALE ITALIENNE (en français)

CONTRIBUTION INTÉGRALE FRANÇAISE (en italien)

CONTRIBUTION INTÉGRALE ITALIENNE (en italien)

ORGANIZZAZIONE DEL DOCUMENTO :

RIASSUNTO DEI CONTRIBUTI IN FRANCESE E ITALIANO

CONTRIBUTO FRANCESE INTEGRALE (in francese)

CONTRIBUTO ITALIANO INTEGRALE (in francese)

CONTRIBUTO FRANCESE INTEGRALE (in italiano)

CONTRIBUTO ITALIANO INTEGRALE (in italiano)

SOMMAIRE GÉNÉRAL

I.	RÉSUMÉ CONTRIBUTION FRANÇAISE	8
1.1	Méthodologies de caractérisation avant dragage	8
1.2	Déroulé de l'opération de dragage	8
1.3	Echantillonnage des sédiments avant dragage	9
1.4	Technique et moyens de prélèvement des échantillons de sédiments	11
1.5	Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments à draguer	12
1.6	Gestion à terre des sédiments de dragage	13
II.	RÉSUMÉ CONTRIBUTION ITALIENNE	18
2.1	Introduction	18
2.2	Zones SIN - Caractérisation des sédiments avant dragage	18
2.3	Zones hors SIN - caractérisation des sédiments avant dragage	22
2.4	Technologies de traitement des sédiments	28
III.	RIASSUNTO DEL CONTRIBUTO FRANCESE	30
3.1	Metodologie di caratterizzazione prima del dragaggio	30
3.2	Svolgimento dell'operazione di dragaggio	31
3.3	Campionamento dei sedimenti prima del dragaggio	31
3.4	Tecniche e metodi di prelievo dei campioni di sedimenti	33
3.5	Analisi da realizzare per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare	34
3.6	Gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio	35
IV.	RIASSUNTO DEL CONTRIBUTO ITALIANO	40
4.1	Introduzione	40
4.2	Aree SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio	40
4.3	Strategia di campionamento	44
4.4	Tecnologie di trattamento dei sedimenti	51
V.	CONTRIBUTION INTÉGRALE FRANCAISE	53
5.1	Méthodologies de caractérisation avant dragage	54
5.2	Déroulé de l'opération de dragage	55
5.3	Echantillonnage des sédiments avant dragage	56
5.3.1	Principes généraux	56
5.3.2	Réalisation de l'échantillonnage	59
5.4	Technique et moyens de prélèvement des échantillons de sédiments	62

5.4.1	Moyens pour le prélèvement de sédiments superficiels	63
5.4.2	Moyens pour le prélèvement de carottes	63
5.4.3	Moyens logistiques associés	65
5.4.4	Mode opératoire pour la réalisation de l'échantillonnage	65
5.5	Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments à draguer	67
5.6	Gestion à terre des sédiments de dragage	69
5.6.1	Cadre réglementaire	69
5.6.2	Stockage définitif du déchet sédiment	75
5.6.3	Installations Classées Pour l'Environnement ICPE	77
5.6.4	Traitements des sédiments et outils existants	79
5.6.5	Filières de valorisation disponibles pour les sédiments de dragage	82
5.7	Contexte - Usage et Besoins des ports varois	94
5.8	Références bibliographiques - réglementaires - normatives	95
VI.	CONTRIBUTION INTÉGRALE ITALIENNE	100
6.1	Introduction	101
6.2	Zones SIN - Caractérisation des sédiments avant le dragage	101
6.2.1	Stratégie d'échantillonnage	102
6.2.2	Méthodes d'échantillonnage	104
6.2.3	Sous-échantillonnage et préparation des échantillons	105
6.2.4	Traitement et conservation des échantillons	106
6.2.5	Critères applicables au choix des laboratoires d'analyses	108
6.2.6	Analyses prévues	108
6.2.7	Modalités de restitution des résultats	114
6.2.8	Traitement et évaluation des résultats de la caractérisation	114
6.2.9	Gestion dans le milieu marin-côtier et à terre	116
6.3	Autres zones que les SIN- Caractérisation des sédiments avant le dragage	117
6.3.1	Fiche de définition de la zone d'excavation	118
6.3.2	Stratégie d'échantillonnage	118
6.3.3	Méthodes d'échantillonnage	120
6.3.4	Analyses prévues	124
6.3.5	Classification des sédiments	129
6.3.6	Gestion des sédiments dans l'environnement marin-côtier	131
6.3.7	Résultats de la caractérisation des sédiments	132

6.4	Technologie de traitement des sédiments	132
6.4.1	Technologies de traitement in situ	133
6.4.2	Technologies de traitement hors site	137
6.5	Conclusions	144
6.6	Documents de référence	145
VII.	CONTRIBUTO FRANCESE INTEGRALE	146
7.1	Metodologie di caratterizzazione prima del dragaggio	147
7.2	Svolgimento dell'operazione di dragaggio	148
7.3	Campionamento dei sedimenti prima del dragaggio	149
7.3.1	Principi generali	149
7.3.2	Campionamento	152
7.4	Tecniche e metodi di prelievo dei campioni di sedimenti	154
7.4.1	Strumenti per il prelievo dei sedimenti superficiali	155
7.4.2	Strumenti per il prelievo di carote di sedimenti	155
7.4.3	Strumenti logistici associati	157
7.4.4	Modalità operative per il campionamento	157
7.5	Analisi da realizzare per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare	159
7.6	Gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio	161
7.6.1	Quadro normativo	161
7.6.2	Stoccaggio definitivo del rifiuto sedimento	167
7.6.3	Impianti classificati per l'ambiente (ICPE)	169
7.6.4	Trattamento dei sedimenti e strumenti esistenti	170
7.6.5	Filiere di recupero disponibili per i sedimenti di dragaggio	173
7.7	Contesto - Utilizzo e bisogni dei porti del dipartimento del Var	185
7.8	Riferimenti bibliografici, regolamentari e normativi	185
VIII.	CONTRIBUTO ITALIANO INTEGRALE	190
8.1	Introduzione	191
8.2	Aree SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio	191
8.2.1	Strategia di campionamento	191
8.2.2	Metodiche di campionamento	193
8.2.3	Subcampionamento e Preparazione dei campioni	195
8.2.4	Trattamento e Conservazione dei campioni	196

8.2.5	Criteri per la scelta dei laboratori incaricati per le analisi	197
8.2.6	Analisi previste	198
8.2.7	Modalità di restituzione dei risultati	204
8.2.8	Elaborazione e Valutazione dei risultati della caratterizzazione	204
8.2.9	Gestione in ambito marino-costiero e a terra	205
8.3	Aree non SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio	207
8.3.1	Scheda di inquadramento dell'area di escavo	207
8.3.2	Strategia di campionamento	208
8.3.3	Metodiche di campionamento	210
8.3.4	Analisi previste	213
8.3.5	Classificazione dei sedimenti	218
8.3.6	Gestione dei sedimenti in ambito marino-costiero	220
8.3.7	Risultati della caratterizzazione dei sedimenti	221
8.4	Tecnologie di trattamento dei sedimenti	221
8.4.1	Tecnologie di trattamento in situ	222
8.4.2	Tecnologie di trattamento ex situ	226
8.5	Conclusioni	232
8.6	Documenti di riferimento	233

I. RÉSUMÉ CONTRIBUTION FRANÇAISE

Cette contribution de l'INSA de Lyon au livrable T1.2.4 du projet SEDITERRA a pour objectif de résumer les méthodologies appliquées en France pour la gestion des sédiments de dragage. Cette méthodologie s'étend de la caractérisation pré-dragage jusqu'au choix des filières de gestion des sédiments dragués.

1.1) Méthodologies 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 œuvre pour minimiser les impacts sur l'environnement
- Le mode de gestion des matériaux dragués (gestion marine ou terrestre)

1.2) Déroulé de l'opération de dragage

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 œuvre 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.

1.3) 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 œuvre 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 réplicats 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 moyenner 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)

1.4) 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).

1.5) Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments à 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 2013, 94% des sédiments dragués demeure la solution technique la plus facile et la plus économique à mettre en œuvre. 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.

1.6) Gestion à terre des sédiments de dragage

Cadre réglementaire : Le cadrage réglementaire de la gestion terrestre des sédiments de dragage a pour objectif de classer le sédiment selon la réglementation « Déchet ».

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

Ces rubriques dites « entrées miroirs » sont destinées aux déchets pour lesquels il n'existe pas de critères systématiques de distinction entre les lots dangereux et non dangereux. Par conséquent, 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 des teneurs présentes dans le sédiment avec des valeurs seuils (définies par le groupe de Travail « Dangersité » piloté par l'Inéris et le Cerema). 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 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.

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.

Stockage définitif du déchet sédiment : 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).

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).

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.

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 réglementaire 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 ; soit d'isoler certaines fractions spécifiques du déchet pour limiter le volume à stocker et augmenter la part valorisable.

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 ».

Exemples d'opérations de pré-traitements et traitements des sédiments : Déshydratation ; Criblage/Dégrillage ; Bioremédiation ; Hydrocyclonage, Centrifugation ; Ajout de flocculants ou autres additifs chimiques (ex. phosphatation, chaulage, additifs minéraux, liants hydrauliques) ; Traitements thermiques (désorption thermique, incinération, pyrolyse, vitrification).

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. Epandage 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 (3^{ème} 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 %.

Épandage 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 œuvre 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 œuvre 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.

II. RÉSUMÉ CONTRIBUTION ITALIENNE

2.1) Introduction

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.

2.2) Zones SIN (Sites d'Intérêt National) - Caractérisation des sédiments avant dragage

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.

Choix des échantillons

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.

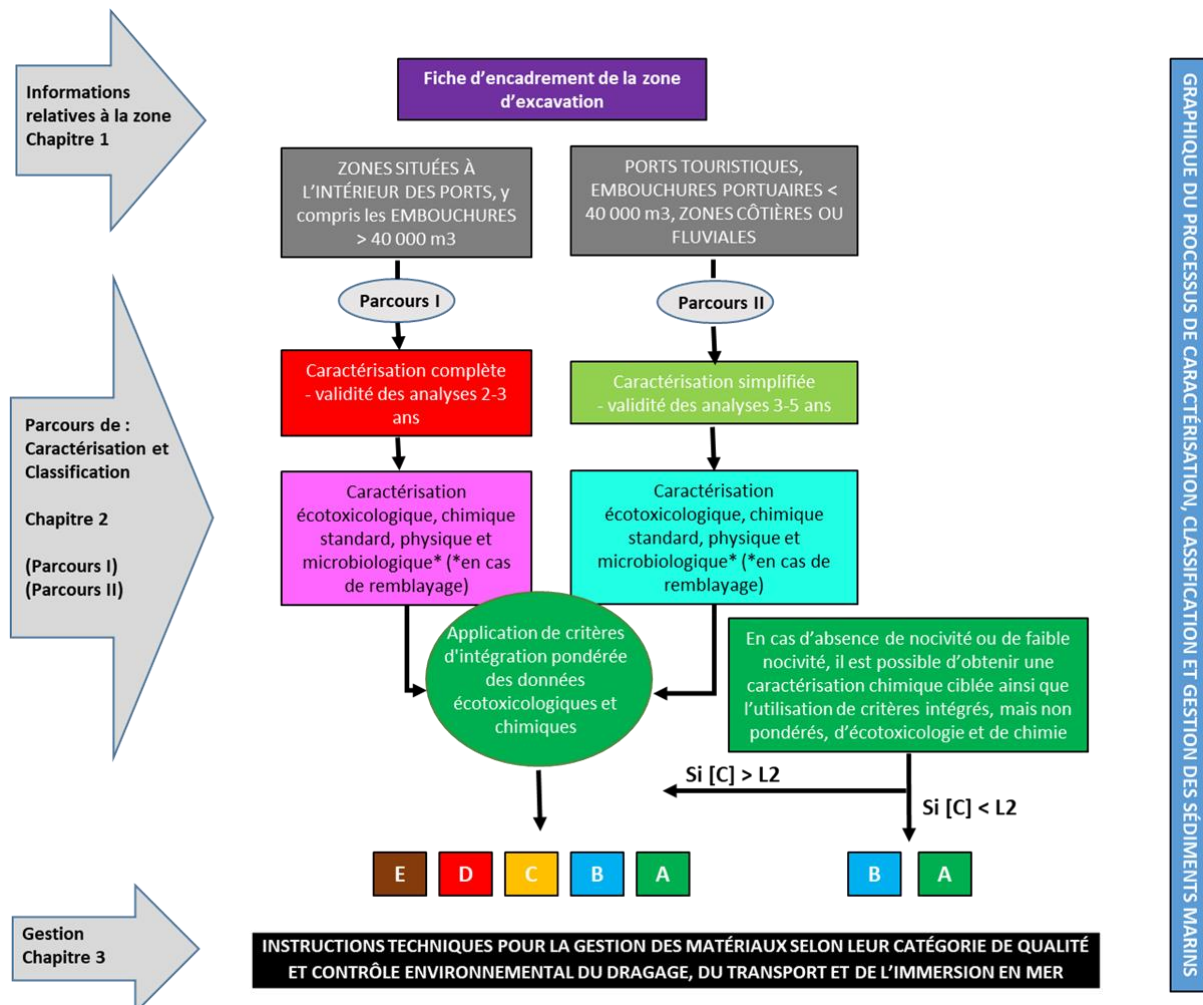
GESTION EN MILIEU MARIN-CÔTIER ET TERRESTRE

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

2.3) Zones hors SIN - caractérisation des sédiments avant dragage

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.

MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

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.

GESTION DES SÉDIMENTS EN MILIEU MARIN-CÔTIER

Les différentes options de gestion précédentes peuvent être mises en œuvre 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.

2.4 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

III. RIASSUNTO DEL CONTRIBUTO FRANCESE

Il presente contributo dell'INSA di Lione all'elaborato T.1.2.4 del progetto SEDITERRA ha l'obiettivo di riassumere le metodologie per la gestione dei sedimenti di dragaggio applicate in Francia. Tali metodologie si estendono dalla caratterizzazione pre-dragaggio, fino alla scelta delle filiere di gestione dei sedimenti dragati.

3.1) Metodologie 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)

3.2) Svolgimento dell'operazione di dragaggio

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.

3.3) 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).

3.4) 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.

3.5) 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.

3.6) Gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio

Quadro regolamentare : l'inquadramento regolamentare della gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio ha l'obiettivo di classificare i sedimenti in base alla normativa in materia di rifiuti.

Secondo la lista europea dei rifiuti, contenuta nell'allegato II dell'articolo L. 541-8 del Codice dell'Ambiente, i sedimenti (o fanghi) di dragaggio fanno riferimento a una delle seguenti rubriche:

- 17 05 05* : fanghi di dragaggio contenenti sostanze pericolose
- 17 05 06 : fanghi di dragaggio diversi da quelli previsti dalla rubrica 17 05 05.

Tali rubriche, dette “entrées miroirs” si riferiscono ai rifiuti per i quali non esistono criteri sistematici di distinzione tra lotti pericolosi e non pericolosi. Di conseguenza, al fine di determinare lo status di rifiuti pericolosi o non pericolosi di ciascun deposito gestito a terra, è necessario verificare le 15 caratteristiche di pericolosità elencate nell'allegato I dell'articolo L. 541-8 del Codice dell'Ambiente (da HP1 a HP15). Si noti che i sedimenti non sono interessati dalle proprietà HP1, HP2 e HP3. Le proprietà HP4, HP5, HP6, HP7, HP8, HP10, HP11 et HP13 possono essere valutate confrontando i contenuti presenti nei sedimenti con i valori limite (definiti dal gruppo di lavoro “Dangerosité” condotto dall'Ineris e dal Cerema). Per il momento, non esiste alcun metodo di valutazione delle proprietà HP9 e HP15. La classificazione dei sedimenti rifiuti secondo queste caratteristiche di pericolosità si basa sulla conoscenza del rifiuto e della sua provenienza.

Secondo la normativa, l'assegnazione della caratteristica di ecotossicità HP14 si effettua soltanto quando un solo parametro supera i livelli di riferimento S1 associati al sedimento, i quali sono definiti nel decreto del 9 agosto 2006.

Se il sedimento rifiuto non risponde a nessuna delle caratteristiche di pericolosità, viene classificato come “non pericoloso” (art. R.541-8 del Codice dell'Ambiente). Al contrario, una risposta positiva a una (o più) caratteristiche di pericolosità inserisce automaticamente il sedimento nella categoria dei rifiuti pericolosi.

Un sedimento sarà considerato inerte se rispetta i contenuti totali e di lisciviazione definiti nel decreto del 28 ottobre 2010 relativo agli impianti di stoccaggio di rifiuti inerti (abrogato dal decreto del 12 dicembre 2014). Se il sedimento non rispetta i valori stabiliti, verrà classificato come rifiuto non inerte.

Stoccaggio definitivo del sedimento rifiuto : 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).

In Francia esistono tre principali tipologie di impianti di stoccaggio dei rifiuti :

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

Ciascuno dei suddetti impianti ha i propri criteri di ammissione dei rifiuti, basati su una valutazione del contenuto totale e lisciviabile del rifiuto (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.

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.

La normativa francese autorizza le operazioni di recupero soltanto per sedimenti classificati come rifiuti non pericolosi. Precisiamo inoltre che la direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE) stabilisce che «il recupero dei rifiuti rappresenta la filiera di gestione prioritaria ; la loro soppressione è da considerarsi soltanto nel caso in cui non esistano soluzioni alternative ».

Esempi di pretrattamenti e trattamenti dei sedimenti sono : il dewatering, la setacciatura o grigliatura, il biorisanamento, il trattamento con idrociclone, la centrifuga, l'aggiunta di flocculenti o altri additivi chimici (per esempio, fosfatazione, calcinazione, additivi minerali, leganti idraulici), i trattamenti termici (desorbimento termico, incenerimento, pirolisi, vetrificazione).

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.

IV. RIASSUNTO DEL CONTRIBUTO ITALIANO

4.1) Introduzione

Le operazioni di dragaggio all'interno dei Siti di bonifica di Interesse Nazionale (di seguito SIN) sono disciplinate dall'art. 5-bis della L. 84/1994 e ss.mm.ii..

Le operazioni di dragaggio al di fuori dei SIN sono disciplinate dal D.M. 173/2016.

4.2) Aree SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio

Di seguito sono riportate le metodologie ed i criteri per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare ai sensi del D.M. 7/11/2008 e ss.mm.ii..

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.

- **Scelta dei campioni**

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.

Validità delle analisi

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.

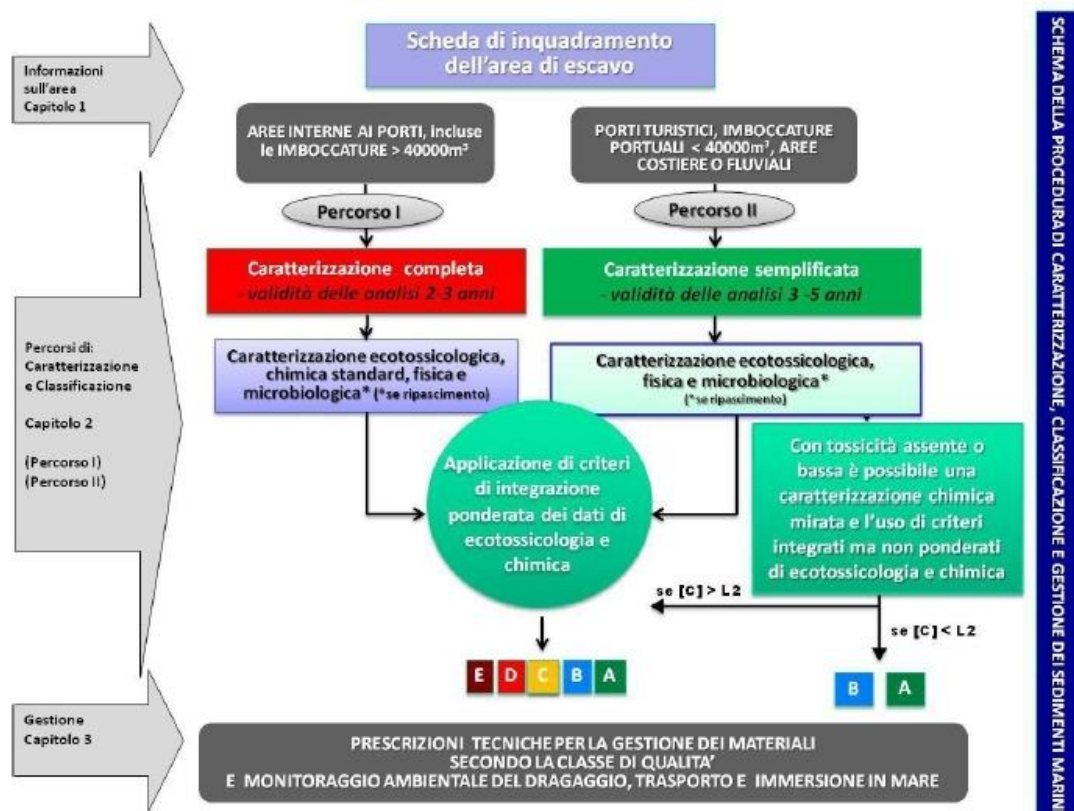
GESTIONE IN AMBITO MARINO-COSTIERO E A TERRA

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 refluentamento 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
- ✓ Refluentamento all'interno di casse di colmata, di vasche di raccolta, o comunque in strutture di contenimento o di conterminazione

4.3) Aree non SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio

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

METODICHE DI CAMPIONAMENTO

La tecnica di campionamento da utilizzare è prioritariamente quella del carotaggio. Tuttavia, nel caso di indagini limitate ai primi 50 cm del fondale possono essere utilizzati anche altri strumenti quali benne e box corer.

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 composti 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.

GESTIONE DEI SEDIMENTI IN AMBITO MARINO-COSTIERO

A seconda della classe di qualità di appartenenza del materiale è possibile attuare le diverse opzioni di gestione riportate di seguito.

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.

4.4) 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

V. CONTRIBUTION INTÉGRALE FRANCAISE

SOMMAIRE

5.1	Méthodologies de caractérisation avant dragage	54
5.2	Déroulé de l'opération de dragage	55
5.3	Echantillonnage des sédiments avant dragage	56
5.3.1	Principes généraux	56
5.3.2	Réalisation de l'échantillonnage	59
5.4	Technique et moyens de prélèvement des échantillons de sédiments	62
5.4.1	Moyens pour le prélèvement de sédiments superficiels	63
5.4.2	Moyens pour le prélèvement de carottes	63
5.4.3	Moyens logistiques associés	65
5.4.4	Mode opératoire pour la réalisation de l'échantillonnage	65
5.5	Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments à draguer	67
5.6	Gestion à terre des sédiments de dragage	69
5.6.1	Cadre réglementaire	69
5.6.2	Stockage définitif du déchet sédiment	75
5.6.3	Installations Classées Pour l'Environnement ICPE	77
5.6.4	Traitements des sédiments et outils existants	79
5.6.5	Filières de valorisation disponibles pour les sédiments de dragage	82
5.7	Contexte - Usage et Besoins des ports varois	94
5.8	Références bibliographiques - réglementaires - normatives	95

5.1) Méthodologies 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 œuvre pour minimiser les impacts sur l'environnement

- Le mode de gestion des matériaux dragués (gestion marine ou terrestre)

En France, le référentiel utilisé pour prévaloir de la qualité physico-chimique des sédiments à draguer est défini 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) relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse des 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, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R214-1 du Code de l'Environnement. Ce référentiel, élaboré par le groupe de travail GEODE, établit 2 niveaux réglementaires N1 et N2 de concentration des contaminants (métaux, HAP, PCB, TBT) permettant d'anticiper l'incidence potentielle de l'immersion des sédiments dragués sur le milieu aquatique.

La circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000 précise, dans ce cadre (*i.e.* immersion), l'interprétation des résultats :

- " Au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable "

- " Entre le niveau N1 et N2, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1 "

- " Au-delà de N2, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'opération. Il faut alors mener une étude spécifique portant sur la sensibilité du milieu aux substances concernées, avec au moins un test d'écotoxicité globale du sédiment, une évaluation de l'impact prévisible sur le milieu et, le cas échéant, affiner le maillage des prélèvements sur la zone concernée".

N.B. Ces seuils réglementaires N1 et N2 sont précisés dans le livrable T1.1.1 du projet SEDITERRA : « Synthèse réglementaire et gouvernance de la gestion des sédiments de dragage marins et estuariens - Partie française ».

Cette caractérisation physico-chimique par comparaison aux seuils de contamination précités N1 et N2, associée au volume de sédiments à draguer, à la localisation de la zone à draguer par rapport à des zones conchylicoles ou de culture marine, et à la façade maritime concernée, permet de définir si l'opération de dragage est soumise au régime administratif de la déclaration ou de l'autorisation (avec production d'étude d'impact du projet et d'enquête publique).

N.B. Ce contexte réglementaire étant déjà l'objet du livrable T1.1.1 par conséquent il ne sera pas détaillé une nouvelle fois dans ce document.

5.2) Déroulé de l'opération de dragage

Les caractéristiques physique, granulométrique et géochimique des sédiments à draguer sont également les paramètres déterminants qui vont influencer le choix de la technique de dragage et les éventuelles mesures de protection à mettre en œuvre pour minimiser les impacts sur l'environnement.

Les principales techniques de dragage disponibles sont les suivantes :

- Dragage hydraulique (drague aspiratrice stationnaire ou en marche)
- Dragage mécanique (drague à pelle ou drague à benne)
- Dragage hydrodynamique (dragage par injection d'eau ou dragage à l'américaine)

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).
Source : « Enquête nationale sur les dragages des ports maritimes - Juin 2017 – CEREMA ».

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.

Chacune de ces techniques de dragage peuvent-être (et doivent-être si justifiées) couplées à des mesures de protection environnementale. Le principal dispositif employé est la pose d'une géomembrane anti-dispersion mise en œuvre pour contenir le panache de turbidité provoqué par les travaux de dragage et ainsi limiter l'impact sur l'écosystème maritime.

Des suivis de la qualité de la colonne d'eau (ex. paramètres physico-chimiques et bactériologiques) pourront-être réalisés avant - pendant et après l'opération de dragage pour appréhender les modifications des conditions du milieu provoquées par l'opération de dragage et permettre, en cas de dépassement constaté de valeurs seuils, d'interrompre le dragage ou de délocaliser la zone d'action.

Le choix des paramètres à suivre est relié aux caractéristiques propres des sédiments à draguer (ex. sédiments contaminés par les métaux et/ou les hydrocarbures, sédiments fins ou grossiers, etc.). Les suivis couramment effectués concernent les mesures de la turbidité, de la teneur en MES (matière en suspension), ou encore le suivi des teneurs en métaux dissous. Le choix des paramètres à suivre et les méthodes et moyens mis en œuvre pour réaliser les suivis (ex. prélèvements, capteurs passifs, sondes de mesures, etc.) sont présentés par le maître d'ouvrage à la police de l'eau dans le dossier préalable de dragage pour validation.

Enfin, comme indiqué précédemment les caractéristiques environnementales des matériaux à draguer conditionnent le devenir des sédiments retirés. Ainsi, si les niveaux de contamination demeurent inférieurs aux niveaux N2 (et dans l'idéal, inférieurs aux niveaux N1), 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.

5.3) Echantillonnage des sédiments avant dragage

5.3.1 Principes généraux

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. Par ailleurs, des fiches techniques de recommandations émanant du ministère de l'environnement ont depuis été rédigées (juillet 2017) par le groupe de travail (GT) en charge de l'élaboration de la doctrine en matière de valorisation terrestre des sédiments. Ces recommandations pour la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage ont été élaborées sur la base d'une analyse de la bibliographie et de la prise en compte des retours d'expérience, en France et à l'étranger, des opérations de dragage de sédiments. Le groupe GEODE a également publiée (novembre 2016) une étude intitulée : « Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien ».

Les principales **recommandations issues des différents documents** énumérés sont résumées ci-après et les fiches techniques élaborées par le CEREMA (leader du GT) sont ensuite présentées.

Notons que le postulat de départ avant de se lancer dans l'échantillonnage des sédiments est de présenter (et d'argumenter) le plan d'échantillonnage prévu aux services en charge de la police de l'eau pour avis et validation. La personne portant la responsabilité du plan d'échantillonnage et de la bonne mise en œuvre des prélèvements est le maître d'ouvrage désigné de l'opération de dragage.

La méthodologie proposée de mise en œuvre 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 :

- I. 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.
- II. Les **zones confinées** qui sont caractérisées par un faible mouvement des masses d'eau notamment les bassins portuaires fermés.
- III. 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'établissement d'un zonage a priori permet d'adapter l'effort d'échantillonnage des sédiments en fonction de leur qualité probable (*i.e.* zone non polluée, zone intermédiaire et zone a priori polluée). Ce zonage n'influence pas le nombre d'échantillons à prélever mais permet de définir les emplacements à privilégier pour les prélèvements. Ceux-ci doivent prendre en compte le contexte du site à prélever, la façon de prélever (en fonction de l'épaisseur et de la nature du dépôt) et la technique de prélèvement à mettre en place.

Le zonage a priori est évolutif : chaque nouvelle donnée fournit une meilleure connaissance du site et permet d'améliorer la représentativité du zonage. Il est réalisé à partir de données existantes (opérations de dragages antérieures) et de l'analyse du contexte local (urbain, industriel, présence de rejets dans le milieu, etc.). Il permet ainsi d'identifier les secteurs où la qualité des sédiments est réputée homogène. Le zonage a priori est réalisé avec les données récoltées auprès des gestionnaires ou des services de l'État et avec les bases de données existantes (ex. Opérations de dragage antérieures ; Suivi d'activités ; Cartographies ; Photographies aériennes ; Localisation de sites spécifiques ; Documents de planification).

Pour les ports maritimes, un prélèvement de même masse est effectué par type d'activité identifiée : pêche, plaisance, avitaillement, carénage, cale de mise à l'eau, ponton, chenal, etc.

L'échantillonnage doit garantir le non mélange de sédiments de qualités différentes. En effet, l'article R541-11-1 du code de l'environnement précise que « le déclassement de déchets dangereux en déchets non dangereux ne peut se faire par dilution en vue d'une diminution des concentrations initiales en substances dangereuses sous les seuils définissant le caractère dangereux d'un déchet ».

L'arrêté ministériel du 30 mai 2008 (« fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement (...) ») 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 (Schiafone et Coquery, 2011 ; Guide dragage de VNF, 2014 ; Guide CEREMA, 2016). Ceci permet en outre d'obtenir un volume de sédiment suffisant pour garantir la faisabilité des analyses physicochimiques et si besoin écotoxicologiques. De plus, il est conseillé de prélever, si possible, des réplicats 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. En cas d'échantillonnage par carottage, on procédera de la même manière s'il est possible d'obtenir trois carottes pour chaque station, en prélevant les échantillons élémentaires au sein de la même strate sédimentaire homogène.



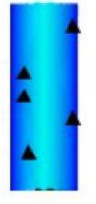
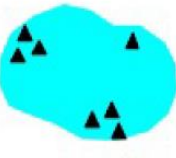
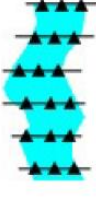


5.3.2- Réalisation de l'échantillonnage

Pour les prélèvements, la bibliographie mentionne les grands principes de mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage mais ne précise pas de façon opérationnelle le choix d'implantation des points de prélèvement.

L'implantation et le nombre de prélèvements en fonction des situations du site doivent être définies par le gestionnaire du dragage. Les prélèvements doivent être adaptés en fonction des objectifs de l'opération (entretien, dragage, suivi qualitatif). Lors de la réalisation du prélèvement, une coupe verticale de l'épaisseur du dépôt dragué 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)

Le guide méthodologique du CTNGS* (2001) de caractérisation des sédiments définit 4 types de stratégie de prélèvement en fonction des milieux (linéaire et non linéaire). Ces stratégies sont plutôt adaptées aux sédiments d'eau douce mais peuvent être répliquées pour les sédiments marins ou estuariens (le plus souvent milieux non linéaires) :

MILIEUX		DEFINITION DES 4 TYPES DE STRATEGIE DE PRELEVEMENT
linéaire	non-linéaire	
		La méthode Aléatoire : Elle consiste à effectuer des prélèvements de façon aléatoire sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette méthode implique que la zone étudiée soit de nature homogène.
		La méthode de Jugement : Cette méthode consiste à effectuer les prélèvements de façon précise au droit des zones considérées comme pertinentes pour l'étude (zone d'accumulation de sédiments, zones de rejets ou d'arrivée d'un effluent, amont/aval d'un point particulier,...) déterminées au cours de la phase A.
		La méthode du Maillage : Cette méthode consiste à répartir les points de prélèvement de façon régulière et homogène sur l'ensemble de la zone d'étude. La taille de la maille est définie selon les contraintes techniques et financières propres à chaque étude. Pour un cours d'eau, le maillage consiste à effectuer au moins trois prélèvements tous les x mètres : rive gauche, rive droite, et centre.
	Non concerné	La méthode du Profil en long : Cette stratégie est exclusivement utilisée dans le cas des cours d'eau de faible largeur. Il s'agit d'effectuer un prélèvement tous les x mètres le long du cours d'eau.

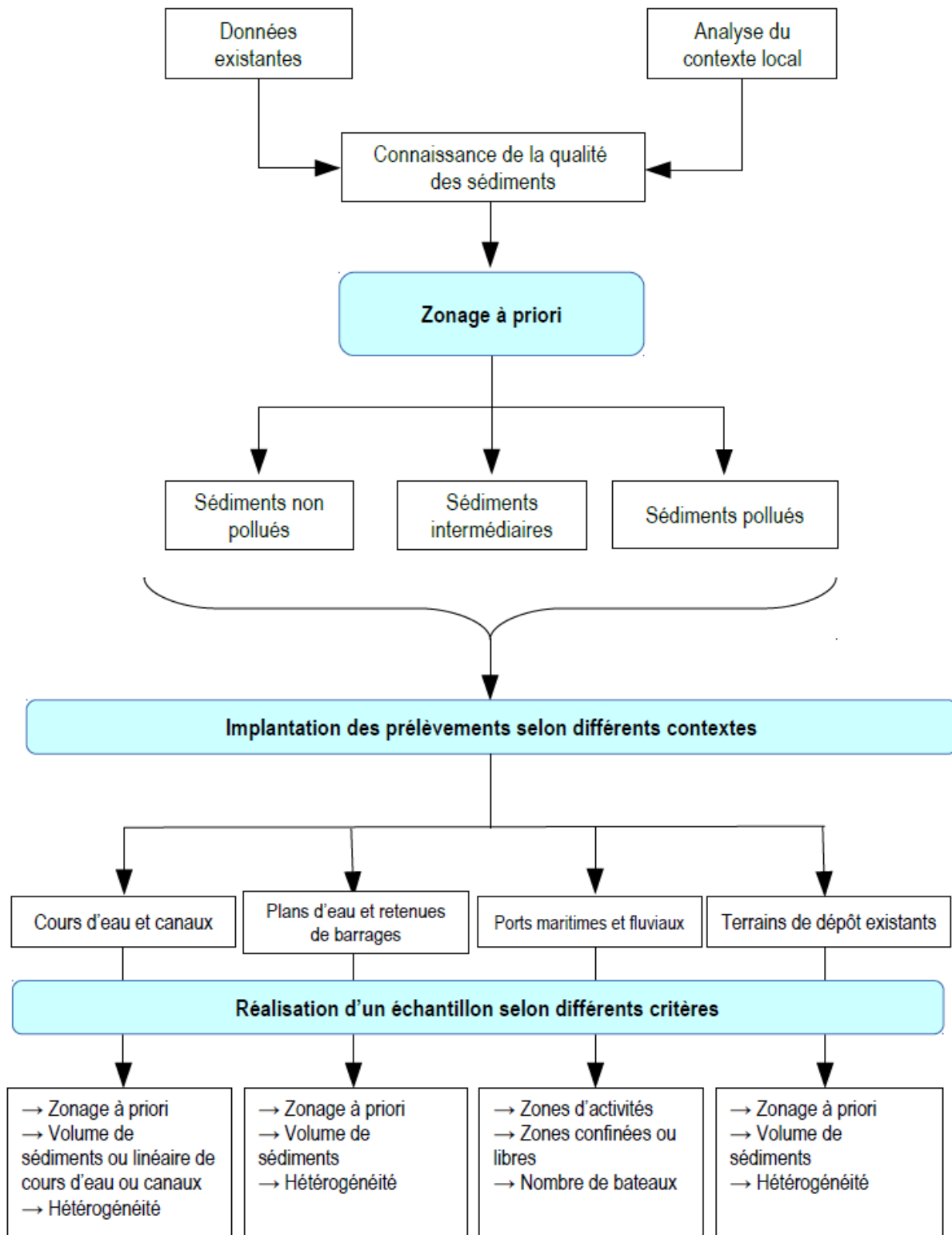
CTNGS 2001

* Le Comité Technique National sur la Gestion des Sédiments (CTNGS) a été mis en place par le Ministère de l'environnement le 7 juin 1999. Il propose une gestion des matériaux issus des opérations de curage et d'entretien des cours d'eau, plans d'eau, fossés ou bassins de rétention.

Ces différentes stratégies sont à relier aux préconisations du nombre d'échantillon à prélever de la circulaire du 14 juin 2000 relatives aux 3 contextes identifiés pour les sédiments marins ou estuariens (zones confinées, zone à échange libre et zone portuaire) et des volumes en jeu.

La fiche de recommandations élaborée par le GT « échantillonnage » piloté par le CEREMA est présentée en suivant. Elle résume les étapes clés pour la réalisation de l'échantillonnage fondée sur l'établissement du zonage a priori et sur la détermination de l'implantation des prélèvements et la réalisation d'un échantillon. Cette fiche, associée aux différents éléments opérationnels évoqués précédemment dans ce document, permet de définir le nombre et l'emplacement des échantillons à prélever pour correctement caractériser le volume de sédiment à draguer.

Étapes pour la réalisation d'une stratégie d'échantillonnage préconisées par le GT « échantillonnage » - CEREMA 2016

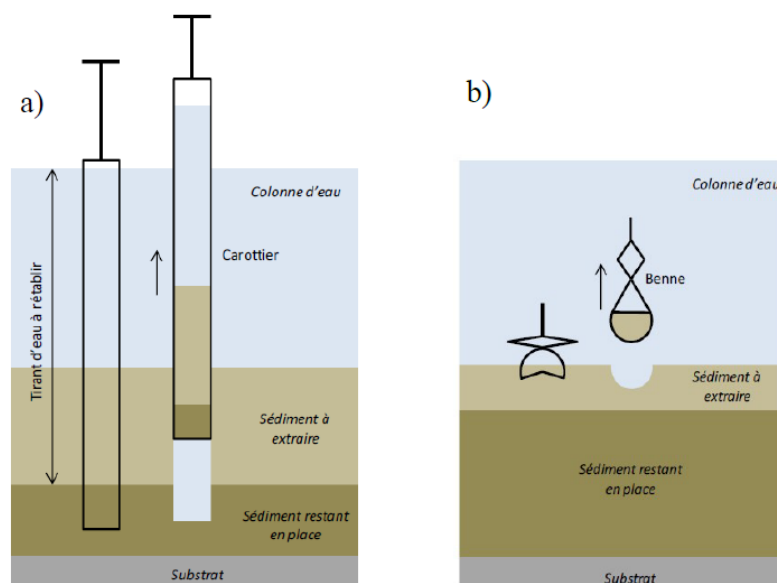


5.4) Techniques et moyens de prélèvement des échantillons de sédiments

Suite à l'identification, en fonction du contexte de la zone à draguer, du nombre et de l'emplacement des échantillons à prélever, la technique pour l'échantillonnage et les moyens de prélèvement à privilégier restent à définir.

La technique de prélèvement est ainsi 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.

Les recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments aquatiques potentiellement contaminés (SDAGE Rhône Méditerranée, 2013) différencient 2 types de prélèvements : sur toute l'épaisseur de sédiments (a) ou en surface (b) :



La représentativité verticale des sédiments doit également prendre en compte l'hétérogénéité des strates ainsi que le zonage (comme dit précédemment, ne sont mélangés si possible que des sédiments de nature homogène).

Enfin, il est impératif de renseigner une fiche de prélèvement spécifique à chacun des échantillons prélevés. Cette fiche comprend a minima :

- la localisation du ou des prélèvements : références + coordonnées GPS
- le constat organoleptique du matériau prélevé (*i.e.* texture, couleur, odeur)
- la date et heure du ou des prélèvements
- l'outil de prélèvement utilisé
- la hauteur prélevée dans la couche de sédiments à draguer
- le nom de l'opérateur

Suite à la détermination, en fonction du contexte, de la technique de prélèvement privilégiée (surface/carottage), il reste à choisir le ou les outils à mettre en œuvre pour effectuer l'échantillonnage.

Comme indiqué, une distinction est donc faite entre les prélèvements de sédiments superficiels et le prélèvement de couches plus profondes par carottage.

5.4.1- Moyens pour le prélèvement de sédiments superficiels (source Guide GEODE, 2016)

La benne légère de type Eckman est une sorte de carottier-boîte adapté au prélèvement de sédiments cohésifs (vases, vases sableuses). La benne Eckman est recommandée par Ifremer, dans le cadre de la DCE, dans les zones où la profondeur n'excède pas 3 m. Le défaut majeur de cette benne est qu'elle peut perdre l'ensemble du contenu à la remontée si un élément obstrue ses mâchoires. Son avantage est sa facilité de mise en œuvre, en particulier elle peut être manipulée depuis la surface par un manche.

La benne lourde de type Shipeck convient aux prélèvements de sédiments non cohésifs (sableux à graveleux). Pesant environ 60 kg, cette benne nécessite l'utilisation d'un treuil mécanique. Ce type de benne perturbe fortement l'échantillon (stratification du sédiment non conservée) et sa manipulation nécessite des précautions du fait de son poids et de la puissance des ressorts.

La benne Van Veen est appropriée aux sédiments vaseux peu profonds. Elle permet des prélèvements sur 10 à 30 cm d'épaisseurs selon sa taille. Son inconvénient est que le choc au contact peut perturber les sédiments fins et qu'à la fermeture, le prélèvement déstructure la colonne sédimentaire. Les teneurs en eau du sédiment prélevé restent cependant proches des matériaux en place.

La benne Smith-McIntyre est utile pour prélever des sédiments vaseux jusqu'aux graviers. Cette benne nécessite un navire adapté, avec un treuil et un moyen de déportation de celui-ci. Cette benne est bien adaptée aux prélèvements de la faune benthique superficielle, y compris la faune vagile (animaux aquatiques qui se déplacent en rampant sur le fond).

5.4.2- Moyens pour le prélèvement de carottes (adapté de Guide GEODE, 2016)

Les principaux dispositifs employés pour le prélèvement de carottes de sédiment sont les suivants :

- Carottiers à main pour des profondeurs peu importantes (< 10 m)
- Carottiers-boîtes pour des prélèvements de grande section mais de faible hauteur
- Carottiers-tubes pour obtenir des carottes longues mais de faible section

Carottier à main : Manipulé en plongée, le carottier peut être enfoncé (à la main, à l'aide d'une poignée ou à la masse pour un carottier métallique) plus ou moins rapidement dans le sédiment permettant ainsi de limiter le tassement. Son utilisation est facilitée par rapport à un carottage classique à bord d'un bateau (*i.e.* carottiers boîte et tube) du fait de sa légèreté et maniabilité. Par contre cet outil doit être mis en œuvre par des plongeurs expérimentés et son utilisation est limitée par la profondeur, la turbidité de l'eau et les courants. Dans les sédiments non cohésifs, il est limité à la prise de carottes ne dépassant pas 50 cm de hauteur.

Carottier-boîte : Ce matériel est particulièrement intéressant car il allie les avantages de la benne et ceux du carottier, avec des limites d'utilisation généralement suffisantes pour des prélèvements de sédiment à des fins d'analyses géochimiques. Il s'agit d'une boîte sans fond, de section carrée (20 à 30 cm de côté, 60 à 80 cm de hauteur), qui s'enfonce par gravité dans le sédiment. Ce carottier est également utilisé pour le prélèvement d'échantillons de surface. L'utilisation d'un carottier-boîte remanie peu le sédiment et permet l'étude précise de la colonne sédimentaire.

Carottier-tube de type Kullenberg : Le carottier Kullenberg permet le prélèvement, par gravité, de carotte sédimentaire d'une longueur pouvant aller jusqu'à 5m, pour un diamètre de 8cm, au moyen d'un tube en PVC contenu dans une gaine métallique. L'intérêt de ce carottier est la réalisation de carottes profondes permettant d'obtenir un profil vertical du compartiment sédimentaire. Le désavantage de cette technique est le risque probable de compaction au moment de l'introduction, la structure du sédiment peut ainsi être modifiée.

Carottier-tube de type Interface (développé par le SHOM et l'IFREMER) permet le prélèvement par gravité de carotte sédimentaire d'une longueur maximale de 1m, et d'un diamètre de 9cm, au moyen d'un tube en plexiglas. Ce type de carottier présente l'avantage de préserver la structure du sédiment, l'interface entre le sédiment et l'eau de mer et entre le sédiment et l'eau interstitielle ne sont donc que peu modifiées.

Lorsque les opérations de carottage réalisées en vue d'analyses physico-chimiques sont mutualisées avec les opérations de carottage réalisées en vue d'analyses géotechniques, il convient de veiller à intégrer dans le cahier des charges, des précautions spécifiques pour les prélèvements physico-chimiques. Il s'agit notamment de maîtriser et de supprimer tout risque de contamination d'échantillons, soit par exposition à des contaminants externes, soit par remaniement des matériaux.

5.4.3- Moyens logistiques associés

D'une manière générale, les petites bennes et les prélèvements en plongée (< 10 m) nécessitent des moyens à la mer relativement économiques (semi-rigides, petites embarcations avec treuil sans moyens de levage lourds). Ces moyens sont adaptés à l'échantillonnage des petits fonds côtiers et notamment des ports. Les grosses bennes et les carottiers nécessitent des navires supports de plus grande taille disposant de mâts et treuils de levage.

5.4.4- Mode opératoire pour la réalisation de l'échantillonnage

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.

Schiavone et Coquery (2011) précisent que l'étape d'homogénéisation des prélèvements individuels, si elle est réalisée sur le terrain, doit être effectuée à l'abri des sources de contamination (notamment fumées des moteurs, cigarettes).

La norme NF EN ISO 5667-12 sur l'échantillonnage des sédiments précise les modalités suivantes:

- Dans le cas où un seul flacon est à remplir, les prélèvements sont versés directement à l'aide d'une spatule. La matière de la spatule est choisie pour éviter la contamination de l'échantillon : acier inoxydable pour les micropolluants organiques ; plastique pour les métaux
- Si le flacon est de taille suffisante pour contenir un échantillon considéré homogène (au moins 1L), il n'y a pas d'homogénéisation à effectuer sur le terrain
- Si le flacon fourni par le laboratoire est jugé trop petit pour contenir un échantillon considéré homogène, le sédiment doit être prélevé en quantité suffisante, versé dans un contenant non contaminant vis-à-vis des éléments à rechercher et mélangé à l'aide d'une spatule. La matière de la spatule est choisie pour éviter la contamination de l'échantillon. Une fraction de ce sédiment mélangé est ensuite versée dans le flacon (500 mL au moins)
- Si des flacons de matériaux différents doivent être remplis (*e.g.* verre teinté pour l'analyse des composés organiques ; PE, PP ou PTFE pour les métaux), il faut veiller à ce que l'homogénéisation soit effectuée dans deux contenants différents à l'aide de deux spatules différentes, chacun dans un matériau non contaminant vis-à-vis du sédiment prélevé

- Dans le cas où plusieurs flacons sont à remplir, il faut alors mélanger les sédiments prélevés en différents points dans un contenant non contaminant vis-à-vis des polluants à rechercher, avant de le distribuer dans les flacons destinés à l'analyse

La norme ISO 5667-15 précise que dans le cas d'analyses de composés volatils, il convient de remplir les flacons à ras-bord, afin de prévenir tout dégazage de composé ou une oxydation accélérée des composés par l'air.

Précisons que le laboratoire d'analyse est responsable des flaconnages fournis ainsi que des consignes de conditionnement, de conservation et de transport.

Les flacons doivent être assez volumineux pour permettre l'échantillonnage du sédiment en quantités suffisantes. La norme ISO 5667-15 relative aux échantillons de boues et de sédiments précise les volumes de sédiments qui doivent être prélevés pour permettre de :

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

De plus, il est important de :

- Ne pas utiliser de flacons en plastique en cas d'analyse des phtalates
- Utiliser des flacons à col large
- Remplir les flacons de manière à éviter qu'ils ne cassent pendant la congélation

Chaque flacon est étiqueté avec la date, le lieu de prélèvement et l'identifiant attribué à l'échantillon (VNF, 2014).

Selon Kramer (2006) et VNF (2014), immédiatement après leur conditionnement, les échantillons doivent être stockés à 4 °C et à l'obscurité. Pour cela, il est important de prévoir des glacières et pains de glace. Les échantillons doivent être acheminés au laboratoire dans un délai de 48 h et idéalement inférieur à 24 h. Le Cerema (2014) indique que dans certains cas, il peut être utile de doubler chaque échantillon afin de vérifier des résultats aberrants ou de réaliser des analyses complémentaires.

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).

5.5) Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments à draguer

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

Phase I : Propriétés physiques.

Les propriétés physiques des sédiments doivent être recherchées car elles permettent de connaître le comportement des sédiments pendant les opérations de dragage et d'élimination des matériaux et de savoir si des analyses chimiques et biologiques seront nécessaires.

Le 1^{er} paramètre à connaître est évidemment la quantité des matériaux à draguer, à laquelle il faut ajouter :

- Granulométrie (% sable, vase, argile), au minimum jusqu'à 63 microns et, dans la mesure du possible jusqu'à 2 μ m
- % de matières sèches
- Densité
- Teneur en Al sur la fraction inférieure à 2mm
- Teneur en COT sur la fraction inférieure à 2mm

Au vu de ces résultats, les matériaux de dragage sont susceptibles d'être exemptés des autres phases d'analyse s'ils satisfont à l'un des 3 critères stipulés ci-dessous :

1. Ils sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts
2. Ils sont presque exclusivement composés de sable, gravier ou roche
3. Le milieu dans lequel ils se trouvent se caractérise par l'absence de source appréciables de pollution ce qui doit être étayé par des analyses en micropolluants datant de moins de 3 ans.

Les matériaux de dragage ne répondant pas à l'un de ces critères doivent faire l'objet d'une caractérisation plus poussée, afin de pouvoir apprécier leurs effets potentiels sur le milieu marin.

Phase II : Propriétés chimiques

La liste des paramètres chimiques à rechercher est précisée dans l'arrêté du 9 août 2006 et de 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

Les valeurs seuils sont indiquées dans les différents arrêtés précités et résumés dans le livrable T1.1.1 du projet SEDITERRA.

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

Nutriments : Le dosage de l'azote (Azote Total Kjeldahl NTK) et du phosphore total (PT) doit être envisagé si les matériaux sont extraits ou déversés dans des zones sensibles à l'eutrophisation (ex. milieux confinés tels que port, baie à faible renouvellement hydrodynamique, lagune littorale).

Microbiologie : Le dénombrement des germes témoins de contamination fécale (*Escherichia coli*, entérocoques intestinaux) sera effectué si les matériaux extraits sont susceptibles de porter atteinte à la salubrité des zones conchylicoles, de cultures marines ou de baignade.

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, adaptées au degré de contamination des matériaux à draguer, seront à effectuer sur des espèces représentatives suffisamment sensibles à la toxicité potentielle des sédiments (ex. Tests Ifremer sur larves d'huîtres, larves d'oursin, développement embryonnaire d'œufs fécondés de bivalves, inhibition de la luminescence de *Vibrio fischeri*, etc.), et doivent permettre de déterminer les toxicités aiguë et chronique (ex. Test écotoxicologique HP14 – BRGM), ainsi que le risque de bio-accumulation.

Le choix des méthodes d'analyse biologique portera de préférence sur des méthodes existantes normalisées et validées. Ces analyses peuvent utilement être complétées par des observations des communautés benthiques sur le terrain.

Enfin, toujours en fonction du contexte local et des informations disponibles, des analyses complémentaires sur les sédiments à draguer peuvent être recommandées, par exemple la quantification de la radioactivité, la recherche de substances chimiques spécifiques (ex. pesticides, dioxines, etc.), etc.

BILAN

Le respect de la méthodologie de caractérisation avant dragage présentée ici donne le cadre juridique et opérationnel du dragage et permet de définir la destination des sédiments dragués.

Ainsi, 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 2013, 94% des sédiments dragués (cf. Enquête dragage CEREMA, 2017), demeure la solution technique la plus facile et la plus économique à mettre en œuvre.

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 prennent le statut de déchets et deviennent gouvernés par cette réglementation spécifique (*i.e.* Directive Cadre 2008/98/CE sur les déchets du 19 novembre 2008 transposée par l'ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010).

N.B. : Précisons que dans le cadre d'une gestion marine des sédiments, la Circulaire du 4 juillet 2008, relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux, permet de définir « le droit applicable aux techniques de remise en suspension et/ou d'immersion ; la possibilité de commercialiser les matériaux excédentaires et les procédures applicables ; ainsi que les procédures applicables lorsque les matériaux excédentaires ne sont pas commercialisables et lorsqu'une gestion à terre doit être envisagée.

5.6) Gestion à terre des sédiments de dragage

5.6.1- Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire associé à cette gestion terrestre des sédiments de dragage est déjà l'objet du 2^{ème} chapitre du livrable T1.1.1 du projet SEDITERRA intitulé : « Synthèse réglementaire et gouvernance de la gestion des sédiments de dragage marins et estuariens ».

L'essentiel à retenir est que l'objectif *in fine* est de classer le sédiment selon la réglementation « Déchet » pour définir ses solutions et possibilités de gestion à terre.

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

Ces rubriques dites « entrées miroirs » sont destinées aux déchets pour lesquels il n'existe pas de critères systématiques de distinction entre les lots dangereux et non dangereux. Par conséquent, 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).

Ces différentes propriétés de danger sont les suivantes :

HP1	Explosif
HP2	Comburant
HP3	Inflammable
HP4	Irritant
HP5	Toxicité spécifique pour un organe cible (STOT)/toxicité par aspiration
HP6	Toxicité aiguë
HP7	Cancérogène
HP8	Corrosif
HP9	Infectieux
HP10	Toxique pour la reproduction
HP11	Mutagène
HP12	Dégagement d'un gaz à toxicité aiguë
HP13	Sensibilisant
HP14	Ecotoxique
HP15	Déchet capable de présenter une des propriétés dangereuses que ne présente pas directement le déchet d'origine

Les propriétés HP1, HP2, HP3, HP4, HP12, et HP14 sont évaluées par la mise en œuvre de tests spécifiques (ex. protocole HP14). **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 sont évaluées par comparaison des teneurs présentes dans le sédiment avec des valeurs seuils (déterminées par INERIS/CEREMA dans le cadre du GT1 Dangerosité des sédiments – voir tableau suivant).

Enfin, 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.

Synthèse des seuils proposés par le GT1 Dangersité INERIS/CEREMA pour évaluer le caractère dangereux des sédiments au titre des propriétés HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11, et HP 13

	PROPOSITION DE SEUILS INDIVIDUELS (mg/kg)	PROPOSITION DE SEUILS GROUPÉS (mg/kg)	
Arsenic	330	330	
Cadmium	530	530	
Chrome VI	250	250	
Cuivre	4000	4000	
Mercure	500	500	
Nickel	130	130	
Plomb	510 ^(*)	510 ^(*)	
Zinc	7230	7230	
PCB 28	50 pour la somme des 7 congénères	50 pour la somme des 7 congénères	
PCB 52			
PCB 101			
PCB 118			
PCB 138			
PCB 153			
PCB 180			
Naphtalène	10000	500 pour la somme des congénères	
Acénaphthylène	500		
Phénanthrène	50000		
Fluoranthène	50000		
Benzo(a)anthracène	1000		
Chrysène	1000		
Benzo(b)fluoranthène	1000		
Benzo(k)fluoranthène	1000		
Benzo(a)pyrène	1000		
Dibenzo(a,h)anthracène	1000		
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	10000		
Tributylétain	3000		3000

(*) : si le sédiment ne respecte pas la valeur de 510ppm fixée pour le plomb, le sédiment peut être encore jugé non dangereux si la teneur en plomb n'excède pas 1540ppm et celle en chrome VI reste inférieure à 50 ppm.

La détermination du caractère écotoxique HP14 n'est à réaliser règlementairement que lorsqu'un unique paramètre dépasse les niveaux de référence S1 associés au sédiment. Ces seuils S1 définis dans l'Arrêté du 9 août 2006 sont indiqués dans le tableau suivant :

**Niveaux S1 relatifs aux éléments et composés traces présents dans le sédiment
 (en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm)**

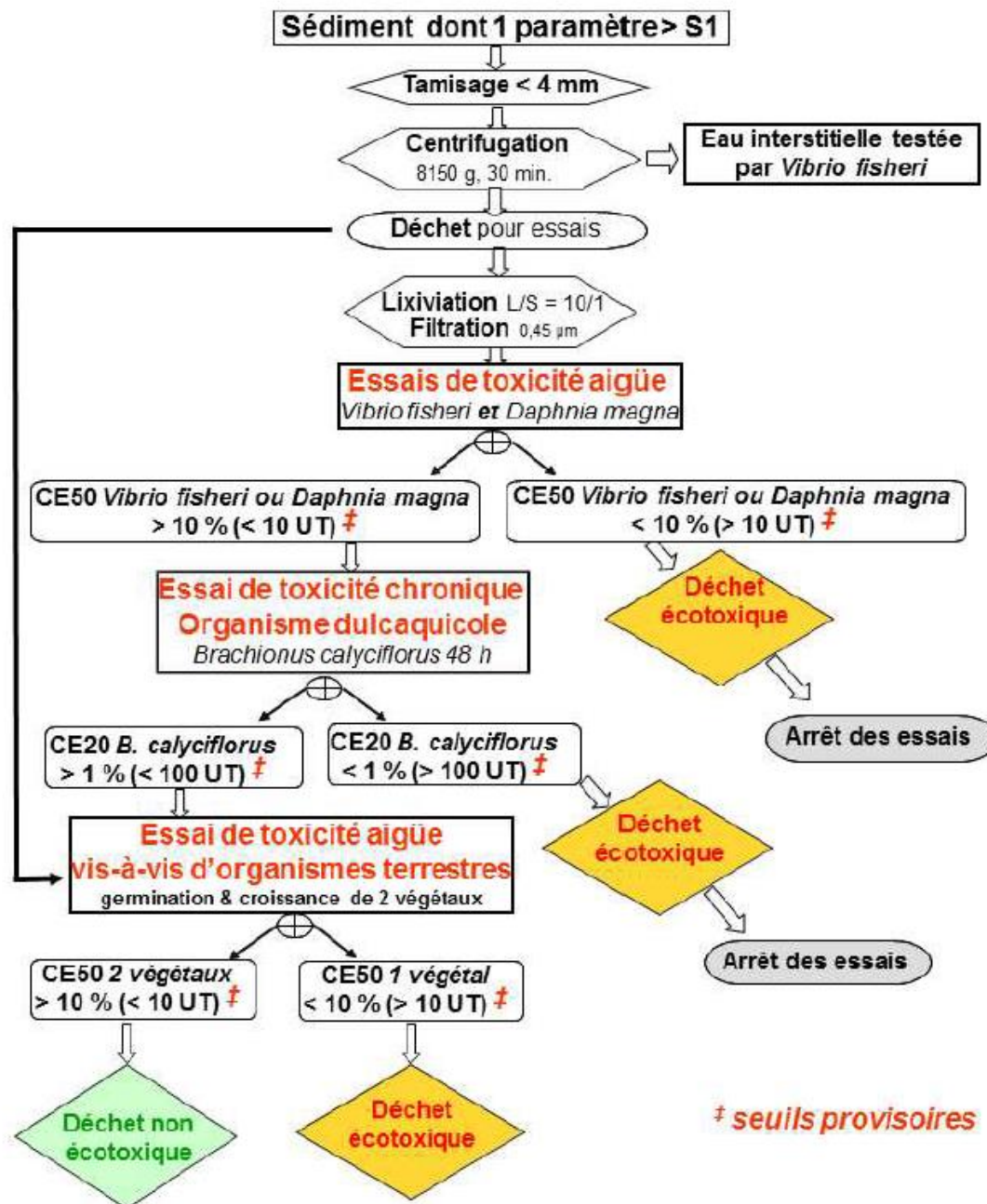
PARAMÈTRES	NIVEAU S1
Arsenic	30
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300
PCB totaux	0,680
HAP totaux	22,800
TBT	0.1 (seuil N1)

D'après « Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux 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 ».

A titre informatif, le protocole du test HP14 appliqués aux sédiments destinés à une gestion terrestre est précisé ci-après.

Dès lors qu'une réponse écotoxique est constatée, le sédiment est automatiquement classé comme « déchet dangereux ».

Protocole établi par le groupe de travail « Dangers des sédiments » du MEEDDM pour la mesure de l'écotoxicité (paramètre HP14) des sédiments marins et continentaux destinés à une gestion à terre (1^{er} octobre 2009)



CE 50 ou CE 20 = concentration de l'éluat ou de la matrice solide entraînant 50 % ou 20 % de l'effet toxique maximal

Y % = taux de dilution de l'éluat ou de la matrice solide

UT = unité toxique

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).

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) :

Critères 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

Si le sédiment ne respecte pas les valeurs définies, alors il sera classé comme déchet **non-inerte**. Notons que les sédiments d'origine marine ne peuvent pas, de par leur nature et leur teneur en sels (chlorures et sulfates), être classés en l'état, dans la catégorie des déchets inertes.

5.6.2- Stockage définitif du déchet sédiment

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).

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, ≈25€/tonne)
- 2) **ISDND** : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (Décharge de Classe 2, ≈85€/t)
- 3) **ISDD** : Installation de Stockage de Déchets Dangereux (Décharge de Classe 1, ≈135€/t)

N.B. A ces valeurs de coût (qui ne sont données qu'à titre indicatif), se rajoute la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP). Cette taxe s'applique pour chaque tonne de sédiment expédiée en installation de stockage. En 2018, elle est fixée à 33€/tonne pour les déchets classés non-dangereux.

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).

N.B. : L'article 6 de l'arrêté du 12/12/2014 précité, prévoit une adaptation réglementaire :
« *Concernant les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 (i.e. stockage définitif de déchets sédiments), après justification particulière et sur la base d'une étude visant à caractériser le comportement d'une quantité précise d'un déchet dans une installation de stockage donnée et son impact potentiel sur l'environnement et la santé, les valeurs limites à respecter par les déchets visés par l'annexe II peuvent être adaptées par arrêté préfectoral. Cette adaptation pourra notamment être utilisée pour permettre le stockage de déchets dont la composition correspond au fond géochimique local. En tout état de cause, les valeurs limites sur la lixiviation retenues dans l'arrêté ne peuvent pas dépasser **d'un facteur 3** les valeurs limites mentionnées en annexe II. Cette adaptation des valeurs limites ne peut pas concerner la valeur du carbone organique total sur l'éluat. Concernant le contenu total, seule la valeur limite relative au carbone organique total peut être modifiée dans la limite d'un facteur 2. »*

Ce type d'installation de stockage de déchets inertes « adaptés » est, dans la pratique, désigné sous le nom de ISDI+.

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. Cette directive n'est pas reprise par un texte réglementaire en droit français mais sert, dans la pratique, de référence.

Il existe en outre depuis le 15 février 2016 un arrêté réglementaire encadrant spécifiquement les installations de stockage de déchets de sédiments. Cet arrêté fixe les prescriptions techniques applicables aux installations monospécifiques de stockage de déchets de sédiments (rubrique 2760 de la nomenclature des ICPE) comparables aux installations de stockage de déchets non dangereux mais adaptées aux déchets de sédiments, du fait de l'importance des eaux présentes dans les sédiments de dragage.

Cet arrêté ouvre également la possibilité que des sédiments de dragage dangereux soient stockés dans une même installation que des sédiments de dragage non dangereux, mais dans des casiers dédiés (JORF n°0070 du 23 mars 2016 texte n° 4).

Le présent arrêté s'applique aux installations de stockage de déchets de sédiments que les déchets de sédiments proviennent d'une ou plusieurs opérations de dragage.

Ne sont pas soumises aux dispositions du présent arrêté :

- Les installations stockant exclusivement des déchets inertes
- Les installations stockant des déchets de sédiments pour une durée inférieure à un an si les déchets de sédiments sont destinés à élimination
- Les installations stockant des déchets de sédiments non dangereux pour une durée inférieure à trois ans si les déchets de sédiments sont destinés à valorisation.

Critères à respecter pour l'acceptation de déchets de sédiments dangereux

Paramètres	Valeur limite à respecter (mg/kg de déchet sec)
SUR CONTENU TOTAL	
COT	50 000
SUR LIXIVIAT OBTENU PAR L'ESSAI DE LIXIVIATION NF EN 12457-2	
As	2
Ba	100
Cd	1
Cr total	10
Cu	25
Hg	0,2
Mo	10
Ni	10
Pb	10
Sb	0,7
Se	0,5
Zn	50
Chlorure	15 000
Fluorure	150
Sulfate	20 000
COT sur éluat	800
Fraction Soluble (FS)	60 000

5.6.3- Installations Classées Pour l'Environnement ICPE

Le décret n°2010-369 du 13 avril 2010 stipule que le stockage et le transit 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 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 (exemples : détention d'un CAP - Certificat d'acceptation Préalable ; production d'un BSD – Bordereau de suivi des Déchets).

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 réglementaire 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
- 2) Traitement
- 3) Stockage définitif

Numéros de rubrique ICPE pour les sédiments gérés à terre

(Source : DREAL NPdC – 2012)

Caractéristiques des sédiments	Activité	N° de rubrique ICPE	
Sédiments inertes	Transit	pulvérulent	2516 ¹
		non pulvérulent	2517
	Broyage, concassage, criblage, tamisage etc.	2515	
	Stockage	L541-30-1 ²	
Sédiment non dangereux	Transit	2716	
	Stockage	2760-2	
	Traitement thermique	2771	
	Traitement non thermique	2791	
Sédiment dangereux	Transit	2717/2718	
	Stockage	2760-1	
	Traitement thermique	2770	
	Traitement non thermique	2791	

1 . Un sédiment est considéré comme pulvérulent si son passant à 63µm est supérieur à 90%.

2 . L'instruction des demandes d'autorisation d'exploitation d'installations de stockage de déchets inertes et le suivi de ces installations relèvent de la compétence de la direction départementale des territoires et de la mer.

5.6.4- Traitements des sédiments et outils existants

Les possibilités de gestion à terre du sédiment dragué (*i.e.* élimination 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.

Précisons, que la **règlementation 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.

Précisons également que 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 ». Par conséquent, il faudra en priorité favoriser les opérations permettant une valorisation de tout ou partie du déchet sédiment.

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.

- **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 œuvre 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 floculants, 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 œuvre 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.

5.6.5- Filières de valorisation disponibles pour les sédiments de dragage

Dans cette partie, un résumé des principales filières de valorisation disponibles en France va être proposé. Ce résumé s'appuie (entre autres) sur le guide thématique « Filières de gestion à terre » (Vernus et al., 2013) produit dans le cadre de la démarche de capitalisation Cap-Sédiments, qui est également intégrée au projet SEDITERRA.

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. Epandage agricole
8. Couverture d'installation de stockage des déchets

Précisons que 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 plages sont soumises à des phénomènes d'érosion naturelle (vagues, vent, pluies) et de dégradations anthropiques (aménagement, constructions) qui provoquent une diminution de leur épaisseur et un recul du trait de côte. Les besoins en matériaux liés à la gestion de l'érosion côtière sont élevés : ils seraient compris entre 2 à 3 millions de tonnes de sable par an au niveau national (Source : Grenelle de la Mer, 2006). Il existe en France 2 500 km de plages et de dunes, dont 48 % sont en érosion et seulement 10 % en engraissement (Le Guern et al, 2004). Les sables issus des sédiments de dragage peuvent être utiles à cette filière à condition que leurs caractéristiques soient compatibles avec cette valorisation : absence de contamination, granulométrie (teneur en sable > à 75%) et couleur adaptées à la plage à recharger.

Le rechargement de plage fait l'objet de réglementations de différentes natures. Interviennent à la fois les parties liées à la loi sur l'Eau du code de l'environnement (procédures préalables de déclaration ou d'autorisation, avec ou sans étude d'impact et enquête publique (imposées pour les opérations > 10 000m³), et le code de l'urbanisme concernant les permis de stationnement ou d'occupation du Domaine Public Maritime (DPM).

Précisons que le dossier de déclaration ou d'autorisation au titre de la loi sur l'Eau nécessaire pour autoriser le dragage traite également de la destination des sédiments dragués. Par conséquent le processus règlementaire, préalable à l'opération de rechargement, aura déjà été validé en amont.

Pour cette filière, 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 :**

L'utilisation des sédiments marins (ou fluviaux) en tant que matériaux alternatifs de construction (ex. enrochement, digue, renforcement de berge) pour les Travaux Publics maritimes est une perspective de valorisation (à l'interface entre la gestion aquatique et terrestre) très intéressante. En effet, la partie sableuse des sédiments pourrait être intégrée dans la fabrication de béton (ou de mortier) qui servirait à la mise en œuvre des ouvrages. De plus, les problèmes de relargage en sels (chlorures, sulfates) liés à la nature marine des sédiments à valoriser serait une difficulté moins problématique que pour une valorisation terrestre beaucoup plus sensible à la salinité. Enfin, les volumes potentiellement valorisables dans cette filière sont conséquents ce qui accentue encore son intérêt. Si des normes existent pour vérifier les caractéristiques techniques des matériaux produits, aucune réglementation n'encadre spécifiquement cette filière de valorisation.

Les sédiments à valoriser doivent-être classés **inertes** (Arrêté du 28 octobre 2010 – remplacé par Arrêté du 12 décembre 2014), 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 aussi respecter les recommandations en matière **de rejet dans les eaux de surfaces** fixées dans l'article R214-1 rubrique 2.2.3.0 du code de l'environnement et en particulier les seuils R1 et R2 de qualité des rejets dans les eaux de surface définis dans l'Arrêté du 9 août 2006.

Le Ministère français de la Transition Ecologique et Solidaire, pour répondre aux enjeux de développement durable et respecter les préconisations de la Directive Cadre sur les déchets (2008/98/CE) et de la Loi n°2015/992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, fait de cette perspective de valorisation un axe de réflexion majeur. Dans cette optique, un groupe de travail doit rédiger un guide méthodologique en 2018.

- **Technique routière**

La valorisation des sédiments en technique routière englobe différents usages que sont :

- Usages en sous-couche de chaussée ou d'accotement, revêtus (d'une couche de surface réputée imperméable (asphalte, enrobés, enduits superficiels, béton, pavés jointoyés) et présentant une pente minimum de 1%.): remblai sous ouvrage, couche de forme, couche de fondation, couche de base, et couche de liaison
- Usages en remblai technique connexe à l'infrastructure routière ou en accotement (ex : écomodelé - protection phonique), dès lors qu'il s'agit d'usages recouverts (par au moins 30 cm de matériaux naturels (dont terre végétale), avec une pente minimum de 5% sur le dessus de cette couverture, afin de limiter l'infiltration de l'eau)
- Usages routiers non-revêtus ou non-recouverts : usages en couche de roulement ; usages en sous-couche de chaussée ou d'accotement, non revêtus ; usages en remblai technique connexe à l'infrastructure routière ou en accotement, non recouverts ; usages en remblai de préchargement nécessaire à la construction d'une infrastructure routière ; usages en système drainant (ex : tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir).

Cette filière est consommatrice de très larges quantités de matériaux (ex. 200 millions de tonnes de granulats utilisées annuellement dans la construction française de route, principalement issus de l'exploitation des carrières). La substitution des matières 1^{ères} classiquement utilisées par des sédiments offre ainsi une possibilité de valorisation très pertinente.

Les besoins en termes de matériaux sont :

- Des matériaux sur lesquels ne pèsent que de faibles exigences, consommés en grandes masses dans les remblais ou les écomodelés
- Des granulats qui doivent répondre à des spécifications diverses selon la place qu'ils occupent dans la structure et les techniques de traitement utilisées

Pour être valorisés en technique routière, les sédiments **doivent-être classés inertes ou non-dangereux.**

Différents référentiels ou guides d'application existent pour accompagner les maîtres d'œuvre. Les principaux sont les suivants :

- Le GTR (Guide des Terrassements Routiers) élaboré par le Service d'Etude sur les Transports, les Routes et leurs Aménagement (SETRA, 1992) : document de référence pour la classification des matériaux utilisables en remblai et en couche de forme.

Ce guide traite de trois aspects : l'établissement d'une classification spécifique des matériaux (selon 3 types de paramètres : nature, état et comportement mécanique) ; les modalités de mise en œuvre des matériaux suivant l'utilisation concernée (remblai ou couche de forme) ; et les modalités pratiques d'exécution du compactage.

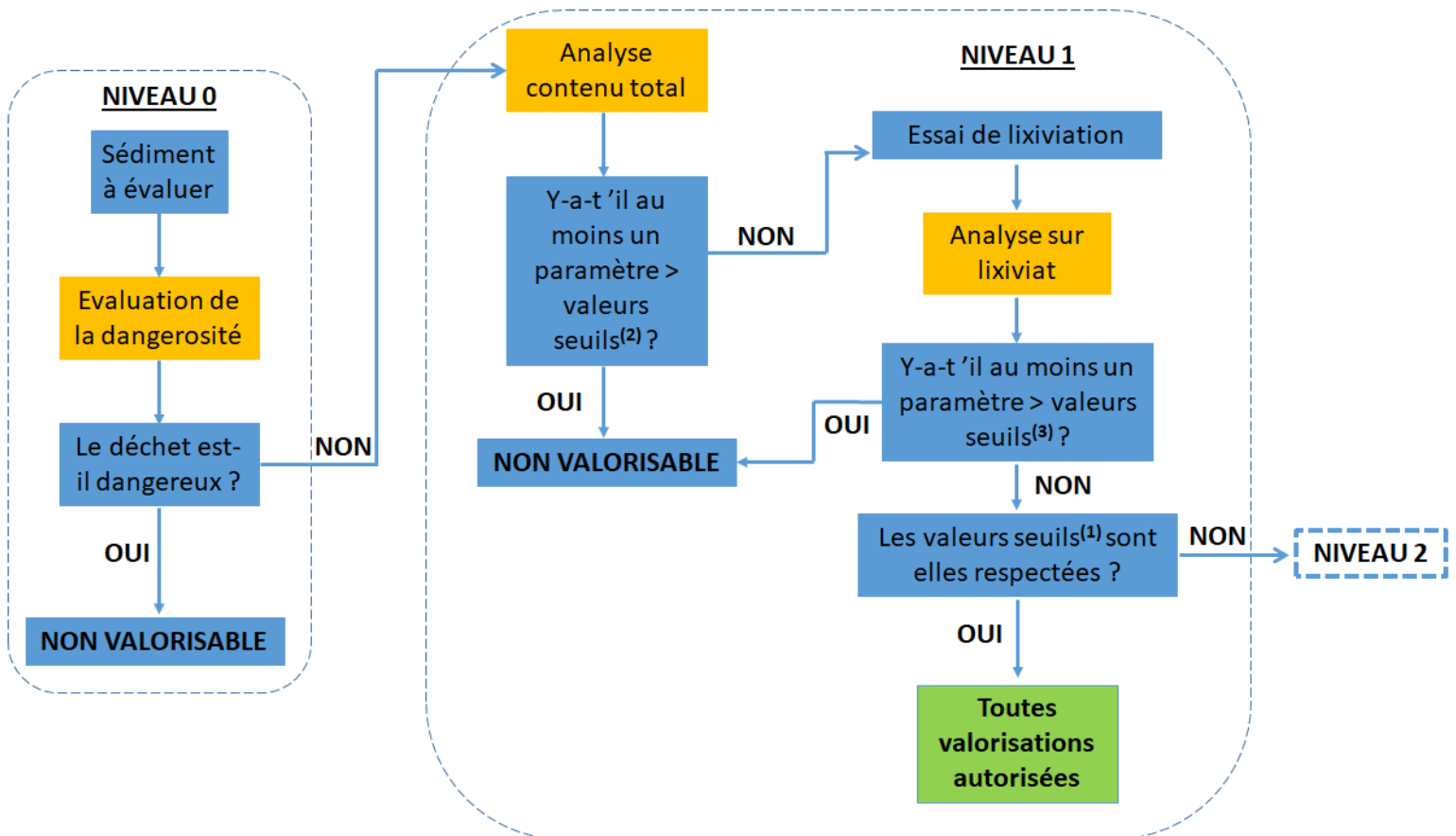
- Le guide « Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières - Évaluation environnementale » - SETRA, mars 2011 : document de référence qui donne le cadre méthodologique à suivre pour l'incorporation de matériaux alternatifs en technique routière.
- Le guide technique « Traitement des sols à la chaux et/ou liants aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées » - SETRA/LCPC, janvier 2000
- Le guide technique « Traitement des sols à la chaux et/ou liants aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et couches de forme » ou « GTS » - SETRA/LCPC, janvier 2000

Concernant l'évaluation environnementale, décrite dans le guide SETRA de mars 2011, préalable indispensable à la valorisation du déchet sédiment, 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 (3^{ème} 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.)

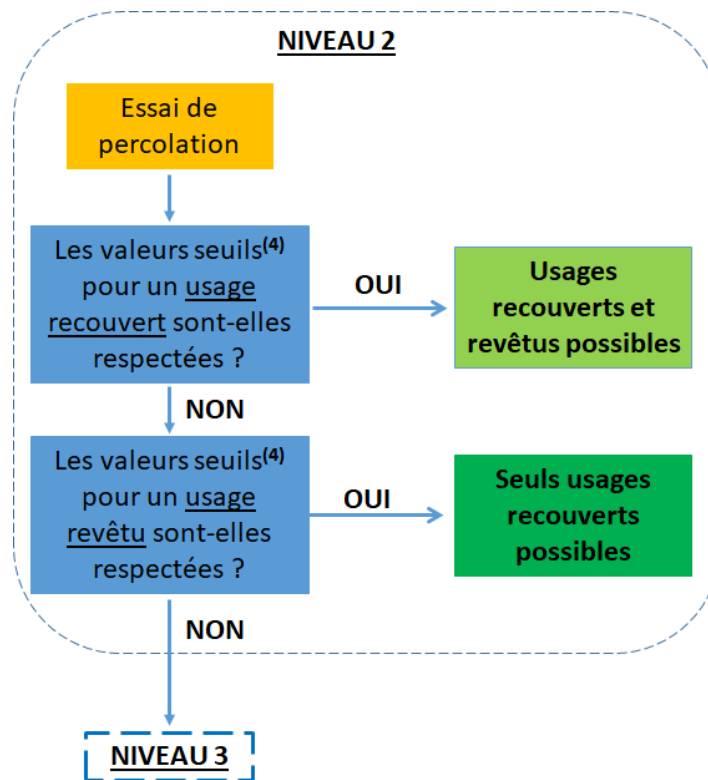
Sur la base des recommandations du guide SETRA, 2011, nous avons représenté la démarche réglementaire à suivre pour valider l'utilisation des sédiments en technique routière. Les valeurs limites à ne pas dépasser sont également indiquées en suivant.



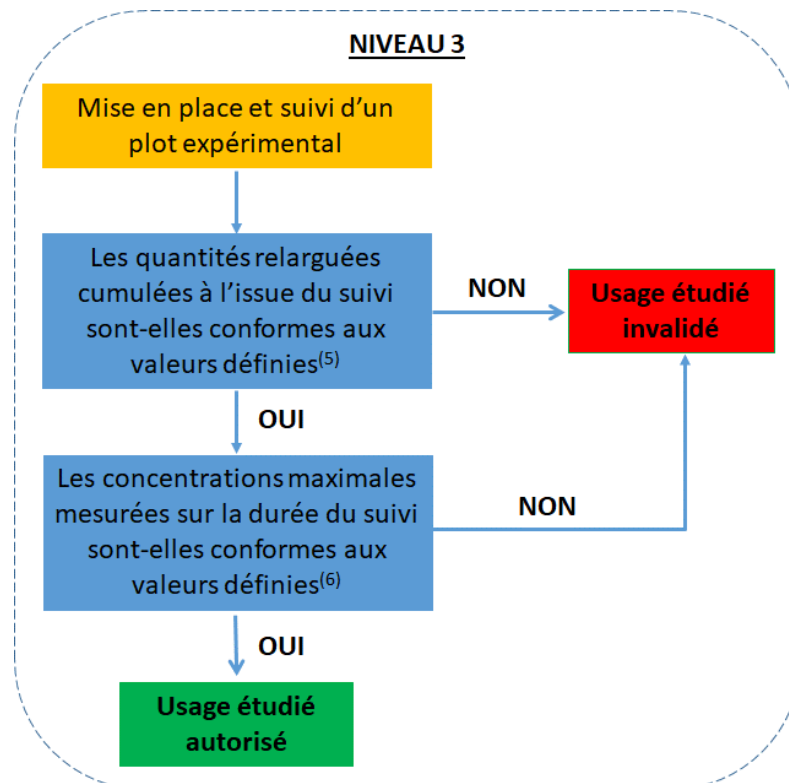
(1) Guide SETRA, 2011 - Tableau 3 : Valeurs limites en lixiviation permettant de justifier toutes les utilisations visées par le présent guide

(2) Guide SETRA, 2011 - Tableau 4 : Valeurs limites en contenu total pour être candidat à une utilisation en technique routière

(3) Guide SETRA, 2011 - Tableau 5 : Valeurs limites en lixiviation pour être candidat à une utilisation en technique routière



(4) Guide SETRA, 2011 – Tableau 6 : Valeurs limites en percolation permettant de justifier certaines utilisations visées par le présent guide



(5) Guide CEREMA, 2015 - Tableau 1 : Acceptabilité des émissions globales

(6) Guide CEREMA, 2015 - Tableau 2 : Concentration des émissions

Paramètre	Quantité relarguée à L/S = 10 l/kg (essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou NF EN 12457-4)		
	Ensemble de valeurs à respecter par au moins 80% des échantillons (mg/kg de matière sèche)	Ensemble de valeurs à respecter par au moins 95% des échantillons (mg/kg de matière sèche)	Ensemble de valeurs à respecter par 100% des échantillons (mg/kg de matière sèche)
As	0,5	1	1,5
Ba	20	40	60
Cd	0,04	0,08	0,12
Cr total	0,5	1	1,5
Cu	2	4	6
Hg	0,01	0,02	0,03
Mo	0,5	1	1,5
Ni	0,4	0,8	1,2
Pb	0,5	1	1,5
Sb	0,06	0,12	0,18
Se	0,1	0,2	0,3
Zn	4	8	12
Fluorures	10	20	30
Chlorures ^(*)	800	1 600	2 400
Sulfates ^(*)	1 000	2 000	3 000
Fraction soluble ^(*)	4 000	8 000	12 000

Tableau 3. Valeurs limites en lixiviation permettant de justifier toutes les utilisations visées par le présent guide

Paramètre	Ensemble de valeurs à respecter par au moins 80% des échantillons (mg/kg matière sèche)	Ensemble de valeurs à respecter par 100% des échantillons (mg/kg matière sèche)
COT ^(*)	30 000	60 000
BTEX (Benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)		6
PCB (Polychloro Biphényles, 7 congénères) Congénères n°28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180		1
HCT (Hydrocarbures totaux, C10 à C40) ^(**)		500
HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) ^(**)		50
Dioxines et furannes ^(***)		10 ng I-TEQ _{OMS, 2005} /kg matière sèche

Tableau 4 - Valeurs limites à ne pas dépasser en contenu total pour être candidat à une utilisation en technique routière.

Paramètre	Quantité relarguée à L/S = 10 l/kg (essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou NF EN 12457-4)
	Valeur (mg/kg de matière sèche)
As	2
Ba	100
Cd	1
Cr total	10
Cu	50
Hg	0.2
Mo	10
Ni	10
Pb	10
Sb	0.7
Se	0.5
Zn	50
Fluorures	150
Chlorures ^(*)	15 000
Sulfates ^(*)	20 000
Fraction solubles ^(*)	60 000

Tableau 5 - Valeurs limites à ne pas dépasser en lixiviation pour être candidat à une utilisation en technique routière.

Paramètre	Scénario « sous-couche de chaussée ou d'accotement revêtus ⁽²⁶⁾ »	Scénario « remblai technique ou accotement recouverts ⁽²⁷⁾ »
	Quantité relarguée cumulée à L/S = 10 l/kg (essai de percolation NF CEN/TS 14405)	Quantité relarguée cumulée à L/S = 10 l/kg (essai de percolation NF CEN/TS 14405)
	Valeur (mg/kg de matière sèche)	Valeur (mg/kg de matière sèche)
As	0,8	0,5
Ba	56	28
Cd	0,32	0,16
Cr total	4	2
Cu	50	50
Hg	0,08	0,04
Mo	5,6	2,8
Ni	1,6	0,8
Pb	0,8	0,5
Sb	0,4	0,2
Se	0,5	0,4
Zn	50	50
Fluorures	60	30
Chlorures	10 000	5 000
Sulfates	10 000	5 000

Tableau 6. Valeurs limites en percolation permettant de justifier certaines utilisations visées par le présent guide

Source : « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière » - Seuils pour l'évaluation de niveau 1 et 2 - SETRA 2011

Paramètre	Quantité surfacique relarguée cumulée	
	Valeur (mg/m ²)	
As	10	} X $\min(d; \frac{P_{eff}}{P_{ref}})$
Ba	700	
Cd	4	
Cr total	50	
Cu	625	
Hg	1	
Mo	70	
Ni	20	
Pb	10	
Sb	5	
Se	6	
Zn	625	
Fluorure	750	
Chlorure	125 000	
Sulfate	125 000	

d est la durée du suivi (an)
P_{eff} est la pluie efficace mesurée sur la durée du suivi (mm).
P_{ref} est la pluie efficace annuelle de référence qui vaut :

- 100 mm/an dans le cas d'un usage revêtu
- 300 mm/an dans le cas d'un usage recouvert

Tableau 1 : Acceptabilité des émissions globales

Paramètre	Concentration maximale	
	Valeur (mg/l)	
As	0.3	
Ba	20	
Cd	0.3	
Cr total	2.5	
Cu	30	
Hg	0.03	
Mo	3.5	
Ni	3	
Pb	3	
Sb	0.15	
Se	0.2	
Zn	15	
Fluorure	40	
Chlorure	8 500	
Sulfate	7 000	

Tableau 2 : Concentration des émissions

Source : « Aide à la mise en œuvre du niveau 3 de caractérisation environnementale » - CEREMA, juillet 2015.

- **Génie Civil – Matériaux de construction**

Le domaine de la construction (BTP : Bâtiments Travaux Publics) est le principal utilisateur de matières premières dans le monde, loin devant les besoins de l'énergie. Depuis un siècle, l'extraction des matériaux de construction a été multipliée par 34, alors que celle des énergies fossiles a été multipliée par 12 (PNUE (2011) et Krausmann et al., 2009).

« Le béton est, après l'eau, la matière la plus consommée dans le monde. (...) Le sable, constituant du béton, est la deuxième matière minérale extraite avec des volumes en croissance très rapide et de nombreux impacts environnementaux et socio-économiques. La pénurie en est clairement annoncée au même titre que celle des énergies fossiles » (Source : Panorama des matériaux bio-sourcés – CREE 2015).

La partie sableuse des sédiments pourrait donc être une nouvelle source durable de substitution de la matière 1^{ère} épuisable classiquement utilisée. Les valorisations à cibler interviennent en tant que granulats ou fines dans les bétons (terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant).

Si plusieurs normes existent pour analyser et valider les caractéristiques techniques des écomatériaux élaborés (ex. NF EN 206-1 ; NF P 18-201 ; NF P 18-545 ; NF EN 12 620 ; NF EN 13 055 ; NF EN 1744-1 ; NF EN 1744-5 ; etc.), aucune réglementation spécifique n'encadre l'évaluation environnementale et sanitaire de ces matériaux à base de sédiments.

Les sédiments à valoriser devront être classés **inertes** (selon Arrêté du 28 octobre 2010 – remplacé par Arrêté du 12 décembre 2014) **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 - définies pour atteindre les objectifs de « bon état des masses d'eau » définis par la Directive Cadre sur l'Eau), ou avec les valeurs seuils proposées dans les normes sanitaires pour les eaux destinées à l'alimentation des populations humaines.

Ces différentes valeurs seuils sont listées dans l'arrêté du 17 décembre 2008 (seuils de qualité pour les eaux souterraines), dans l'arrêté ministériel du 25 janvier 2010 (seuils de qualité pour les eaux de surface), dans l'arrêté du 11 janvier 2007 (seuils de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine).

- **Réalisation de terre-plein ou polder - Aménagements paysagers**

Selon le cas, la réalisation de terre-pleins ou de polders entre dans le champ des rubriques 3.3.1.0 et/ou 4.1.2.0 de la nomenclature des travaux soumis à déclaration ou à autorisation au titre de la loi sur l'eau. Si un réseau de drainage est créé dans le terre-plein ou le polder, une déclaration ou une autorisation au titre de la rubrique 3.3.2.0 de la nomenclature IOTA peut également être requise. Le rejet en mer des eaux de drainage peut, le cas échéant, être soumis à procédure au titre de la rubrique 2.2.3.0 de la nomenclature IOTA (Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements).

Les sédiments doivent-êtré classés **inertes ou non-dangereux** et faire l'objet d'une évaluation environnementale par mise en œuvre de la norme NF EN 12 920 + A1 (Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées - novembre 2008).

La création d'aménagements paysagers est gouvernée par la hauteur et la surface des ouvrages réalisés. Selon l'article R441-19 du code de l'urbanisme, les exhaussements de sol dont la surface est inférieure à 2 hectares et dont la hauteur est inférieure à 2 m doivent faire l'objet d'un permis d'aménager délivré par le maire de la commune. Lorsque ces dimensions sont dépassées, il est prévu au titre du décret n°2011-2019 du 29 décembre 2011 qu'ils soient soumis à étude d'impact avec production d'une EQRS (Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires) qui doit démontrer que les impacts sur la santé humaine et sur le milieu récepteur seront négligeables.

- **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. Cet arrêté précise notamment que « le remblayage de carrières ne doit pas nuire à la qualité et au bon écoulement des eaux. Lorsqu'il est réalisé avec apport de matériaux extérieurs (déblais de terrassements, matériaux de démolition, ...), ceux-ci doivent être préalablement triés de manière à garantir l'utilisation des seuls matériaux inertes. »

Cette filière de valorisation est donc réservée aux **sédiments classés inertes** (selon Arrêté du 28 octobre 2010 – remplacé par Arrêté du 12 décembre 2014).

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 direct de déchets urbains et industriels (tels que : boues résiduelles d'épuration, boues de curage, déchets des industries agro-alimentaires) est possible, sous réserve d'innocuité et d'efficacité agronomique, et est soumis aux procédures réglementaires d'autorisation ou de déclaration, et nécessitent un plan d'épandage et un suivi agronomique annuel.

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 au titre de la catégorie 22 du tableau annexe à l'article R 122-2 du code de l'environnement. Dans ce cas, une enquête publique est nécessaire, même si le dragage relève du régime déclaratif.

En l'absence d'arrêté portant prescriptions générales au titre de la rubrique 2.1.4.0, le service instructeur applique par défaut les dispositions relatives aux conditions générales d'épandage des boues d'épuration prévues aux articles R211-31 à R 211-45 du Code de l'Environnement et l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues issues du traitement des eaux usées sur les sols agricoles.

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. Les résultats d'analyses et l'étude agro-pédologique doivent être adressés au service instructeur et, le cas échéant, intégrés dans le document d'incidence ou l'étude d'impact figurant dans le dossier déposé au titre de la loi sur l'eau pour le dragage et/ou l'épandage.

- **Couverture d'installation de stockage des déchets non-dangereux**

Selon l'arrêté du **9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux**, il existe trois sortes de couvertures dans les installations de stockage de déchets non-dangereux :

- Les couvertures périodiques : situées à l'intérieur du casier de confinement, elles peuvent donc être constituées de déchets **non dangereux**, dont les sédiments
- Les couvertures intermédiaires : mises en œuvre en attendant que la couverture finale soit réalisée, elles doivent être constituées de **déchets inertes**, dont les sédiments

- Les couvertures finales : constituées de plusieurs couches, elles ont pour but de limiter les infiltrations dans les déchets et de limiter les infiltrations d'eau vers l'intérieur de l'installation de stockage en fin d'exploitation. La nature des matériaux utilisés pour ces couches n'est pas précisée dans l'arrêté. Si l'exploitant souhaite utiliser des déchets non dangereux, il devra prouver la pérennité de la non contamination des eaux de ruissellement (ex. étude selon norme NF EN 12 920 + A1), cette couverture devant protéger le massif de déchet pour une durée indéterminée.

Les spécifications techniques requises pour l'élaboration de ces couvertures sont relatives :

- Aux paramètres de nature (granulométrie - nature fine (particules inférieures à 20 μ m >20%) ; argilosité (teneur en argiles = 15 à 20%) ; composition (ex : la teneur en carbone organique ne doit pas dépasser 5 %))
- Aux paramètres d'état (teneur en eau pondérale (< 50%), poids volumique sec et humide, indice de consistance, indice portant immédiat et activité du matériau)
- Aux comportements mécaniques (estimation des tassements, de la compressibilité ou de la consolidation, et de la résistance au cisaillement du sol)

5.7) Contexte - Usage et Besoins des ports varois

Cette partie sera développée dans un autre livrable du projet SEDITERRA, le livrable T1.3.5 (Caractérisation du gisement - Rapport de synthèse des caractéristiques qualitatives et quantitatives du gisement de sédiments marins et continentaux de la zone Marittimo y compris carte SIG) pris en charge par le partenaire corse (CTC).

5.8) Références bibliographiques - règlementaires – normatives

Arrêté du 14 juin 2000 relatif aux niveaux de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux 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.

Arrêté du 23 décembre 2009 complétant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux 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, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Arrêté du 8 février 2013 complémentaire à l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux 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, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Arrêté du 17 juillet 2014 modifiant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux 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, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

Circulaire n° 2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par l'arrêté interministériel.

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

Arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement

Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes

Circulaire du 4 juillet 2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux

Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées

Arrêté du 15 février 2016 relatif aux installations de stockage de déchets de sédiments

Décret n° 2010-369 du 13 avril 2010 modifiant la nomenclature des installations classées

Directive n° 1999/31/CE du 26/04/99 concernant la mise en décharge des déchets

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

Directive Cadre 2008/98/CE sur les déchets du 19 novembre 2008 transposée par l'ordonnance n° 2010-1579 du 17 décembre 2010

Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines

Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement

Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique

Décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements

Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières

Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

Arrêté du 9 septembre 1997 relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux

Code de l'environnement - Article R214-1

Code de l'environnement - Articles R211-31 à R 211-45

Code de l'environnement - Article R 122-2

Code de l'environnement - Article R414-19

Code de l'environnement - Article R441-19

Code de l'environnement - Article R541-2

Code de l'environnement - Article R541-11

Code de l'environnement - Article L541-8

Code de l'environnement - Article L541-32

Code de l'environnement - Articles R511-1 et suivants

Code de l'environnement - Articles R512-1 et suivants

CEREMA - Enquête dragage 2013 - Enquête nationale sur les dragages des ports maritimes - Juin 2017

CEREMA – Aide à la mise en œuvre du niveau 3 de caractérisation environnementale – Juillet 2015

VNF – « Prélèvements de sédiments », Déroulement et planification - 2014

CTNGS – Guide méthodologique : « Caractérisation des sédiments » - Projets de curage – Surveillance des sédiments – 2001

GEODE – Guide des « Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien » - Novembre 2016

SDAGE Rhône Méditerranée – Recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments potentiellement contaminés – 2013

De Korff M., Boyeux B., Blaisse L., Otéro L., Arnaud L., Frey P., Boyeux M., Lénée-Corrèze L. (CREE – 2015) - Matériaux de construction : retour aux (bio)resourçes - Panorama et perspectives de l'utilisation des matériaux de construction biosourcés dans le monde. 24p

Krausmann F., Gingrich S., Eisenmenger N., Erb K-H., Haberl H., Fischer-Kowalski M. (2009) - Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. Ecological Economics

PNUE - Programme des Nations Unies pour l'environnement - « Vers une économie verte : Pour un développement durable et une éradication de la pauvreté – Synthèse à l'intention des décideurs » - 2011

Schiavone S., Coquery M. (2011). Guide d'échantillonnage et de prétraitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. Cemagref, 24 p.

Vernus E., Méhu J., Bonnet J., Bergeron A. (2013). Filières de gestion à terre, guide thématique CAP-Sédiments, 44 p

SETRA/LCPC – Guide des Terrassements Routiers (GTR) - Réalisation des remblais et des couches de forme - Guide technique – 1992 (réédité en 2000)

SETRA - Guide méthodologique pour l'acceptabilité des matériaux alternatifs en techniques routières, évaluation environnementale. 29p - Mars 2011.

SETRA/LCPC – Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées - janvier 2000

SETRA/LCPC - Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et couches de forme » ou « GTS » - janvier 2000

CEREMA – Echantillonnage des sédiments marins et fluviaux – Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire – septembre 2016

NF EN 12920+A1 : Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées - Novembre 2008

NF EN 12457-2 : Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité) - Décembre 2002

NF CEN/TS 14405 - Caractérisation des déchets - Essai de comportement à la lixiviation - Essai de percolation à écoulement ascendant (dans des conditions spécifiées) - Juillet 2005 (annulée le 15/04/2017)

NF EN ISO 5667-15 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 15 : lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments - Octobre 2009

ISO 5667-12 : 2017 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 12: Recommandations concernant l'échantillonnage des sédiments dans les rivières, les lacs et les estuaires - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 12 : Lignes directrices pour l'échantillonnage des sédiments - Juillet 2017

X31-100 - Qualité des sols - Échantillonnage - Méthode de prélèvement d'échantillons de sol - Décembre 1992 (annulée le 27/06/2018)

NF EN 16179 - Boues, bio-déchets traités et sols - Lignes directrices pour le prétraitement des échantillons - Octobre 2012

NF EN 206/CN - Béton - Spécification, performance, production et conformité - Complément national à la norme NF EN 206 - Décembre 2014

NF P18-201 - DTU 21 - Travaux de bâtiment - Exécution des ouvrages en béton - Cahier des clauses techniques - Mars 2004 (annulée le 17/06/2017)

NF P18-545 - Granulats - Éléments de définition, conformité et codification - Septembre 2011

NF EN 12620+A1 - Granulats pour béton - Juin 2008

NF EN 13 055-1 - Granulats légers pour bétons et mortiers – Mars 2014

NF EN 1744-1+A1 - Essais visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats - Partie 1 : analyse chimique - Février 2014

NF EN 1744-5 - Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats - Partie 5 : détermination des sels chlorures solubles dans l'acide - Janvier 2007

NF EN ISO/CEI 17025 - Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais – Novembre 2017

VI. CONTRIBUTION ITALIENNE INTÉGRALE

SOMMAIRE

6.1	Introduction	101
6.2	Zones SIN - Caractérisation des sédiments avant le dragage	101
6.2.1	Stratégie d'échantillonnage	102
6.2.2	Méthodes d'échantillonnage	104
6.2.3	Sous-échantillonnage et préparation des échantillons	105
6.2.4	Traitement et conservation des échantillons	106
6.2.5	Critères applicables au choix des laboratoires d'analyses	108
6.2.6	Analyses prévues	108
6.2.7	Modalités de restitution des résultats	114
6.2.8	Traitement et évaluation des résultats de la caractérisation	114
6.2.9	Gestion dans le milieu marin-côtier et à terre	116
6.3	Autres zones que les SIN- Caractérisation des sédiments avant le dragage	117
6.3.1	Fiche de définition de la zone d'excavation	118
6.3.2	Stratégie d'échantillonnage	118
6.3.3	Méthodes d'échantillonnage	120
6.3.4	Analyses prévues	124
6.3.5	Classification des sédiments	129
6.3.6	Gestion des sédiments dans l'environnement marin-côtier	131
6.3.7	Résultats de la caractérisation des sédiments	132
6.4	Technologie de traitement des sédiments	132
6.4.1	Technologies de traitement in situ	133
6.4.2	Technologies de traitement hors site	137
6.5	Conclusions	144
6.6	Documents de référence	145

6.1) Introduction

Les opérations de dragage à l'intérieur des Sites de bonification d'intérêt national (ci-après désignés SIN) sont régies par l'art. 5-bis de la L. 84/1994 et modifications suivantes, dont l'alinéa 5 indique que « l'adéquation du matériau dragué en vue de son utilisation selon les termes des alinéas 2 et 3 est vérifiée par des analyses spécialement prévues à cet effet qui seront réalisées sur le site avant le dragage, selon des méthodes et des critères préalablement établis » par le D.M. 07/11/2008 (tel que modifié par le D.M. 04/08/2010). L'art. 5-bis fournit quelques indications sur les options possibles en termes de gestion des sédiments dragués.

Le D.M.172/2016 « Règlement régissant les modalités et les normes techniques applicables aux opérations de dragage réalisées dans les Sites d'intérêt national, selon l'art. 5-bis, alinéa 6, de la Loi 28 janvier 1994, n° 84 », publié ultérieurement sur la base des termes de l'alinéa 6 de l'art. 5-bis, L. 84/1994, décrit, en revanche, pour toutes les phases de manutention des sédiments (du dragage, au transport, au placement à terre), les modalités relatives à la manutention, les mesures d'atténuation et les critères de préparation et de mise en œuvre des activités de contrôle dans les zones portuaires, marines et côtières incluses dans les SIN.

Les opérations de dragage réalisées hors des SIN sont régies par le D.M. 173/2016 « Règlement relatif aux modalités et aux critères techniques applicables à l'autorisation d'immersion en mer des matériaux de dragage des fonds marins », établissant la procédure de délivrance de l'autorisation d'immersion volontaire en mer des matériaux visés à la lettre a), alinéa 2, de l'art. 109 du D.-L. 152/2006 (matériaux résultant du creusement des fonds marins ou saumâtres ou de terrains côtiers émergés), compte tenu des finalités de protection du milieu marin et afin de permettre une exploitation légale de la mer.

Le D.M.173/2016, et son annexe technique, établit les critères de caractérisation et classification des matériaux, en abrogeant toutes les normes techniques relatives aux activités réglementées par ledit arrêté et précédemment contenues dans le D.M. 24/01/1996. Ceci, sous réserve de toutes les dispositions établies par le D.M. 24/01/1996 liées aux activités de manutention de sédiments marins pour la pose de câbles et de conduites sous-marin(e)s.

6.2) Zones SIN - Caractérisation des sédiments avant le dragage

Nous allons décrire ci-dessous les méthodes et les critères applicables pour la caractérisation des sédiments à draguer selon le D.M. 07/11/2008 et modifications suivantes.

6.2.1) Stratégie d'échantillonnage

6.2.1.1 Schéma d'échantillonnage

Le schéma d'échantillonnage doit tenir compte de la différence de profondeur des fonds marins, du modèle conceptuel formulé, de la différente qualité des sédiments selon les données collectées, des dynamiques d'accumulation et/ou d'érosion présentes ainsi que de l'articulation structurelle interne de la zone d'intervention.

Le schéma prévoit la disposition des postes d'échantillonnage selon une répartition uniforme, avec une densité de prélèvement au moins équivalente à celle que l'on peut obtenir par un système de mailles de dimensions suivantes:

1. 50x50 m (un poste d'échantillonnage tous les 2 500 m²) dans les zones internes à une distance inférieure à 50 mètres des ouvrages (tels que les pontons, les darses et les quais), ainsi que dans les zones où l'on repère, d'après le modèle conceptuel, des problèmes spécifiques
2. 100x100 m (un poste d'échantillonnage tous les 10 000 m²) dans tous les autres cas, exception des zones établies au point 3
3. 200x200 m (un poste d'échantillonnage tous les 40 000 m²) aux embouchures des ports, dans les zones externes ou adjacentes aux ports le long des digues de protection externes et les brise-lames

Le schéma d'échantillonnage décrit ci-dessus s'applique aux zones portuaires dites internes, aux embouchures des ports, aux zones situées juste à l'extérieur des ports mais adjacentes à ceux-ci, le long des digues de protection externes, des brise-lames et dans les canaux d'accès aux ports. En particulier, dans les canaux d'accès, le schéma d'échantillonnage doit être préparé de manière à caractériser de manière exhaustive, selon le modèle conceptuel et sur la base d'une connaissance détaillée des relevés morpho-bathymétriques des fonds marins, aussi bien les sédiments de l'axe du canal que ceux des rives adjacentes. Le même discours vaut pour les canaux portuaires internes en ce qui concerne l'axe central et les bandes latérales.

Au cas où les activités d'échantillonnage seraient réalisées à l'aide d'une maille régulière, en présence de surfaces de formes irrégulières, au cas où certains éléments (précédentes enquêtes, présence d'évacuations, fortes différences de profondeur) laissent supposer la présence de situations critiques dans les zones concernées, un poste d'échantillonnage devra être mis en place sur ces surfaces. Au cas où l'on escompterait, dans ces zones, la présence de sédiments dotés de caractéristiques similaires à celles des sédiments des mailles avoisinantes, l'on pourra éviter de positionner à cet endroit d'autres postes d'échantillonnage. Toutefois, dans ces zones résiduelles non échantillonnées et aux fins de l'évaluation des données, la qualité des sédiments sera attribuée, selon un principe de précaution, par rapport aux sédiments dotés des caractéristiques chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques moins favorables parmi celles des mailles adjacentes.

Indépendamment de la surface concernée par les activités de dragage, le nombre de points d'échantillonnage ne doit pas être inférieur à trois.

6.2.1.2 Profondeur d'échantillonnage

Une carotte d'une longueur supérieure à 50 cm par rapport à l'épaisseur du sédiment à draguer (déjà approché par excès par rapport aux 50 cm suivants), et non inférieure à 2 mètres dans tous les cas, doit être prélevée en chaque point d'échantillonnage (là où la présence de fonds durs empêchant la pénétration de l'outil pendant les activités de carottage n'a pas été constatée et documentée de manière opportune).

6.2.1.3 Choix des échantillons

L'on entend par « hauteur d'excavation » la hauteur effective du projet de dragage, approchée aux 50 cm suivants.

La longueur de la carotte est mesurée à partir du top (indiqué en tant que niveau « 0 »).

Des coupes de sédiment doivent être prélevées sur chaque carotte, selon les indications suivantes:

- Pour un niveau d'excavation inférieur à 2 m

Des coupes consécutives de sédiment d'une épaisseur égale à 50 cm doivent être prélevées jusqu'à une hauteur de 2 m (4 coupes).

- Pour un niveau d'excavation supérieur à 2 m

Des coupes consécutives de sédiment d'une épaisseur de 50 cm jusqu'à une hauteur de 2 m ; au-delà de 2 m de profondeur et jusqu'à la hauteur d'excavation, une seule coupe de 50 cm par mètre linéaire de longueur de la carotte doit être prélevée, si ladite coupe est représentative du mètre dans son ensemble ; en revanche, si, à cause de la présence de couches hétérogènes, il est impossible de sélectionner une coupe de 50 cm représentative du mètre dans son ensemble, deux coupes consécutives de 50 cm devront être prélevées ; sous la hauteur d'excavation, l'on procédera au prélèvement et à l'analyse d'une coupe de 50 cm d'épaisseur.

Au cas où, avant d'atteindre la profondeur d'échantillonnage, il était constaté que le substrat géologique naturel constitutif de la zone est exempt de toute contamination anthropique, il suffira de prélever une seule carotte d'une longueur de 50 cm représentative de la totalité de la couche.

Toutes les carottes prélevées doivent être analysées.

6.2.2) Méthodes d'échantillonnage

Les sédiments doivent être échantillonnés en cherchant à « perturber » le moins possible l'échantillon, y compris en évitant de possibles contaminations résultant d'un mauvais usage des instruments.

Les personnes affectées au prélèvement doivent posséder les compétences nécessaires dans le domaine des sondages de sédiments en milieu marin ainsi que des moyens techniques adaptés aux exigences techniques liées aux opérations à effectuer.

La localisation réelle doit-être relevée à l'aide de GPS différentiels (GPS) et la profondeur effective à l'aide d'un appareil de sondage adapté, pour chaque point d'échantillonnage.

Les coordonnées géographiques et les mesures ellipsoïdiques doivent se reporter à l'ellipsoïde WGS84. En particulier, la latitude et la longitude doivent être exprimées en degrés, en nombres premiers et fractions de nombres premiers ainsi que dans les coordonnées UTM métriques correspondantes; les mesures ellipsoïdiques doivent être exprimées en mètres si elles se rapportent aux fonds marins.

Les opérations de prélèvement de sédiments selon le schéma d'échantillonnage visé au point 3 doivent être exécutées par carottage, à l'aide d'un carottier de type vibrocoker ou, éventuellement, à rotation. Dans tous les cas, le système de forage doit être apte à minimiser la perturbation des sédiments traversés, afin d'éviter la propagation aux couches les plus profondes de la contamination provenant des couches superficielles. En cas d'utilisation d'un carottier à rotation, la vitesse de rotation ne doit pas être excessive, afin de réduire le frottement entre le sédiment et le dispositif d'échantillonnage.

Afin d'assurer le prélèvement de sédiments en évitant toute perturbation excessive, le carottier doit comporter un revêtement interne (liner), en polyéthylène inerte, polypropylène ou polycarbonate, de la même longueur que la tige utilisée. L'utilisation de fluides ou boues de circulation n'est pas autorisée pour le même motif.

Le sondage doit être exécuté en sens vertical.

La carotte doit être récupérée sur toute la longueur, en une seule opération, d'un seul tenant, à l'aide de tiges d'une hauteur adaptée à l'épaisseur du matériau que l'on souhaite caractériser, en tenant compte de la nécessité d'obtenir une récupération de 100 %. Les outils choisis doivent, donc, prévoir une longueur de prélèvement augmentée de manière opportune, par rapport à la longueur programmée, afin de permettre la récupération complète de l'épaisseur prévue.

Le diamètre des instruments doit permettre la récupération d'une quantité de matériau suffisante en vue de l'exécution de toutes les analyses prévues, en tenant compte des modalités de préparation des échantillons et de la quantité d'échantillon à conserver.

La perturbation de l'échantillon doit être évitée également pendant la phase d'extrusion, par l'utilisation, entre autres, d'une extrudeuse à piston hydraulique ou en exécutant une coupe longitudinale du liner interne. À cette fin, l'équipement utilisé pour le prélèvement de la carotte, pour l'extrusion ou pour la coupe de celle-ci, pour les opérations de répartition en coupes et d'homogénéisation des échantillons, doit toujours être décontaminé avant son emploi.

L'usage de détergents généralement utilisés pour le nettoyage ou l'optimisation du fonctionnement des outils (lubrifiants, CRC, etc.) n'est pas autorisé.

Aux fins de la comparabilité des résultats obtenus, nous suggérons d'utiliser les mêmes outils d'échantillonnage au cours de la même campagne, ainsi que les mêmes méthodes de sous-échantillonnage.

6.2.3) Sous-échantillonnage et préparation des échantillons

Une fiche récapitulative, contenant les informations suivantes, doit être remplie pour chaque point de prélèvement :

- Code d'identification du poste d'échantillonnage
- Date et heure d'échantillonnage
- Coordonnées réelles du point
- Hauteur du fond
- Longueur de la carotte prélevée
- Description stratigraphique de la carotte
- Coupes prélevées
- Description macroscopique des coupes et codes des échantillons correspondants

Les codes d'identification du poste d'échantillonnage et de l'échantillon doivent coïncider. En particulier, le code du poste doit contenir la référence de la campagne de recherche et le numéro de poste; le code de l'échantillon doit contenir la référence de la campagne, le numéro du poste d'échantillonnage et la référence de la coupe de prélèvement le long de la carotte.

L'ouverture ou l'extrusion de la carotte doivent avoir lieu quelques heures après le prélèvement du fond marin.

Immédiatement après l'ouverture ou l'extrusion, les carottes doivent être mesurées sur leur longueur de prélèvement, photographiées (la photo devra faire apparaître une plaquette d'identification avec le code du poste, la date de prélèvement et la longueur de la carotte) et soumises à une inspection visuelle réalisée par du personnel spécialisé.

Une fois mesurées, les carottes doivent être immédiatement sous-échantillonnées en triant, à partir du top, les coupes de sédiment correspondant aux intervalles visées au point 5.

Les opérations suivantes doivent être effectuées sur chaque coupe identifiée, immédiatement après la décortication de la partie extérieure de la carotte qui est en contact avec les parois internes du liner ou du carottier:

- le prélèvement de la fraction destinée à la détermination des composés volatiles (hydrocarbures C_{≤12}, BTEX, composés aliphatiques chlorés et cancérigènes), sur les coupes sur lesquelles il a été prévu ; ce prélèvement doit être effectué de manière ponctuelle selon la méthode ASTM 4547-03 ou EPA 5035, sous réserve des mises à jour suivantes ;
- la mesure du pH et de l'Eh sur toutes les coupes choisies.

Immédiatement après, l'on procède au sous-échantillonnage et à l'homogénéisation des pourcentages prévus pour tous les autres paramètres, en évitant de mélanger le sédiment le long de l'axe de la carotte.

Une fois homogénéisé, l'échantillon doit être réparti en deux sous-échantillons, dont un destiné aux analyses et l'autre qui doit être réparti, à son tour, en deux sous-échantillons destinés, respectivement, aux analyses de contrôle et à d'éventuels examens contradictoires ; ces deux sous-échantillons devront être conservés dans des conteneurs en téflon (ou, en alternative, dans des conteneurs en HDPE), à une température comprise entre -18 °C et -25 °C.

Les deux sous-échantillons destinés aux analyses de contrôle et aux éventuels examens contradictoires doivent être scellés sur le terrain, par des dispositifs munis de systèmes de sécurité maximale.

6.2.4) Traitement et conservation des échantillons

Le sous-échantillon à employer pour l'exécution des analyses physiques, chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques doit être rapidement réparti en plusieurs fractions, qui devront être conservées et transportées comme suit :

- la fraction destinée à l'analyse granulométrique, la teneur en eau, le poids spécifique doit être placée dans des conteneurs en plastique, transportée et conservée à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C ; des sachets en polyéthylène haute densité, munis de fermeture hermétique ou à ruban, pourront également être utilisés en alternative

- la fraction destinée à la chimie organique(hydrocarbures C>12, COT, HPA, PCB, nitrobenzènes, chlorobenzènes, chlorophénols, pesticides organochlorés, dioxines et furanes, composés organostanniques) doit être collectée dans des conteneurs décontaminés en téflon (PTFE) ; des sachets en polyéthylène haute densité (HDPE), éventuellement munis de double bouchon, pourront être également utilisés en alternative. Le transport doit avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C ; la conservation en laboratoire à des températures comprises entre -18 °C et -25 °C
- la fraction destinée à l'analyse de l'azote et du phosphore doit être collectée et transportée dans des conteneurs en HDPE ; le transport au laboratoire doit avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C ; la conservation à des températures comprises entre -18 °C et -25 °C
- la fraction destinée à l'analyse de métaux et d'oligo-éléments doit être collectée dans des conteneurs en HDPE décontaminés ; le transport doit avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C ; la conservation en laboratoire à des températures comprises entre -18 °C et -25 °C
- la fraction destinée à l'analyse de l'amiante doit être collectée dans des conteneurs en plastique ou en verre et le transport doit avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C
- La fraction destinée aux analyses microbiologiques doit être collectée dans des conteneurs stériles en polyéthylène ou en polystyrène ; le transport doit avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C ; la conservation en laboratoire doit avoir lieu aux mêmes températures, pendant une durée maximale de 24 heures, pendant lesquelles l'analyse doit débiter
- La fraction destinée aux essais écotoxicologiques doit être placée dans des conteneurs en polyéthylène ou en verre décontaminés, à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. Les analyses devront être exécutées dans les 10 jours qui suivent le prélèvement, sauf indication contraire prévue par la méthode de référence employée
- après le prélèvement selon la procédure visée au point 7, la fraction destinée à l'analyse des composés organiques volatils doit être placée dans des conteneurs en verre décontaminés, généralement compatibles avec l'instrument employé pour l'analyse, parfaitement fermés par un bouchon à vis ou un embout muni de membrane en PTFE. Le transport et la conservation doivent avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. Les échantillons doivent être analysés, de préférence, dans un délai de 14 jours après le prélèvement.

En fonction des exigences des laboratoires utilisés, si la conservation des fractions d'échantillons destinées aux différents types de produits contaminants est prévue à l'intérieur de conteneurs du même type, ces fractions pourront déjà être rassemblées dans le même conteneur lors de la phase de sous-échantillonnage.

Les fractions de matériaux destinées aux vérifications et/ou aux analyses de contrôle, une fois scellées, doivent être conservées par l’Autorité portuaire ou par l’Organisme compétent, si cette dernière n’est pas établie. Leur durée de conservation ne doit pas être inférieure à un an à compter de la fin de l’activité d’instruction par l’Administration compétente.

6.2.5) Critères applicables au choix des laboratoires d’analyses

Analyses chimiques, physiques et microbiologiques

Les procédures d’analyse utilisées pour la détermination des paramètres recherchés doivent être choisies parmi les procédures les plus avancées figurant dans les protocoles nationaux et/ou internationaux (par ex. : EPA, ISO, UNI EN, APAT/IRSA-CNR, ASTM, etc.), s’ils existent. En l’absence d’un protocole tel qu’indiqué ci-dessus, la validité de la procédure utilisée doit être documentée.

Analyses écotoxicologiques (essais biologiques de toxicité)

Les procédures d’analyse comme celles utilisées ci-dessous doivent être choisies parmi celles figurant dans les protocoles nationaux et/ou internationaux ou doivent être reconnues à l’échelle internationale (ASTM, EPA, ISO, AFNOR, CNR-IRSA, APAT, etc.). Les méthodes adoptées et les éventuelles modifications par rapport aux protocoles nationaux et internationaux de référence doivent être déclarées.

Les analyses doivent être réalisées par des Organismes et/ou des Établissements publics ou bien par des laboratoires privés. Les laboratoires privés doivent être dûment agréés selon la norme UNI EN ISO/IEC 17025/2005, au moins en vue de la détermination des paramètres prioritaires, pour la matrice des échantillons à analyser. Les paramètres suivants sont considérés comme prioritaires : granulométrie, métaux, HPA, PCB, hydrocarbures.

6.2.6) Analyses prévues

Les analyses ci-dessous doivent être réalisées sur l’échantillon tel quel et le résultat des données analytiques doit être restitué par rapport au poids sec du matériau analysé.

Analyses physiques

Une description macroscopique indiquant le type de sédiment doit être effectuée sur tous les échantillons prélevés: couleur, odeur, présence de concrétions, résidus d’origine naturelle ou anthropique, etc.

Par ailleurs, tous les échantillons prélevés doivent être soumis à l’analyse de la teneur en eau et du poids spécifique en vue de la détermination de la granulométrie.

La détermination des caractéristiques granulométriques des sédiments doit prévoir l'identification des principales fractions dimensionnelles (gravier, sable, silt et argile) selon les catégories dimensionnelles figurant au tableau A1 ci-dessous. La caractérisation de la fraction pélitique dans les fractions de silt et d'argile est requise pour tous les échantillons dotés d'un pourcentage de fraction pélitique supérieur à 10 %.

Nous conseillons d'utiliser, pour cette caractérisation, un sédigraphe à rayons X ou un granulomètre laser ou d'autres instruments capables de fournir cette donnée analytique.

Tableau A1 : catégories dimensionnelles requises pour la détermination des caractéristiques granulométriques des sédiments

Fractions dimensionnelles		Dimensions
Gravier		> 2 mm
Sable		2 mm > x > 0,063 mm
Pélite	Silt	0,063 mm > x > 0,004 mm
	Argile	< 0,004 mm

Aux fins d'une éventuelle réutilisation des sédiments pour des remblais, sur un certain pourcentage d'échantillons prélevés, de manière à obtenir une répartition homogène par rapport au volume de matériau à caractériser, les principales caractéristiques minéralogiques doivent être déterminées.

Analyses chimiques

Les paramètres chimiques à vérifier sur les sédiments portuaires à draguer à l'intérieur des Sites de bonification d'intérêt national et les limites de quantification correspondantes requises pour les différents paramètres figurent au tableau A2.

Tableau A2 : analyses chimiques à effectuer sur les sédiments portuaires à draguer à l'intérieur des Sites de bonification d'intérêt national et limites de quantification correspondantes

Espèces chimiques	Paramètres individuels et spécifications analytiques	Nombre de mesures à effectuer	Limite de quantification requise* (mg/Kg s.s.)
Métaux	Al As Cd Cr total Cu Fe Hg Ni Pb Zn V	Sur tous les échantillons prélevés	5,0 0,5 0,05 5,0 1,0 5,0 0,05 1,0 1,0 1,0 1,0
Polychlorobiphényles (PCB)	Congénères : PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB105, PCB114, PCB118, PCB123, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB157, PCB 167, PCB 169, PCB170, PCB 180, PCB189 et leur total (Pour les PCB de type dioxine, la mesure doit être effectuée par spectrométrie de masse haute résolution)	Sur tous les échantillons prélevés	0,0001 Pour chaque composé 0,00001 Pour chaque composé de PCB de type dioxine
hydrocarbures polycycliques aromatiques(HPA)	Naphtalène Acénaphène Fluorène Phénanthrène Anthracène Fluoranthène Pyrène Benzo(a)anthracène Chrysène Benzo(b)fluorantène Benzo(b)fluorantène Benzo(j)fluorantène Benzo(a)pyrène Benzo(a)pyrène Dibenzo(a,h)anthracène Benzo(g,h,i)pérylène Indeno(1,2,3,c,d)pyrène Acénaphène	Sur tous les échantillons prélevés	0,001 pour chaque hydrocarbure
Benzène		Sur tous les échantillons prélevés	1,0
Hydrocarbures légers (C≤12)**		Sur tous les échantillons prélevés	0,5
Hydrocarbures lourds (C≤12)**		Sur tous les échantillons prélevés	1,5

Azote total		Uniquement sur les échantillons de sédiment probablement destinés à une immersion en mer	
Phosphore total		Uniquement sur les échantillons de sédiment probablement destinés à une immersion en mer	
Carbone organique Total (COT)		Sur tous les échantillons prélevés	
Pesticides organochlorés	DDD, DDT, DDE (pour chaque substance : somme des isomères 2,4 et 4,4) Cis-chlordane Trans-chlordane Aldrin Dieldrin Endrin α -hexachlorocyclohexane β -hexachlorocyclohexane γ -hexachlorocyclohexane (Lindane) heptachlore heptachlorépoxyde	En présence d'activités actuelles ou passées qui en laissent supposer la présence, sur un certain pourcentage d'échantillons	0,0005 Pour chaque composé
hexachlorobenzène	HCB	Sur un certain pourcentage d'échantillons	0,0001
Composés organostanniques	Exprimé en tant que Sn total d'origine organique	Sur un certain pourcentage d'échantillons	0,001
Dioxines et furanes [Somme PCDD/PCDF (conversion T.E.)]	Mesurés par spectrométrie de masse haute résolution afin d'atteindre la limite de détection demandée	Sur un certain pourcentage d'échantillons	$0,5 \times 10^{-6}$
Amiante	Exprimé en mg/kg s.s. Mesuré par l'une des techniques d'analyse suivantes : diffractométrie à rayons ou I.R. - Transformé de Fourier	Sur un certain pourcentage d'échantillons	
Solvants aromatiques		Sur un certain pourcentage d'échantillons	1,0 Pour chaque composé
<p>Doivent également être recherchées toutes les substances qui peuvent être obtenues d'après les recherches visées au point 2.1, avec une attention particulière pour les matières dangereuses et prioritaires faisant l'objet de la décision du Parlement européen et du Conseil n° 2455/2001/CE. Dans ces cas, les substances supplémentaires doivent être recherchées sur un certain nombre représentatif d'échantillons choisis de manière à obtenir une répartition la plus représentative possible de la zone à analyser, avec une attention particulière pour les zones pouvant présenter une contamination plus importante.</p> <p>* on entend par « limite de quantification requise » la plus faible concentration d'analyte mesurable par la méthode employée par le laboratoire qui réalise les analyses.</p>			

** Dans l'attente de méthodes de référence spécifiques, les Hydrocarbures Totaux(THC) seront considérés comme la somme des hydrocarbures légers(C<12) et lourds (C>12). Aux fins de la classification du matériau contenant « Hydrocarbures Totaux » (THC) d'origine inconnue, nous renvoyons à l'avis formulé par l'Istituto Superiore di Sanità (institut supérieur de santé), le 5 juillet 2006, prot. n° 0036565 sur les « procédures de classification des déchets contenant des hydrocarbures », et les mises à jour ultérieurement mises en œuvre suite aux progrès techniques (ATP) réalisés en matière de classification, d'emballage et d'étiquetage des matières dangereuses selon la directive 67/548/CEE, en précisant que, aux fins de la classification en tant que déchet pur et simple, l'analyse doit se reporter au sédiment tel quel.

Analyses microbiologiques

Compte tenu de leur nature spécifique, les analyses microbiologiques à effectuer selon l'art. 5, alinéa 11-ter sur les sédiments portuaires à draguer à l'intérieur des Sites de bonification d'intérêt national, figurent au tableau A3.

Tableau A3 : analyses microbiologiques à exécuter sur les sédiments portuaires à draguer à l'intérieur des Sites de bonification d'intérêt national

Paramètres	Spécifications	Nombre de mesures à effectuer
Entérocoques	Fécaux	Sur tous les échantillons prélevés
Coliformes	Totaux	Sur tous les échantillons prélevés
Coliformes	Escherichia coli	Sur tous les échantillons prélevés
Clostridium	Spores de clostridiessulfuroréductrices	Sur tous les échantillons prélevés
Salmonelle		Sur tous les échantillons prélevés
Staphylocoques		Sur tous les échantillons prélevés
Mycètes et levures		Aux fins d'une éventuelle réutilisation des sédiments pour le remblayage la mesure doit être effectuée sur tous les échantillons Si le sédiment prélevé est destiné à d'autres usages, la mesure n'est pas nécessaire.

Analyses écotoxicologiques (essais biologiques et toxicité) à effectuer selon l'art. 5, alinéa 11-ter sur les sédiments portuaires à draguer à l'intérieur des Sites de bonification d'intérêt national, compte tenu de leur nature spécifique.

Les essais biologiques doivent être réalisés sur un nombre significatif d'échantillons au moins égal à 30 % du total, au minimum sur deux matrices environnementales constituées par :

- La phase solide du sédiment (tel quel et/ou centrifugé)
- La phase liquide du sédiment (eau interstitielle et/ou éluatriate)

Ils sont réalisés en utilisant une batterie d'essais biologiques composée de trois espèces d'essai appartenant à différents groupes taxonomiques et phylogénétiques, de préférence choisies dans la liste des espèces du tableau A4.

Les modalités d'application sont décrites au Tableau 4 suivant :

Tableau A4 : modalités d'application des analyses biologiques aux sédiments

Espèces	Matrice	Stade vital	Exposition	end-point	expression des données
ALGUES					
<i>Skeletonemacostatum</i>	Élutriate	Culture cellulaire	96 h	Inhibition de la croissance	EC20 et EC50
<i>Dunaliellatertiolecta</i>	Élutriate	Culture cellulaire	96 h	Inhibition de la croissance	EC20 et EC50
<i>Pheodactylumtricornutum</i>	Élutriate	Culture cellulaire	96h	Inhibition de la croissance	EC20 et EC50
<i>Minutocelluspolygonum</i>					
BACTÉRIES					
<i>Vibrio fischeri</i>	Élutriate	Cellules	30°	Inhibition de la bioluminescence	EC20 et EC50
	Sédiment centrifugé	Cellules	30°	Inhibition de la bioluminescence	S.T.I (Sediment Toxicity Index)
ROTIFÈRE					
<i>Brachionus plicatilis</i>	Élutriate	individus	48 h	éclosion des kystes	EC20 et EC50
CRUSTACÉS					
<i>Ampelisca diadema</i>	Sédiment tel quel	Individus jeunes-adultes	10 jours	Mortalité	Δmortalité (Corrigé avec Abbott)
<i>Corophium orientale</i>	Sédiment tel quel	Individus jeunes-adultes	10 jours	Mortalité	Δmortalité (Corrigé avec Abbott)
<i>Corophium insidiosum</i>	Sédiment tel quel	Individus jeunes-adultes	10 jours	Mortalité	EC20 et EC50 (Corrigé avec Abbott)
<i>Acartia tonsa</i>	Élutriate	nauplies	96 h	Mortalité	EC20 et EC50
<i>Acartia clausi</i>	Élutriate	nauplies	96 h	Mortalité	EC20 et EC50
<i>Tisbe battagliai</i>	Élutriate	nauplies	96h	Mortalité	EC20 et EC50
<i>Tigriopus fulvius</i>	Élutriate	nauplies	96h	Mortalité	EC20 et EC50
MOLLUSQUES					
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Élutriate	gamète masculin	1 h	Fécondation des oeufs	EC20 et EC50
<i>Tapes philippinarum</i>					EC20 et EC50
<i>Cassostrea gigas</i>	Élutriate	gamète masculin	1 h	Fécondation des oeufs	EC20 et EC50
ÉCHINODERMES					
<i>Sphaerechinus granularis</i>	Élutriate	gamète masculin	1 h	Fécondation des oeufs	EC20 et EC50 (Corrigé avec Abbott)
<i>Paracentrotus lividus</i>	Élutriate	gamète masculin	1 h	Fécondation des oeufs	EC20 et EC50 (Corrigé avec Abbott)
<i>Arbacia lixula</i>					
POISSONS					
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Élutriate	jeunes	96 h	Mortalité	EC20 et EC50
<i>Sparus aurata</i>	Élutriate	jeunes	96 h	Mortalité	EC20 et EC50

Lorsque des opérations de caractérisation et de contrôle ont déjà été mises en œuvre sur le même Site de bonification d'intérêt national, il convient de continuer à utiliser les mêmes espèces-test déjà employées pour les précédentes recherches, si elles sont conformes aux conditions requises ci-dessus, afin de préserver la comparabilité avec les résultats précédemment produits.

Validité des analyses

Tous les résultats des analyses peuvent être considérés valides pendant trois ans, en l'absence d'événements naturels ou artificiels (par ex. des dragages ou des déversements accidentels) ayant modifié la situation préexistante.

6.2.7) Modalités de restitution des résultats

La documentation fournie par le laboratoire avec les données doit assurer la conformité de la procédure d'examen, l'exactitude des informations et la qualité des données.

Conformément aux principes des Bonnes Pratiques de Laboratoire, le Laboratoire doit fournir un Rapport d'Essai, daté et signé du responsable du laboratoire, indiquant : le nom et le siège social du laboratoire, ainsi que le site d'exploitation auprès duquel ont été effectuées les analyses ; l'identification unique de l'échantillon analysé ; le code alphanumérique des analyses ; la liste des paramètres mesurés avec le résultat des analyses obtenu et l'unité de mesure employée (les résultats numériques doivent être indiqués par un nombre de chiffres significatif, conforme à la limite de quantification requise au tableau A.2) ; l'incertitude de mesure exprimée dans l'unité de mesure du résultat ; la méthode de référence utilisée ; la limite de quantification ; la date de réception du matériau à analyser et la date d'exécution de la mesure.

6.2.8) Traitement et évaluation des résultats de la caractérisation

Le schéma de caractérisation exécuté doit être conçu de manière à permettre la formulation d'une hypothèse fiable sur la répartition de la contamination dans l'espace.

Chaque fois que possible, l'analyse géostatistique doit être choisie en tant qu'outil privilégié pour ce type d'étude. Cette analyse, qui doit toujours être confiée à des opérateurs experts, permet d'obtenir, grâce à la modélisation tridimensionnelle de la variabilité spatiale, des estimations optimales de la répartition spatiale des paramètres analysés et une évaluation du niveau relatif de fiabilité qui y est associé.

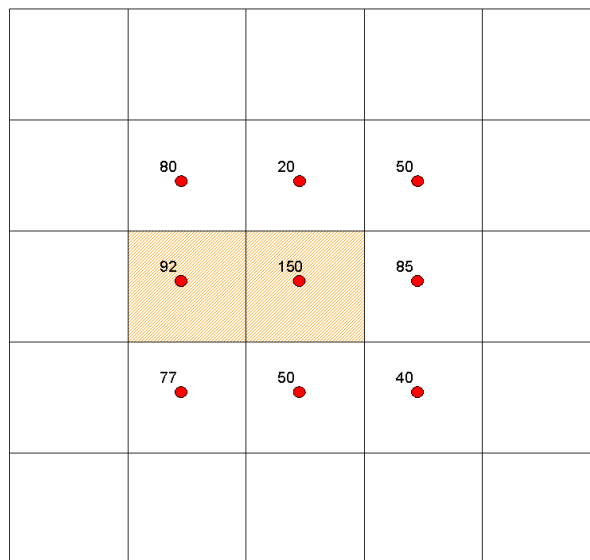
Les analyses géostatistiques effectuées sur les résultats de la caractérisation doivent pouvoir être reproduites par le contrôleur. À cet effet, la documentation définitive doit contenir une description détaillée de la méthode et de l'application employées ainsi que tous les variogrammes théoriques et expérimentaux, et chaque estimation doit être associée à la cartographie de la variation correspondante.

En ce qui concerne le traitement géostatistique des résultats de la caractérisation, l’Autorité portuaire ou, si elle n’est pas présente, l’Organisme compétent pourra recourir à la collaboration de l’ISPRA concernant les aspects techniques et scientifiques.

Au cas où la géostatistique ne serait pas utilisée, un critère de précaution devra être adopté pour le calcul des volumes à soumettre à un type de gestion différent.

La zone faisant l'objet de la recherche doit être répartie selon les zones de compétence des postes d'échantillonnage. Si l'échantillonnage a été effectué à l'aide d'une maille régulière, la zone de compétence de chaque poste coïncidera avec la maille correspondante. Si l'échantillonnage a été effectué selon un schéma irrégulier, chaque point de la zone sera associé au poste le plus proche (répartition selon le diagramme de Voronoï ou les polygones de Thiessen).

Si la concentration d'un analyte, dans un échantillon, est supérieure à la concentration de référence, celui-ci sera réputé appartenir à la même catégorie de qualité que l'échantillon de sédiment contenu dans la zone de compétence et celui des zones adjacentes dont les échantillons présentent des concentrations supérieures à 90 % de la valeur limite susmentionnée.



Exemple d’application du critère de précaution avec une concentration de référence égale à 100 dans une grille régulière

Dans chaque cellule de la grille d’estimation ou dans chaque zone de compétence, la catégorie de qualité du sédiment sera la moins bonne parmi celles résultant de l’analyse de tous les analytes.

6.2.9) Gestion dans le milieu marin-côtier et à terre

En ce qui concerne la gestion des sédiments provenant du dragage (ou de chaque fraction granulométrique obtenue suite à une séparation réalisée par des moyens physiques), les options suivantes sont disponibles en fonction des caractéristiques requises de qualité définies en fonction des caractéristiques physiques, chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques des sédiments:

- ✓ **Introduction ou écoulement dans les masses d'eau dont ils proviennent, ou réutilisation pour le remblayage des plages et la formation de terrains côtiers** ou bien en vue de l'amélioration de l'état des fonds marins par des opérations de *capping*– ceci dans le cas où les sédiments présenteraient, à l'origine ou suite à des traitements ayant uniquement pour but l'élimination des substances polluantes (à l'exclusion, donc, des procédés destinés à l'immobilisation desdits polluants), des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques similaires à celles du fond naturel, par rapport au site de prélèvement, et adéquates, par rapport au site de destination, et ne seraient pas positifs au test toxicologique.
- ✓ **Emploi du matériau sur la terre-ferme, tel quel ou suite à des traitements de désalinisation ou d'élimination des substances polluantes** (à l'exclusion, donc, des procédés destinés à l'inhibition des substances polluantes), pourvu que le sédiment ne présente pas des niveaux de contamination supérieurs à ceux figurant dans les colonnes A et B du Tableau 1 de l'Annexe 5 Partie IV du D.-L. 152/2006, en fonction de la destination d'usage et qu'il soit conforme aux essais de lixiviation prévus par l'arrêté du ministère de l'Environnement du 5 février 1998, conformément à l'art. 252 du D.-L. 152/2006 (jusqu'à l'entrée en vigueur de l'arrêté visé à l'alinéa 6, art. 5-bis, L. 84/1994, à savoir de D.M.172/2016, qui, toutefois, n'aborde le thème de la gestion à terre que sous le profil des mesures environnementales pendant la phase d'installation à terre). Si le matériau est employé dans des zones où la nappe phréatique est naturellement salinisée, il pourra présenter un niveau de concentration de sulfates et de chlorures dans l'éluat supérieur à celui fixé par le tableau visé en annexe 3 à D.M.05/02/1998 susmentionné, à condition que toute modification des caractéristiques soit évitée, ce qui devra être confirmé par l'avis de conformité délivré par l'ARPA compétente pour le territoire concerné.
- ✓ **Écoulement à l'intérieur d'une caisse de remplissage, de cuves de collecte ou d'autres structures de collecte ou de confinement** réalisées par l'application des meilleures techniques disponibles (conformément aux critères de conception formulés par des normes techniques internationales adoptées par les États membres de l'UE) et dotées de caractéristiques aptes à assurer l'absence de risques pour la santé et pour l'environnement - compte tenu des objectifs et des limites fixés par les directives européennes - notamment en ce qui concerne l'obligation de ne pas porter atteinte à la qualité des matrices environnementales du sol, du sous-sol, des nappes phréatiques, des eaux superficielles, des eaux marines et de transition et de ne pas porter atteinte à la réalisation des objectifs de qualité de celles-ci ;

- ce type de remploi est autorisé lorsque les matériaux ne sont pas dangereux à l'origine ou suite à des traitements uniquement destinés à l'élimination des substances polluantes (à l'exclusion, donc, des procédés destinés à l'inhibition des substances polluantes telles que la solidification et la stabilisation).

6.3) Autres zones que les SIN- Caractérisation des sédiments avant le dragage

INTRODUCTION

Le schéma récapitulatif des procédures applicables à la caractérisation, classification et gestion des matériaux d'excavation dans des zones autres que les SIN est présenté à la figure 1. Ces procédures seront approfondies aux paragraphes suivants.

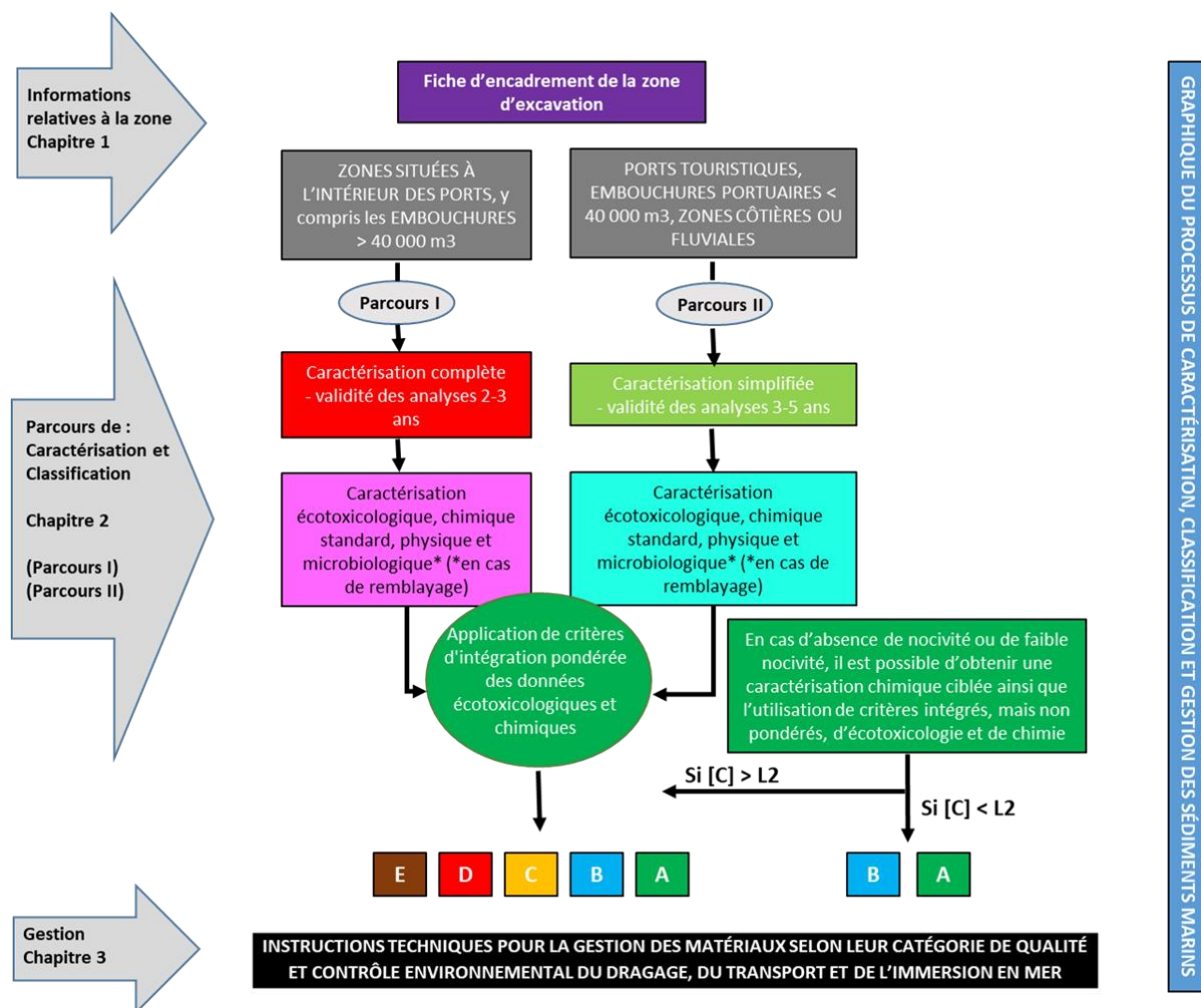


Figure 1 : schéma de définition des procédures de caractérisation, classification et gestion des matériaux d'excavation dans des zones autres que les SIN

6.3.1) Fiche de définition de la zone d'excavation

Aux fins de la caractérisation préalable au dragage, les informations suivantes doivent être fournies. Ces informations doivent être insérées dans un document spécifiquement rédigé dans ce but et intitulé « Fiche de définition de la zone d'excavation ».

1. Informations générales sur la localisation de la zone d'excavation.
2. Liste des principales pressions (industrielle ; présence d'installations d'aquaculture ;...) exercées sur la zone concernée.
3. Cartographie des principaux éléments d'intérêt naturel présents dans la zone et dans les zones limitrophes, des zones protégées et des objectifs sensibles (par ex. espèces protégées).
4. Informations sur les caractéristiques chimiques et physiques et hydrodynamiques de la colonne d'eau.
5. Informations sur les précédentes opérations d'excavation
6. Informations sur les caractéristiques morpho-bathymétriques et sur celles des fonds marins.
7. Informations sur les caractéristiques chimiques et physiques, écotoxicologiques et microbiologiques (en cas de remblayage des plages) des sédiments.
8. Informations sur les organismes animaux et végétaux présents dans la zone d'excavation.
9. Informations sur les précédentes opérations d'immersion/utilisation des sédiments
10. Informations sur les précédentes activités de surveillance environnementale mises en place dans la zone concernée.
11. Planification des activités d'excavation et gestion des matériaux.
12. Informations sur les initiatives déjà mises en place/prévues en vue de l'amélioration de la qualité des fonds marins et de la réduction de la pollution.

6.3.2) Stratégie d'échantillonnage

Les informations visées au point 1 du précédent paragraphe doivent fournir des indications sur le type de zone. En effet, l'un des deux parcours de recherche décrits ci-dessous doit être suivi en fonction du type de zone d'excavation concerné.

- Parcours I : prévoyant une caractérisation complète
- Parcours II : permettant une caractérisation simplifiée

Le Parcours I s'applique aux zones internes aux ports, y compris celles consacrées à des activités industrielles, commerciales, de services aux passagers, aux bateaux de pêche ainsi qu'aux zones placées à l'extérieur de l'embouchure des ports et/ou les zones soumises à une obstruction récurrente ou accidentelle du chenal d'accès pour des volumes annuels totaux de matériaux égaux ou supérieurs à 40 000 m³.

Le Parcours II s'applique aux zones côtières non portuaires, aux zones situées sur les embouchures des fleuves, hors des ports, aux zones internes aux seuls ports de plaisance et aux zones placées à l'extérieur des embouchures des ports et/ou aux zones soumises à une obstruction récurrente ou accidentelle du chenal d'accès pour des volumes annuels totaux de matériaux inférieurs à 40 000 m³.

Schéma d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage doit permettre de réaliser une caractérisation représentative de la totalité de la surface et du volume de matériaux à manutentionner.

Pour les zones auxquelles s'applique le Parcours I, le schéma d'échantillonnage prévoit une répartition uniforme des points d'échantillonnage, avec une densité de prélèvement au moins égale à celle que l'on peut obtenir avec trois différents types de mailles (zones unitaires) de dimensions égales à:

- 50 m x 50 m à positionner dans la zone à creuser derrière les ouvrages placés à l'intérieur du port, le long du périmètre interne, caractérisée par la présence d'ouvrages tels que des pontons, des darses et des quais. Les zones éventuellement restantes, résultant de la répartition en lots de 2 500 m², peuvent ne pas être prises en compte si leur surface ne dépasse pas 1 500 m² (Type 1).
- 100 m x 100 m à positionner dans la zone à creuser à l'intérieur du port, à une distance des ouvrages supérieure à 50 m, de façon contiguë aux zones de type « 1 » et « 3 ». Les zones éventuellement restantes, résultant de la répartition en lots de 10 000 m², peuvent ne pas être prises en compte si leur surface ne dépasse pas 5 000 m² (Type 2).
- 200 m x 200 m à positionner dans la zone à creuser, en correspondance des embouchures portuaires, des zones extérieures au port adjacentes à celui-ci, le long des digues de protection externe, des brise-lames, de façon non contiguë aux grilles des zones « 1 » et « 2 », si elles existent. Les zones éventuellement restantes, résultant de la répartition en lots de 40 000 m², peuvent ne pas être prises en compte si leur surface ne dépasse pas 10 000 m² (Type 3).

Pour les zones auxquelles s'appliquent le Parcours II, le schéma d'échantillonnage prévoit une disposition uniforme des postes d'échantillonnage, avec une densité de prélèvement au moins équivalente à celle que l'on peut obtenir avec trois différents types de maille (zones séparées) de dimensions égales à :

- 100 m x 100 m à positionner dans les zones d'embouchure fluviale à creuser
- 200 m x 200 m à positionner dans les zones côtières à creuser

Certaines zones séparées résiduelles peuvent ne pas être prises en compte si leur surface est inférieure à 50 % de la dimension adoptée.

La même stratégie d'échantillonnage utilisée pour les zones portuaires faisant partie du Parcours I doit être suivie dans les zones d'accès au port et dans les ports de plaisance.

Un point d'échantillonnage représentatif de la zone en question doit être identifié à l'intérieur de chaque zone séparée (maille carrée d'échantillonnage) et pour tous les types : il sera positionné en fonction du volume de matériau à draguer, de la morphologie du fonds marin et de la distance du point des zones séparées contiguës.

Si la surface d'excavation est limitée à une ou deux zones séparées, le nombre de postes d'échantillonnage pour l'ensemble de la zone à draguer ne peut être en aucun cas inférieur à 3, avec la possibilité de recourir, si nécessaire, à la formation d'échantillons composites par le regroupement des mêmes coupes du sédiment.

6.3.3) Méthodes d'échantillonnage

La technique d'échantillonnage à employer est principalement le carottage. Toutefois, dans le cas de recherches limitées aux 50 premiers centimètres du fond marin, d'autres outils peuvent être utilisés tels que les bennes et les box corers.

Le prélèvement doit être effectué de manière à perturber le moins possible l'échantillon ; les équipements utilisés en contact avec le sédiment doivent être soigneusement nettoyés avant leur emploi. L'enveloppe externe des carottes de sédiment, qui est en contact avec les parois internes du liner ou avec le carottier, doit être préalablement ôtée pour éviter toute contamination pendant l'entraînement.

Une « Fiche de terrain » contenant au minimum les données d'identification du poste de prélèvement (coordonnées projetées UTM WGS84 fuseau 32/33) et des échantillons à soumettre ensuite aux analyses doit être remplie lors de l'échantillonnage.

6.3.3.1 Profondeur d'échantillonnage

Une carotte doit être prélevée en correspondance de chaque point d'échantillonnage. Pour des recherches relatives à des couches supérieures à 50 cm, la hauteur de chaque carotte doit être égale au moins à l'épaisseur du matériau à prélever au point d'échantillonnage. Pour des recherches limitées aux 50 premiers centimètres du fond marin, d'autres techniques d'échantillonnage, telles que les bennes ou les box corers, peuvent également être employées.

6.3.3.2 Choix des échantillons

Pour chaque carotte, des coupes de 50 cm, 100 cm ou 200 cm, ou des coupes résiduelles de 20 cm minimum, représentatives du niveau le plus profond doivent être identifiées selon les modalités décrites ci-dessous.

- Les carottes jusqu'à 1 m de haut doivent être réparties en deux segments, dont le premier de 50 cm à partir du haut.
- Pour des carottes d'une hauteur supérieure à 1 mètre et jusqu'à 2 mètres, outre les deux segments mentionnés au précédent paragraphe, au moins une coupe représentative du mètre qui suit le premier doit être identifiée.
- Pour des carottes d'une hauteur supérieure à 2 mètres, outre les 3 coupes mentionnées aux précédents paragraphes, il convient d'identifier une coupe représentative de chaque segment suivant de 2 mètres.
- Une fois atteint le substrat géologique naturel constitutif de la zone, dûment documenté dans le rapport technique et exempt de toute contamination anthropique, il suffit d'identifier des coupes représentatives de l'ensemble de la couche.

6.3.3.3 Préparation de l'échantillon

Une fraction de sédiment doit être prélevée sur chaque segment de carotte de manière à assurer une représentativité optimale de l'échantillon. L'échantillon prélevé doit être homogénéisé et réparti dans les différentes fractions destinées aux analyses. La quantité de matériau prélevée sur chaque échantillon doit être suffisante pour permettre la réalisation de toutes les analyses physiques, chimiques, microbiologiques et écotoxicologiques, y compris la fraction de réserve, à conserver en vue des approfondissements et/ou des vérifications éventuellement nécessaires.

Les éléments d'origine anthropique (fragments de plastique, verre, métal, etc.) et naturelle (cailloux, organismes du macrobenthos) de dimensions supérieures à 5 mm doivent être ôtés manuellement de l'échantillon, avant de procéder aux analyses. Au cas où l'échantillon ainsi obtenu serait constitué de plus de 80 % de gravier (diamètre > 2 mm), les analyses chimiques pourront ne pas être réalisées, sauf en présence de traces de pollution macroscopiques. Dans ce cas, la catégorie de qualité doit suivre le critère de classification de la qualité des matériaux d'excavation.

Pour les zones inhérentes au Parcours I, tous les échantillons prélevés doivent être acheminés vers la phase suivante d'analyse et de classification.

Au cas où, pour des raisons techniques et/ou économiques, le soumissionnaire souhaiterait retenir uniquement, en tant qu'option de gestion, le dépôt dans un environnement contigu, comme prévu pour le Parcours II, la possibilité de former des échantillons composites pour les analyses suivantes est également offerte. Par conséquent, la procédure à suivre est celle déjà décrite pour les échantillons provenant des zones du Parcours II.

Une fraction de 250 ml minimum de chaque échantillon (incorporé et non incorporé) doit être conservée à -20 °C en vue d'approfondissements ou vérifications supplémentaires ultérieur(e)s.

Pour les zones relevant du Parcours II, la possibilité de former des échantillons composites pour des analyses ultérieures est également offerte; ces échantillons seront obtenus en mélangeant différents échantillons provenant de plusieurs zones séparées contigües ayant des caractéristiques macroscopiques similaires, sous réserve de la possibilité d'analyser chaque échantillon, dont une fraction doit toujours être conservée à part.

Selon les informations précédemment collectées, on peut en effet analyser l'ensemble ou une partie des échantillons (non incorporés) dans les zones qui ont été identifiées comme des zones ou des couches du fond marin plus exposées à la pollution.

La procédure simplifiée prévoit la formation d'échantillons composites à analyser, composés par mélange « à froid », de fractions du même volume (100 cc minimum), représentatives de chaque échantillon à mélanger. Cela peut représenter des volumes contigus maximaux à draguer de 10 000 m³ s'ils proviennent de zones uniques de Type 1 (50 x 50 m), de 20 000 m³ s'ils proviennent de zones uniques de Type 2 (100 x 100 m) et de 40 000 m³ s'ils proviennent de zones uniques de Type 3 (200 x 200 m).

Une fraction de 250 ml minimum de chaque échantillon (incorporé et non incorporé) doit être conservée à -20 °C en vue d'approfondissements ou vérifications supplémentaires ultérieur(e)s.

La Tableau A5 indique les critères de regroupement d'échantillons provenant de zones uniques contigües que nous venons de décrire, aussi bien pour les zones relevant du Parcours I que pour celles relevant du Parcours II.

Tableau A5 : critères de regroupement des échantillons

Type de zone	Volumes maxi (m ³)	Nombre d'échantillons à incorporer pour des épaisseurs de 0,5 m	Nombre d'échantillons à incorporer pour des épaisseurs de 1 m
1	10 000	Jusqu'à 8	Jusqu'à 4
2	20 000	Jusqu'à 4	Jusqu'à 2
3	40 000	Jusqu'à 2	néant

6.3.3.4 Modalités de transport et de conservation de l'échantillon

Le mode de transport et de conservation des fractions destinées aux différentes analyses est décrit ci-dessous.

- La fraction destinée à l'analyse granulométrique doit être collectée dans des conteneurs en plastique ou en verre et le transport doit avoir lieu à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C
- La fraction destinée à l'analyse de la substance organique et du COT doit être collectée dans des conteneurs en verre ou en polyéthylène et transportée à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. L'échantillon doit être conservé à -20 °C (uniquement pour les échantillons non lyophilisés)
- La fraction destinée à la chimie organique doit être collectée dans des conteneurs en verre ou en polyéthylène et transportée à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. L'échantillon doit être conservé à -20 °C (uniquement pour les échantillons non lyophilisés)
- La fraction destinée aux métaux et à la chimie inorganique doit être collectée dans des conteneurs en verre ou en polyéthylène et transportée à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. L'échantillon doit être conservé à -20 °C (uniquement pour les échantillons non lyophilisés)
- La fraction destinée aux analyses microbiologiques doit être collectée dans des conteneurs en polyéthylène ou en polystyrène et transportée à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. Les analyses microbiologiques doivent être effectuées en culture, sur un échantillon frais, dans un délai de 36 heures
- La fraction destinée aux essais écotoxicologiques doit être collectée dans des conteneurs en verre ou en polyéthylène et transportée à des températures comprises entre +4 °C et +6 °C. Les essais écotoxicologiques doivent être réalisés sur un échantillon frais.

La durée de conservation de la fraction de matériau destinée à des contre-analyses éventuelles et/ou à des vérifications ne doit pas être inférieure à 3 mois à compter de la fin de l'activité de gestion des matériaux dragués.

6.3.3.5 Critères applicables au choix des laboratoires d'analyse

Analyses chimiques, physiques, microbiologiques et écotoxicologiques

Les procédures analytiques à employer pour la définition des paramètres recherchés doivent être conformes aux protocoles nationaux et/ou internationaux normalisés ou figurant dans des Manuels et des Directives du Système national des Agences.

Les analyses doivent être effectuées par des Organismes et/ou des Institutions publiques dotées d'une expérience confirmée, ou bien par des laboratoires privés agréés par des organismes reconnus selon la norme UNI CEI EN 17011/05 pour les paramètres utilisés aux fins de la classification de la qualité des matériaux ; dans les deux cas le laboratoire doit être en possession de certifications nationales et/ou internationales relatives à l'insertion dans des circuits d'étalonnage spécifiques (par ex. QUASIMEME, etc.), s'ils existent, attestant de la qualité des analyses.

6.3.4) Analyses prévues

Analyses physiques

Une description macroscopique indiquant le type de sédiment doit être effectuée sur tous les échantillons prélevés : couleur, odeur, présence de concrétions, résidus d'origine naturelle ou anthropique. La description macroscopique doit être particulièrement précise en ce qui concerne la zone de prélèvement et la zone de dépôt, dans le cas où le remblayage côtier figurerait parmi les options de gestion des matériaux à draguer ; en particulier, des tables chromatiques dotées de la même échelle doivent être utilisées pour les deux sites, en ce qui concerne la description de la couleur. La description macroscopique doit figurer dans la « Fiche de terrain ».

Des analyses granulométriques doivent être effectuées sur chaque échantillon. La mesure des caractéristiques granulométriques des sédiments doit prévoir l'identification des principales fractions dimensionnelles: gravier ($> 2 \text{ mm}$), sable ($2 \text{ mm} < x < 0,063 \text{ mm}$) et pélite (silt : $0,063 \text{ mm} < x < 0,004 \text{ mm}$ + argile : $< 0,004 \text{ mm}$). Les résultats doivent être exprimés en pourcentage. Pour les remblayages des terrains côtiers, une courbe de répartition granulométrique cumulée doit également être produite ainsi que celle des différentes fractions sablonneuses.

Les analyses minéralogiques (principales caractéristiques minéralogiques) sont facultatives. La méthode à privilégier pour ces analyses est la diffractométrie par rayons X.

Analyses chimiques

La caractérisation chimique peut être différente sur les deux Parcours (I et II).

Pour les zones du Parcours I, la caractérisation chimique standard qui prévoit l'analyse des paramètres figurant au Tableau A6 est prévue pour la totalité des échantillons.

Selon les recherches précédemment effectuées et/ou les caractéristiques résultant de la Fiche descriptive de la zone d'excavation, l'autorité compétente pour la délivrance de l'autorisation pourra demander l'analyse d'autres substances dont on soupçonne la dangerosité environnementale et/ou sanitaire, en ayant également recours à une entité du Système national des Agences (ISPRA-ARPA-APPA) ou d'une Institution scientifique publique autre que celle concernée par les enquêtes environnementales.

Pour les zones concernées par le Parcours II, au cas où l'on souhaiterait bénéficier du parcours simplifié, les analyses chimiques doivent être précédées d'analyses écotoxicologiques. Une fois les analyses écotoxicologiques et les analyses granulométriques sur des échantillons simples ou composites exécutées, l'on peut procéder à la vérification de l'adéquation et de l'exhaustivité des données chimiques disponibles, à condition que le niveau de toxicité des batteries soit faible ou inexistant. Uniquement dans ce cas, l'on devra procéder à l'analyse des paramètres chimiques qui ont été jugés inadéquats ou insuffisants sur les échantillons correspondants disponibles, conservés de manière adéquate. Ces derniers doivent être évalués par une entité appartenant au Système national des Agences (ISPRA-ARPA-APPA) ou par une Institution scientifique publique autre que celle concernée par les enquêtes environnementales de caractérisation de la zone.

La caractérisation chimique des échantillons pour les zones du Parcours II suit, donc, les critères suivants:

- Caractérisation chimique ciblée: sur des échantillons classés comme non toxiques ou à faible toxicité et avec des données adéquates et exhaustives l'on peut procéder à l'analyse d'une liste réduite de paramètres chimiques (paramètres ciblés). Sur ces échantillons, seuls les paramètres chimiques pour lesquels l'on ne dispose pas d'informations doivent être analysés, alors que pour chacun des autres paramètres on prendra en compte la valeur de concentration correspondant à la moyenne géométrique de toutes les valeurs qui sont considérées adéquates.
- Caractérisation chimique standard: sur les échantillons dotés d'une toxicité moyenne ou élevée ou pour lesquels les données disponibles ne sont pas considérées adéquates et/ou suffisantes, l'on doit procéder à l'analyse des paramètres chimiques standards (tableau A6). La procédure de caractérisation doit, donc, être suivie pour les zones du Parcours I.

Tableau A6 : paramètres à analyser pour la caractérisation chimique standard

Paramètres chimiques	Spécifications	Limite de quantification
Métaux et métalloïdes	As, Cd, Cr _{tot} , Cr VI*, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, V*, Al*, Fe*	0,03 mg kg ⁻¹ (Cd, Hg) ; 1 mg kg ⁻¹ (les autres)
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Acénaphthylène, Benzo(a)anthracène, Fluorantène, Naphtalène, Anthracène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluorantène, Benzo(k)fluorantène, Benzo(g,h,i)pérylène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Pyrène, Dibenz(a,b)anthracène, Chrysène, Indène[1,2,3,c-d]pyrène et leur somme	1 µg kg ⁻¹
Hydrocarbures C > 12		5 mg kg ⁻¹
Pesticides organochlorés	Aldrin, Dieldrin, Endrin, α-HCH, β-HCH, γ-HCH (Lindano), DDD, DDT, DDE (pour chaque substance la somme des isomères 2,4 et 4,4), HCB, heptachlore-époxyde	0,1 µg kg ⁻¹
Polychlorobiphényles	Congénères PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 et leur somme	0,1 µg kg ⁻¹

Composés organostanniques	Mono, di, et tri-butylétain et leur somme	1 µg kg ⁻¹
Carbone organique total ou substance organique totale		0,1 %
*À considérer comme des substances complémentaires. La somme T.E. PCDD, PCDF (dioxines et furanes) et PCB dioxine similaires doivent également être considérés comme des substances complémentaires soumises à la loi en vigueur en termes de spécifications et de limites de quantification (D.-L. 172/2015).		

Au cas où l'échantillon serait constitué à plus de 80 % de gravier (diamètre > 2 mm), les analyses chimiques peuvent être omises, sauf en cas de présence de traces de pollution macroscopiques.

Analyses microbiologiques

Aucun seuil de nature sanitaire n'a été défini, à ce jour, pour les nombreux indicateurs de contamination fécale et les différents microorganismes pathogènes présents dans les sédiments et dans les sables. Selon les informations contenues dans la Fiche descriptive de la zone, au cas où les sites de dragage et/ou d'immersion situés à une distance supérieure à 3 mn et/ou de remblayage seraient situés à proximité de zones destinées à l'aquaculture ou à la baignade, le respect des conditions requises de qualité prévues par les normes applicables au compartiment des eaux doivent être respectées (Décret-Loi 152/2006 ; Règl. CE 854/2004 ; Décret-Loi 30 mai 2008, n° 116 et Arrêté 30 mars 2010 du ministère de la Santé).

Pour les remblayages côtiers, les sédiments peuvent être placés sur le site de destination uniquement en dehors de la saison balnéaire.

Analyses écotoxicologiques (essais biologiques de toxicité)

Les essais biologiques doivent être exécutés sur tous les échantillons, simples ou regroupés, destinés aux analyses. Le sédiment entier ou la fraction solide du sédiment doit être testé(e) « sur matière fraîche » (à savoir non congelée, non séchée et non lyophilisée) ; le plus tôt possible et, au plus tard, dans un délai maximum de 15 jours de conservation à 4 – 6 °C, dans le noir. La fraction liquide (eau interstitielle ou éluviat 1:4 p/v) doit être préparée dans un délai de 10 jours à partir du sédiment tel quel, conservé à 4 °C, dans le noir et, si elle n'a pas été testée dans les 24 h à compter de la préparation, elle doit être conservée à -20 °C jusqu'au moment de l'analyse. Les récipients contenant la matrice d'essai doivent être étanches à l'air. La batterie minimale doit être composée d'au moins 3 organismes appartenant à des groupes taxonomiques précis, en choisissant l'une des combinaisons figurant au tableau A7 : un essai biologique parmi ceux marqués par un « X » doit être sélectionné pour chaque catégorie (1, 2 et 3). La combinaison doit être identique pour l'ensemble des échantillons prévus dans le cadre de la même enquête.

Pour les sédiments contenant des pourcentages de sable+ gravier (diamètre > 0,063 mm) supérieurs à 90 %, compte tenu des faux positifs potentiels ou de l'impossibilité de réaliser l'essai, l'essai sur phase solide peut être remplacé par au moins un essai sur phase liquide supplémentaire, à choisir parmi ceux figurant au tableau A7, en tant que deuxième type.

Tableau A7 : essais biologiques pour la préparation de la batterie La lettre "X" désigne les autres essais possibles pour chaque type.

Gruppo	Batteri		Alghe	Crostacei				Molluschi bivalvi			Echinodermi		
Specie	Vibrio fischeri (Bacteria)		Dunaliella tertiolecta Pheodactylum tricornutum Skeoetonema costatum (Algae)	Amphibalanus amphitrite (Crustacea)	Corophium spp (Crustacea)	Acartia tonsa (Crustacea)		Tigriopus fulvus (Crustacea)	Crassostrea gigas (Bivalvia)	Mytilus galloprovincialis (Bivalvia)	Paracentrotus lividus (Echinodermata)		
Matrice	fase liquida	fase solida	fase liquida	fase liquida	sedimento intero	fase liquida		sedimento intero	fase liquida	fase liquida	fase liquida	fase liquida	
Endpoint	Bioluminescenza		Crescita algale	Mortalità	Mortalità	Mortalità (48 h)	Mortalità (7 giorni)	Sviluppo larvale	Mortalità	Sviluppo larvale	Sviluppo larvale	Fecondazione	Sviluppo larvale
1° Tipologia		XA			XA			XC					
2° Tipologia	XA		XC	XA		XA			XA			XA	
3° Tipologia							XC			XC	XC		XC

A = saggio acuto.
 C = saggio cronico/a lungo termine/subcronico/risposta subletale.

Gruppo	Groupe
Batteri	Bactéries
Alghe	Algues
Crostacei	Crustacés
Molluschi bivalvi	Mollusques bivalves
Echinodermi	Échinodermes
Specie	Espèces
Matrice	Matrice
Endpoint	Endpoint
1° Tipologia	1er Type
Vibrio fischeri (Bacteria)	Vibriofischeri (Bacteria)
Dunaliella tertiolecta Pheodactylum tricornutum Skeoetonema costatum (Algae)	DunaliellatertiolectaPheodactylumtricornutumSkeoetonemacostatum (Algae)
Amphibalanus amphitrite (Crustacea)	Amphibalanus amphitrite (Crustacea)
Corophium spp (Crustacea)	Corophium spp (Crustacea)
Acartia tonsa (Crustacea)	Acartiatonsa (Crustacea)
Tigriopus fulvus (Crustacea)	Tigriopusfulvus (Crustacea)
Crassostrea gigas (Bivalvia)	Crassostrea gigas (Bivalvia)
Mytilus galloproviencialis (Bivalvia)	Mytilusgalloproviencialis (Bivalvia)
Paracentrotus lividus (Echinodermata)	Paracentrotuslividus (Echinodermata)
Fase liquida	Phase liquide
Fase solida	Phase solide
Fase liquida	Phase liquide
Sedimento intero	Sédiment entier
Bioluminescenza	Bioluminescence
Crescita algale	Prolifération d'algues
Mortalità (48 h) (7 giorni)	Mortalité (48 h) (7 jours)
Sviluppo larvale	Développement des larves
Fecondazione	Fécondation
A = saggio acuto	A = essai aigu
C = saggio cronico/a lungo termine/subcronico/risposta subletale.	C = essai chronique/à long terme/sous-chronique/réponse sublétales

Analyse des communautés benthiques

Il est nécessaire de fournir, pour la caractérisation, une description des communautés phyto-zoobenthiques présentes dans la zone d'intervention (liste des espèces, groupes écologiques, groupes trophiques), avec l'indication des principales biocénoses, notamment en cas de présence de biocénoses de très grande importance pour la conservation (prairies de phanérogames marines, habitat coralligène, beach rocks, etc.). Il est également nécessaire de fournir une description des populations piscicoles démersales et des zones de culture, notamment pour les espèces d'importance commerciale

Validité des analyses

La durée de validité des résultats des analyses varie entre le Parcours I ou le Parcours II, selon qu'il s'agisse de sédiments soumis à mélange ou de sédiments des couches profondes non concernées par des phénomènes de perturbation. L'on part du principe, en général, que dans des zones portuaires, côtières ou fluviales, les 50 premiers centimètres de fond marin sont soumis à des phénomènes de perturbation.

La durée de validité des résultats des analyses est de 2 ans pour les zones relevant du Parcours I et de 3 ans pour les zones du Parcours II, sauf occurrence d'événements naturels ou artificiels ayant modifié la situation environnementale après la date d'échantillonnage. Cette validité peut être étendue jusqu'à 3 ans pour les zones relevant du Parcours I et à 5 ans pour les zones relevant du Parcours II, seules les analyses écotoxicologiques et physiques devant être répétées, au moins sur les échantillons composites de la couche superficielle (0-50 cm) du fond marin.

La prolongation de la validité de l'analyse pour la totalité de l'épaisseur est confirmée si la toxicité de la batterie d'essais écotoxicologiques répétés est égale ou inférieure à celle précédemment obtenue et, dans tous les cas, si elle est « faible » ou « inexistante ». Au cas où le niveau de toxicité des échantillons répétés serait plus élevé ou, du moins, « moyen » ou « élevé », les analyses chimiques devront être également répétées sur les mêmes échantillons et la couche de sédiments nouvellement caractérisée devra être classée. Dans ce cas, la validité des analyses et la classification des couches sous-jacentes est étendue, dans tous les cas, en fonction du parcours.

Mode de présentation des résultats des analyses

La documentation fournie par le laboratoire avec les données doit assurer la conformité de la procédure d'examen, l'exactitude des informations et la qualité des données.

Les laboratoires doivent fournir, conformément aux termes des Bonnes Pratiques de Laboratoire, un Rapport d'Essai contenant les résultats des analyses et des mesures de contrôle de la qualité pour chaque paramètre. Les résultats doivent également être joints au Rapport Technique (paragraphe 3.7), qui doit contenir également les données relatives à l'analyse des communautés benthiques et des biocénoses présentes, rédigées par un technicien spécialisé.

Les résultats des analyses chimiques doivent contenir les informations relatives au pourcentage de récupération par rapport aux matériaux standards certifiés, à la limite de quantification, à l'incertitude étendue et aux évaluations des prestations analytiques.

Les résultats des essais écotoxicologiques doivent indiquer, outre les données brutes, la méthode et les paramètres statistiques nécessaires, à l'appui de la fiabilité des données. Les données à faire figurer dans les Rapports d'Essai faisant partie des études écotoxicologiques sont les suivantes : échantillon, date d'échantillonnage, matrice, concentration(s), tête(s), organisme en charge du test, méthode employée, end point mesuré, substance toxique de référence(contrôle positif), EC50 et limites de confiance(contrôle positif), plage de référence et/ou carte de contrôle, eau utilisée pour le test comme contrôle/diluant, paramètres de contrôle (par ex. salinité, pH, Température), nombre de répétitions, durée d'exposition, EC20 avec limite de confiance, EC50 avec limite de confiance, effet moyen, en pourcentage, à la concentration maximale, écart standard des répétitions à la concentration maximale ; pour l'essai en phase solide avec *Vibrio fischeri*, des informations doivent également être fournies concernant la toxicité mesurée (TU50) \pm Limite de confiance (95 %), R2 et Sediment Toxicity Index (STI). La possibilité d'enregistrer toutes ces informations dépend des méthodes prévues par l'essai biologique employé. Par ailleurs, en cas d'intégration de critères d'intégration pondérée (paragraphe 3.5), les résultats doivent être exprimés en tant qu'effet mesuré dans l'échantillon (\pm écart type σ) et dans le contrôle négatif (\pm écart type σ), rapporté à la concentration maximale de l'échantillon de référence (de manière compatible avec l'essai utilisé). En revanche, dans le cas de la classification écotoxicologique selon le critères tabulaire obtenu dans le cadre de la batterie d'essais biologiques employée, les résultats doivent être exprimés comme EC20 et/ou EC50 avec les limites de confiance correspondantes ou comme effet (\pm écart type σ) par rapport au contrôle négatif (en indiquant également l'information relative à celui-ci), en faisant référence à la plus forte concentration d'échantillon testée par rapport à la méthode d'essai employée.

6.3.5) Classification des sédiments

La classification des matériaux peut se fonder sur des critères tabulaires ou des critères d'intégration pondérée.

Analyses chimiques

Le critère tabulaire prévoit la comparaison des résultats avec les Niveaux chimiques de référence nationaux (L1 et L2, où $L1 < L2$). La comparaison peut être effectuée par des références « spécifiques au site », lorsque ces niveaux ont été définis au niveau local, selon des critères précis.

La classification chimique des matériaux se fonde, donc, sur les niveaux de référence chimiques applicables à l'échelle nationale (L1 et L2).

Les critères d'intégration pondérée prennent en compte le type de paramètres, le nombre de contaminants supérieur au seul établi ainsi que l'importance du dépassement par rapport au seuil établi. Tous les paramètres chimiques qui doivent être analysés ont un « poids » (compris entre 1 et 1,3) selon qu'ils relèvent de la Directive 2013/39/UE (poids 1), ou qu'ils figurent, en revanche, dans la liste des substances « prioritaires » (poids 1,1) ou dans celle des matières « dangereuses et prioritaires » (poids 1,3), ou qu'ils soient mentionnés dans la Convention de Stockholm sur les POP (poids 1,3). Le différent poids attribué aux différents composés est destiné à conférer une plus grande importance, dans la classification chimique des sédiments, à la variation des produits polluants caractérisés par un plus haut niveau de toxicité, par une tendance à la bioaccumulation et à la persistance dans l'environnement ou qui doivent faire l'objet d'une réduction progressive dans l'environnement en fonction des objectifs fixés par la Directive-Cadre sur l'Eau.

La classification chimique se fonde, donc, sur l'élaboration d'un indice Hazard Quotient chimique (HQc), qui prend en compte le type et le nombre de paramètres non conformes, ainsi que l'importance de ces dépassements, ainsi que sur son attribution ultérieure à une catégorie de risque (allant d'« absent » à « très élevé »).

Essais écotoxicologiques

Le critère tabulaire, pour les analyses écotoxicologiques, est employé dans le cadre d'enquêtes comprenant un grand nombre d'échantillons, dont une grande majorité sont particulièrement toxiques ou ne montrent aucun effet (non toxiques).

Par conséquent, la classification écotoxicologique se fonde sur les résultats de la batterie d'essais biologiques utilisés.

Les critères d'intégration pondérée appliqués aux analyses écotoxicologiques prennent en compte des aspects importants et des 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 (en tenant compte de la variabilité entre les répliques, aussi bien dans le contrôle que dans l'échantillon) ; la gravité de l'effet (considérée comme la gravité des dommages biologiques mesurés à partir d'un end-point spécifique) ; le type d'exposition (aigüe, de courte durée, ou chronique, de longue durée); la représentativité environnementale de la matrice testée. Pour chaque essai prévu dans les différentes batteries utilisables un « seuil » d'effet est indiqué : celui-ci représente la variation minimale considérée comme étant biologiquement significative pour chaque condition expérimentale. Sont également indiqués les « poids » attribués à chaque essai en fonction de l'importance biologique de l'end-point mesuré, de la durée d'exposition et de la matrice testée.

La classification écotoxicologique 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 de la batterie d'essais biologiques.

Modes de classification des sédiments

Les critères à employer pour les analyses chimiques et écotoxicologiques dépendent des analyses écotoxicologiques. En effet, si l'on a employé, pour les analyses écotoxicologiques, des critères tabulaires, les résultats des analyses chimiques devront être également comparés en employant des critères tabulaires ; en revanche, si des critères d'intégration pondérée ont été appliqués pour les analyses écotoxicologiques, ce même critère sera applicable pour les analyses chimiques.

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 susmentionnés.

Si l'échantillon est composé à plus de 80 % de gravier (diamètre > 2 mm) ce qui rend impossible la définition d'une classe chimique, la catégorie de qualité du matériau correspondra à la meilleure catégorie parmi celles prévues par la catégorie de toxicité écotoxicologique détectée.

La Catégorie de Qualité des sédiments est exprimée par les lettres A ; B ; C ; D ; E, correspondant à cinq catégories de risque allant d'« absent » à « très élevé ».

6.3.6) Gestion des sédiments dans l'environnement marin-côtier

Les différentes solutions de gestion figurant ci-dessous peuvent être mises en œuvre en fonction de la catégorie d'appartenance du matériau.

Catégorie A

- Remblayage de la plage émergée avec pélite $\leq 10\%$ 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 d'une distance de 3 milles de la côte).
- Immersion dans un environnement contigu marin-côtier.

Pour chacune de ces options vous devez prévoir une activité de surveillance environnementale

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 en zone portuaire, capping y compris, avec surveillance environnementale.

Classe C

- Immersion dans un milieu contigu en zone portuaire, capable de contenir toutes les fractions granulométriques de sédiment, capping y compris 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

- Extraction éventuelle en toute sécurité de l'environnement marin, après l'évaluation du risque, selon les termes de la législation en vigueur.

6.3.7) Résultats de la caractérisation des sédiments

Toutes les données relatives à l'échantillonnage, à la caractérisation, aux prestations analytiques, à la classification et aux options de gestion proposées doivent faire l'objet d'un Rapport technique accompagné d'une Fiche descriptive de la zone d'excavation, des Fiches de Terrain et des Rapports d'Essai. La classification des différentes zones doit être représentée (par niveaux) sur papier, par rapport à la bathymétrie, à partir de la hauteur de dragage et jusqu'à la hauteur l.m.m. (*niveau moyen de la mer*) du fond marin lors de l'échantillonnage. Les principales catégories granulométriques doivent figurer dans le Rapport technique pour chaque échantillon analysé [gravier (> 2 mm), sable ($2 \text{ mm} < x < 0,063$ mm) et pélite (silt: $0,063 \text{ mm} < x < 0,004$ mm + argile: $< 0,004$ mm)]. Les résultats de la caractérisation chimique et des essais écotoxicologiques doivent également être enregistrés, (y compris les données relatives aux contrôles positifs par rapport à la carte de contrôle du laboratoire), sous la forme d'un tableau récapitulatif.

6.4) Technologie de traitement des sédiments

Les caractéristiques chimiques, physiques et biologiques des sédiments contaminés sont absolument essentielles en vue de la détermination de l'applicabilité et de la durée d'un traitement de bonification, notamment dans les cas où plusieurs familles de substances polluantes coexistent, comme dans notre cas.

Nous allons exposer ci-après un bref récapitulatif des différentes technologies de bonification, en prenant en considération aussi bien les interventions in situ que celles hors site.

6.4.1) Technologies de traitement in situ

La particularité des traitements in situ consiste en ce qu'ils ne nécessitent pas l'élimination du sédiment contaminé et peuvent donc constituer une bonne solution du point de vue économique et écologique. Les technologies de traitement in situ comportent un moindre impact du point de vue écologique, car :

- Elles ne créent pas de turbidité due aux opérations de dragage
- Elles ne comportent pas de perturbation des sédiments et ne prévoient, donc, pas de remise en état morpho-bathymétrique après les opérations d'excavation
- Ne comportant pas d'enlèvement des sédiments, elles n'entraînent pas l'enlèvement des communautés biologiques et microbiologiques, qui sont, en revanche, utilisées et accrues en vue de la dégradation biologique des polluants organiques
- Elles ne comportent aucune difficulté logistique (trouver des espaces à terre, des normes applicables aux installations, des problèmes de gestion des matériaux traités, etc.)
- Elles contribuent à réduire la consommation de ressources économiques.

Pour ces motifs, les traitements in situ doivent être considérés comme un choix prioritaire, s'ils peuvent être réalisés dans l'environnement spécifique.

Ces technologies présentent, toutefois, un certain nombre de désavantages qui, au-delà des limites environnementales (condition de saturation, environnement anaérobie et température), concernent surtout la difficulté d'assurer le mélange complet des réactifs éventuellement employés dans le traitement, la difficulté de contrôler les paramètres du processus, la prévision des délais d'intervention et la possibilité, en cas de traitement chimique et biologique, d'une contamination secondaire.

La bonification des sédiments contaminés, par l'emploi de technologies de traitement in situ, est une procédure très complexe en raison de la nature dynamique des systèmes aquatiques et, donc, de la mobilisation, de la suspension, du transport et de la sédimentation des espèces polluantes.

Très souvent, une grande partie du coût du traitement concerne les campagnes de surveillance mises en place pendant la phase qui suit le traitement proprement dit, mais nous avons estimé que les frais d'assainissement s'élèvent à environ 20 % des frais qui devraient être supportés si l'alternative était représentée par le dragage et l'écoulement dans une décharge contrôlée.

Les traitements in situ peuvent être de type:

- **Biologique.** Ces traitements se fondent sur l'oxydation biologique de la substance organique par des microorganismes tels que des bactéries et des champignons. Bien que de nombreux agents contaminants puissent être naturellement dégradés par des microorganismes, souvent le processus est trop lent et l'ajout d'additifs peut stimuler l'activité microbienne. Des bactéries autochtones, des substrats pour la biomasse présente in situ ou des activateurs enzymatiques de stimulation de l'activité bactérienne peuvent être inoculés, en outre, pour accélérer les processus de dégradation biologique. La dégradation des agents contaminants organiques entraîne la formation de molécules moins toxiques et moins complexes. Pendant les phases intermédiaires de la dégradation, des substances plus solubles et toxiques par rapport à celles de départ peuvent être générées (contamination secondaire). La dégradation des agents contaminants organiques peut avoir lieu par le biais de processus aérobies et anaérobies. La dégradation aérobie requiert la présence de nutriments et l'apport permanent d'oxygène. Par conséquent, elle n'est pas réalisable pour le traitement de sédiments profonds. Les éléments nutritifs les plus courants sont l'azote et le phosphore, d'autres éléments possibles étant Fe, Mg, K, Ca, Na, S et Mn. La dégradation anaérobie a lieu par le biais de microorganismes qui sont en mesure de vivre sans oxygène ou avec peu d'oxygène, en présence de nitrates. La dégradation anaérobie est plus lente que la dégradation aérobie et peut être appliquée pour la dégradation d'un nombre inférieur d'espèces polluantes.
- **Chimique.** Ce type de traitement inclut les processus de neutralisation, précipitation, oxydation et déshalogénéation. Tous les traitements chimiques in situ produisent des effets secondaires qui peuvent être dus aussi bien à l'effet toxique des réactifs qu'à la production d'agents toxiques. Par conséquent, l'application des traitements chimiques est limitée aux cas dans lesquels la zone à assainir peut-être surveillée ou les flux des nouvelles substances produites peuvent être facilement interceptés. Dans les technologies de traitement chimique, l'homogénéisation des sédiments contaminés avec les réactifs est un problème essentiel.

Deux autres types de traitement in situ, mentionnés dans la bibliographie internationale, sont le confinement des sédiments (capping) et la solidification/stabilisation. Nous allons décrire ci-après ces technologies, par souci d'exhaustivité, tout en faisant remarquer que, bien que permettant de diminuer la diffusion des agents contaminants dans l'environnement immédiat, elles pourraient se révéler insuffisamment durables, à long terme, et pourraient avoir un impact négatif sur l'écosystème aquatique. C'est la raison pour laquelle ces technologies pourraient ne pas être adaptées dans un écosystème complexe comme celui de la mer Méditerranée. Elles pourraient éventuellement être envisagées uniquement pour des interventions de mise en sécurité d'urgence, dans des zones particulières.

- **Confinement des sédiments (capping).** Cette technologie est considérée plutôt comme une intervention de rétention que comme un traitement. L'on emploie des couches propres de sable, limon, roche, matériaux géotextiles ou un ensemble de tout cela, afin d'isoler les sédiments contaminés. Les frais d'intervention sont très réduits, ce qui rend ce type de traitement applicable à vaste échelle. Des systèmes de capping capables de réagir avec les agents contaminants pour en diminuer le degré de toxicité et plus résistants aux phénomènes d'érosion sont actuellement en cours de développement.
- **Solidification/Stabilisation.** Ce type de processus prévoit l'ajout d'espèces chimiques ou de ciments afin d'encapsuler le sédiment contaminé et/ou de le convertir en une forme moins soluble, moins mobile ou moins toxique ; cela représente une solution adaptée en cas de présence de contamination par des métaux. La principale difficulté de cette technique de traitement est le manque de contrôle des dosages des réactifs ; l'on peut obtenir différents niveaux de traitement à l'intérieur d'une même zone à assainir. Il convient d'atténuer l'impact du traitement sur la colonne d'eau ; dans des conditions idéales, les agents contaminants ne migrent pas vers la colonne d'eau, tandis qu'en phase d'exploitation, le mélange peut entraîner la re-suspension de l'agent contaminant lié à la fraction fine du sédiment. La température et les conditions de mélange figurent parmi les principaux paramètres de processus dont dépend la prise entre l'agent agglomérant et le sédiment ; les deux étant difficiles à contrôler, la solidification/stabilisation est une technique rarement utilisée. Par ailleurs, des phénomènes d'érosion et de diffusion liés au mouvement des marées ou des embarcations pourraient donner lieu à la lixiviation des espèces contaminantes. Les frais de traitement sont jusqu'à dix fois inférieurs à ceux de la technique correspondante appliquée hors site.

Le phyto-assainissement est une technologie de traitement des sols et des sédiments contaminés qui se fonde sur la capacité de dégradation, d'élimination ou de concentration des sédiments des plantes. En particulier, certaines espèces végétales sont en mesure de minéraliser et de transférer dans les appareils racinaires les composés organiques toxiques, ainsi que d'accumuler et concentrer les composés inorganiques dans la partie aérienne. Bien que cette technique de traitement soit rarement employée en son état actuel, elle présente certains avantages, dont un faible impact environnemental.

Les traitements de phyto-assainissement peuvent être appliqués in situ, avec des plantes autochtones, dans des zones surplombant la côte, dotées d'une faible bathymétrie et d'un faible hydrodynamisme, entre autres pour la remise en état de côtes érodées ou de milieux humides. Cette technologie peut être également utilisée hors site, sur du matériau dragué, éventuellement soumis à lavage pour atténuer son degré de salinité, et acheminé vers des bassins de lagunage, à l'aide de plantes spécialement sélectionnées selon le type de contamination à éliminer.

En fonction du mécanisme utilisé pour la décontamination du sédiment, les traitements de phyto-assainissement peuvent être répartis en :

- **Phytoextraction** : opérée par des plantes dites hyperaccumulatrices, caractérisées par une très grande capacité d'extraction des métaux, des radionucléides et de certains composants organiques du sol et des sédiments, donnant lieu à une concentration des agents contaminants dans les appareils radiculaires et dans le système foliacé. Ce dernier peut être enlevé et destiné à un traitement adapté pour atteindre l'équilibre entre la plante et le substrat externe ; une fois atteint, l'absorption des agents contaminants par la plante cesse.
- **Rhizofiltration** : bien que ce processus revête une importance essentielle dans le traitement de phytoépuration des eaux, il peut être également exploité pour le traitement des eaux de rinçage des sédiments contaminés : la rhizofiltration est effectuée par des plantes hyperaccumulatrices dotées d'un appareil racinaire particulièrement diffus, capable d'absorber et de concentrer les métaux dans les racines et d'en promouvoir la précipitation suite à l'exsudation des phosphates.
- **Phytodégradation** : il s'agit de la décomposition des molécules organiques complexes en molécules simples et de l'éventuel transfert des catabolites non toxiques dans les tissus végétaux.
- **Phytostabilisation** : elle est effectuée par des plantes qui sont en mesure de tolérer de fortes quantités de métaux dans les sédiments et de produire des composés chimiques qui immobilisent les agents contaminants à l'interface entre les racines et le sol, à travers des phénomènes d'absorption, de précipitation chimique et de complexation.
- **Phytostimulation ou biodégradation par la rhizosphère** : cela consiste en la stimulation de la biodégradation des composés organiques complexes suite à la libération, par les plantes, d'exsudats contenant du carbone organique et des enzymes dans la rhizosphère.
- **Phytovolatilisation** : il s'agit de la transformation de certains métaux et de certaines substances organiques contaminantes (par ex. les composés chlorés) en formes chimiques volatiles, qui sont ensuite libérées dans l'atmosphère : l'application d'un traitement de phyto-assainissement fondé sur ce mécanisme d'élimination des éléments contaminants requiert une évaluation précise des effets provoqués sur l'atmosphère. Les plantes hyperaccumulatrices sont en mesure de stocker les métaux lourds dans des quantités telles que la concentration finale dans la plante est égale à un certain nombre d'unités en pourcentage. Selon certaines expériences menées en matière de phyto-assainissement, ce type de traitement est potentiellement applicable pour l'élimination de : métaux lourds, radionucléides, solvants chlorés, BTEX, PCB, HPA, pesticides chlorés, pesticides organiques phosphorés, explosifs, nutriments et agents tensio-actifs.

L'application d'un traitement de phyto-assainissement requiert une analyse préalable visant à identifier l'espèce végétale la plus adaptée aux conditions spécifiques de référence.

Les éléments suivants doivent être correctement analysés, en particulier:

- l'affinité de la plante pour l'élimination ou la rétention des agents contaminants présents dans la matrice solide ;
- la capacité de la plante à tolérer les quantités d'agents contaminants présentes dans la matrice solide ;
- les objectifs finaux du traitement (concentration résiduelle des agents contaminants dans le sol, leur biodisponibilité et leurlixiviabilité) ;
- La capacité de la plante à prendre racine dans les conditions environnementales caractéristiques du site où le phyto-assainissement a lieu (conditions climatiques, circulation des eaux, structure et caractéristiques chimiques, physiques et biologiques du sol et des sédiments).

Une application particulière du traitement de phyto-assainissement prévoit la réalisation de lagunes artificielles dans lesquelles des plantes immergées et émergées peuvent être utilisées. L'emploi de plantes émergées semble plus simple car il évite lesopérations de fauchage, bien que les plantes sous-marines soient généralement caractérisées par une plus grande efficacité de traitement.

6.4.2) Technologies de traitement hors site

Les traitements hors site prévoient le dragage de sédiments contaminés suivi d'une phase de traitement. L'on parle de traitement sur site ou hors site, selon que le traitement soit effectué à proximité de la zone d'excavation ou bien loin de ladite zone.

Une fois le dragage du sédiment contaminé effectué, le traitement se déroule en deux phases distinctes :

- Une phase de prétraitement
- Une phase de traitement

Le prétraitement a deux objectifs :

- Rendre le materiau homogene afin d'obtenir une variabilite limitee des caracteristiques physiques (poids specifique, granulometrie), qui permet de ne pas compromettre l'efficacite des technologies de traitement
- Reduire les volumes a transporter, a acheminer vers le futur traitement ou a envoyer a la decharge

Les prétraitements peuvent comporter la séparation des différentes catégories granulométriques et/ou l'élimination de l'eau (déshydratation). En fonction du but poursuivi et du type de sédiment que l'on souhaite traiter, l'on pourra choisir l'une ou l'autre des techniques mentionnées ci-dessus.

Séparation granulométrique

Les technologies généralement définies « de tri » permettent d'éliminer du sédiment dragué le matériau appartenant à une certaine catégorie granulométrique (par ex. le sable) et de séparer le sédiment en deux ou plusieurs fractions, en fonction des propriétés physiques. La séparation des différentes catégories granulométriques permet de réduire le volume à traiter et de rendre plus homogène le matériau à acheminer vers les traitements ultérieurs.

Dans certains cas, le processus de séparation peut être considéré comme un traitement proprement dit : en effet, les agents contaminants tendent à se concentrer dans la fraction fine des sédiments. D'après l'expérience, la caractéristique du sédiment qui a une influence sur l'absorption de certains agents contaminants est constituée par un pourcentage élevé de fraction fine et organique. Les particules fines, qui présentent une surface spécifique plus étendue par rapport aux sables et une activité superficielle élevée se lient de manière particulièrement solide aux espèces polluantes, en rendant difficiles les opérations de décontamination. Les sables, caractérisés par une faible surface spécifique et une faible densité de charge superficielle, ont une faible réactivité et se lient de manière beaucoup moins forte aux agents contaminants. La séparation entre le sable et le limon dans un sédiment pourrait également permettre la réutilisation immédiate des sables contenus dans celui-ci. Les opérations de séparation peuvent être réalisées à l'aide de tamis, bassins de sédimentation, classeurs hydrauliques, hydrocyclones et cellules de flottation.

Déshydratation

L'élimination de l'eau du matériau dragué peut avoir lieu de trois manières différentes :

- **Déshydratation passive** (caisson de remplissage, lits de séchage) : la réduction de la teneur en eau a lieu par sédimentation, évaporation naturelle ou par l'emploi de systèmes de drainage.
- **Déshydratation mécanique** (presses à ruban, presses à filtre, épaissement par gravité, centrifugation) : font partie de ce type de traitement toutes les technologies normalement appliquées à la déshydratation des boues industrielles et civiles et aux procédés employés dans l'industrie minière. Généralement, les équipements utilisés requièrent une certaine énergie pour pouvoir presser et déshydrater le matériau dragué. Le contenu solide, en poids, peut atteindre 70 %.

- **Déshydratation chimique** : l'ajout de réactifs chimiques peut faciliter la déshydratation du sédiment et la formation de composés stables qui bloquent les métaux. L'eau provenant des processus de déshydratation peut nécessiter des traitements préalables en vue du déchargement dans la masse d'eau réceptrice ou de la réutilisation dans le processus proprement dit.

De nombreuses technologies peuvent être employées pour la phase de traitement, en fonction de la nature des agents contaminants présents et des caractéristiques physiques du sédiment. En général, le processus de traitement a lieu par un ensemble d'interventions de nature chimique et physique. Par exemple, un sédiment qui peut généralement contenir un mélange de métaux lourds et de substances organiques peut être traité par l'élimination, la concentration et la récupération des métaux lourds dans une première phase (attaque acide) et la dégradation ou la destruction ultérieure (thermique) de la substance organique, dans une deuxième phase.

Les traitements peuvent être répartis comme suit en fonction de la technologie utilisée pour l'élimination des agents contaminants :

- Traitements biologiques
- Traitements physico-chimiques
- Traitements thermiques

Traitements biologiques

Les traitements biologiques se fondent sur la biodégradation, à savoir sur l'oxydation biologique de la substance organique biodégradable par des microorganismes spécifiques. Cette technologie exploite la capacité des champignons et des bactéries à dégrader des composés organiques complexes en formes plus simples : il s'agit d'un processus qui a lieu naturellement dans des terrains et des sédiments contaminés en présence de polluants organiques (bio-assainissement naturel), mais qui peut également être provoqué par l'apport des microorganismes nécessaires (par ex. des bactéries). Le traitement biologique de sédiments marins est en général beaucoup plus efficace compte tenu de la présence de sels dans le matériau dragué. C'est la raison pour laquelle un prétraitement (lavage) est nécessaire.

On retrouve, parmi les processus de biodégradation :

- **le landfarming**. Ce processus consiste en la réalisation d'un bassin de traitement confiné, muni d'un fond drainant. Le taux d'humidité du sol reste constant grâce à une irrigation contrôlée du sédiment ; la vitesse de dégradation des agents contaminants peut beaucoup varier selon la saison. L'activité d'ameublissement de la couche de sédiment contaminé est très importante : elle est généralement réalisée chaque jour et a un effet positif sur la biodégradation aérobie.

Cette technique s'applique avec succès aux sédiments contaminés par des hydrocarbures et des huiles minérales dégradables, avec un pourcentage d'élimination supérieur à 80 % et des délais de bonification de quelques mois. Le matériau soumis à ce traitement doit être homogène, perméable et en grande partie sablonneux.

- **Biopile.** Le principe de fonctionnement de la biopile pour le traitement des sédiments contaminés est tout à fait similaire au landfarming, tout en nécessitant un espace moins important. La principale différence est constituée par la méthode de transfert de l'oxygène. Dans la préparation d'une biopile, le matériau est disposé par strates superposées, alternées avec des tuyaux perforés pour la distribution, dans la masse de matériau à traiter, d'air et de solutions contenant les nutriments nécessaires à la croissance des microorganismes. L'aération, qui a lieu par aspiration, permet en outre de contrôler les émissions dans l'atmosphère.
- **Compostage.** Le traitement biologique de compostage est réalisé en phase solide et permet d'obtenir la dégradation des contaminants organiques grâce à l'activité biologique des microorganismes aérobies. Le processus de compostage peut être réalisé par l'adoption de plusieurs types de configurations (compostage en tas retournés, compostage à aération forcée).
- **Bioréacteurs Bioslurry.** Les traitements biologiques en suspension prévoient le traitement des sédiments dans des réacteurs biologiques. Le réacteur assure le bon mélange et le contact entre les microorganismes et les composts à dégrader, ainsi que des conditions opérationnelles optimales pour l'activité biologique. L'un des avantages des traitements biologiques en phase suspendue est représenté par la possibilité de traiter un grand nombre d'agents contaminants, tels que les pesticides, les essences, les polychlorophénols, certains composés organiques halogénés.

Traitements physico-chimiques

Les traitements physico-chimiques peuvent être répartis en processus de nature physique, favorisant le transfert de phase des agents contaminants ou leur séparation de la matrice solide du sédiment ; processus de nature chimique, dans le cadre desquels la structure chimique des contaminants est modifiée, avec la formation de composés moins toxiques ou plus facilement séparables de la matrice du sédiment ; et processus de nature électrochimique et physico-chimique.

Parmi les principaux procédés, nous allons examiner:

- **Le lavage du sédiment.** Les agents contaminants sont transférés dans une fraction liquide aqueuse, à laquelle peuvent être ajoutés des réactifs. Le processus est activé par deux mécanismes : la dissolution et la dispersion des agents contaminants dans le liquide d'extraction, sous la forme de particules suspendues. Les fluides de lavage suivants peuvent être employés selon le type de contamination : eau, eau avec tensioactifs, solutions acides, solutions alcalines, agents complexants et solvants organiques. Le lavage permet de traiter des sédiments contaminés par une grande variété de substances polluantes ; toutefois, l'efficacité et la rentabilité de ce processus sont d'autant plus élevées que la granulométrie du sédiment est grossière (0,25 - 2 mm).
- **Oxydation.** Ce traitement prévoit la dégradation par oxydation des agents contaminants présents dans le sédiment par des substances dotées d'un redox plus élevé. Les sédiments les plus adaptés à ce type de décontamination sont les sédiments argileux, pollués par des substances organiques à faible potentiel redox. Les réactifs employés sont : l'ozone, l'eau oxygénée et le dioxyde de chlore.
- **Décontamination électrocinétique.** Dans ce processus, un courant électrique (continu) est appliqué au sédiment à travers deux électrodes qui induisent, dans une solution aqueuse, un flux migratoire d'ions, par exemple métalliques, qui sont ensuite éliminés avec l'eau.
- **Extraction avec solvants.** Des solvants organiques sont utilisés comme agents d'extraction. La phase d'extraction est suivie d'une phase de séparation dans le cadre de laquelle des agents contaminants organiques sont séparés du solvant d'extraction par un changement de température ou de pression. Ce processus est utilisé avec succès dans le traitement des sédiments contaminés par des PCB, des composés organiques à haut poids moléculaire et des pesticides. Parmi les solvants employés en milieu industriel l'on peut citer les hydrocarbures chlorés(CHCl₂, CHCl₃), les cétones (acétone), les hydrocarbures aromatiques et d'autres substances telles que l'hexane, l'éthanol, etc.
- **Extraction par flottation.** Ce processus se fonde sur la coagulation sélective sur bulles d'air des agents contaminants et/ou des particules de sédiment. Les contaminants les plus faciles à extraire sont les huiles minérales, les HPA, les cyanures et, en partie, certains métaux lourds comme le plomb et le cuivre ; ce processus est plus efficace pour les sédiments principalement constitués de sable et de limon.
- **Réduction.** Il s'agit de la transformation par réduction des agents contaminants en produits moins toxiques et/ou moins mobiles, par des substances réductrices inorganiques ou métalliques. Ce processus est employé pour décontaminer des sites pollués par des substances organiques non saturées ou des métaux réductibles tels que le Cr VI ; la réaction de réduction développe de l'hydrogène.

- **Chélation.** Processus qui se produit entre un cation métallique et un liant (agent chélateur), donnant lieu à la formation d'un composé stable (le chélate). Le cation métallique, une fois lié, n'est plus disponible pour d'autres réactions avec d'autres réactifs dans des systèmes chimiques et biologiques. Le pH est l'un des paramètres qui influe davantage sur le traitement. L'efficacité varie en fonction de l'agent chélatant et du dosage.
- **Solidification/stabilisation (inertage).** Ces processus réduisent la mobilité des agents contaminants et en limitent le transfert au milieu ambiant. Ceci s'obtient en réduisant la surface disponible pour la lixiviation, par la création d'une matrice solide compacte (solidification) et/ou d'un lien chimique entre l'agent contaminant et la matrice solide (stabilisation). Le sédiment est mélangé aux liants ou à d'autres agents chimiques organiques ou inorganiques (ciment, chaux, argile, substances thermoplastiques, polymères organiques et composés macroencapsulants). Les agents contaminants qui peuvent être immobilisés de la manière la plus efficace sont de nature inorganique. Cette technologie de traitement, qui ne réduit pas la quantité de contaminants contenue dans le sédiment tel quel et qui entraîne uniquement une réduction de leur mobilité, peut être utilisée, éventuellement, pour une intervention de mise en sécurité urgente, en attendant la bonification ou le déclassement du sédiment en vue de son transport à la décharge ou d'une éventuelle réutilisation à terre du matériau pour des travaux d'ingénierie civile, lorsque les normes en vigueur le permettent (par exemple, pour la construction de routes).

Traitements thermiques

Les traitements thermiques permettent d'enlever, de détruire ou bloquer une vaste gamme d'agent contaminants organiques et inorganiques présents dans les sédiments ; l'on parle, en général, de désorption thermique et de traitements de destruction thermique lorsque les températures de traitement sont inférieures, respectivement, à 550 °C – 650 °C et sont comprises entre 600 °C et 2000 °C. Pendant l'application d'un traitement thermique, les différents agents contaminants présents dans les sédiments peuvent participer à une ou plusieurs réactions parmi les suivantes :

- Volatilisation des espèces caractérisées par une tension de vapeur élevée
 - Oxydation complète ou transformation dans des formes moins dangereuses
 - Piégeage à l'intérieur de la masse fluide
 - Un traitement thermique doit être complété par des systèmes de rétention, de contrôle et de traitement des émissions gazeuses, et des systèmes d'extraction et de gestion des résidus solides. En fonction de la température de process, les traitements thermiques peuvent être classés en :
- ✓ Traitements de séparation des agents contaminants (désorption)

- ✓ Traitement de destruction thermique des agents contaminants organiques et de blocage des contaminants inorganiques, en vue de la réutilisation du matériau traité
- ✓ Traitements de destruction thermique (incinération, pyrolyse, gazéification, oxydation haute pression)
- ✓ Traitement d'immobilisation des agents contaminants (vitrification, destruction thermique au plasma).

Les traitements de désorption thermique permettent d'obtenir la vaporisation des agents contaminants organiques volatiles et semi-volatiles du sédiment. Parmi ces processus figurent :

- **Désorption thermique.** Ce processus consiste en la vaporisation des agents contaminants organiques éloignés du sédiment par un fluide de transport (par exemple air, gaz, gaz de combustion, gaz inerte). L'on atteint des températures proches de 300 °C, avec un temps de séjour minimum de 30 minutes ; le chauffage peut être direct (par ex. dessiccateur à lit fluidisé) ou indirect (tambour tournant à parois chauffées). Cela élimine les agents contaminants organiques, tels que les PCB et, en moindre mesure, les métaux les plus volatiles, comme le mercure et l'arsenic.
- **Extraction à la vapeur.** L'injection de vapeur à des températures variables entre 150 °C et 230 °C entraîne la volatilisation des agents contaminants, qui sont ainsi captés et extraits du sédiment. Cette technique est appliquée pour l'élimination des agents contaminants, tels que HPA, huiles minérales, hydrocarbures halogénés, etc. Les processus de destruction thermique et d'immobilisation comprennent :
- **Vitrification.** Cela consiste à chauffer le sédiment à une température comprise entre 1600 °C - 2000 °C, comportant la fusion initiale du sédiment, suivie d'un refroidissement rapide qui entraîne la formation d'un monolithe amorphe et non cristallin dans lequel sont piégés les agents contaminants inorganiques non volatiles. Le produit vitrifié ainsi obtenu peut être employé dans le secteur du bâtiment.
- **Incinération.** Cette méthode sert à éliminer les agents contaminants organiques, les cyanures complexes et, en partie, certains métaux comme l'arsenic, le mercure et le plomb. Différentes technologies peuvent être adoptées et les températures d'incinération varient, généralement, entre 1000 °C - 1200 °C.
- **Destruction thermique au plasma.** Le plasma est un gaz ionisé par des moyens électriques. L'ionisation a lieu par le passage du gaz (généralement de l'air) à travers un arc électrique généré par une « torche plasma ». L'énergie transférée au sédiment sous la forme de chaleur (1600 °C - 2000 °C) permet la destruction des agents contaminants organiques et le piégeage des métaux dans l'amas vitreux.

- **Pyrolyse.** Il s'agit d'un processus de décomposition thermochimique de matériaux organiques en composantes gazeuses, par l'application d'une température comprise entre 400 °C et 800 °C, en l'absence totale d'agent oxydant ou en présence d'une quantité extrêmement réduite d'oxygène (gazéification partielle).
- **Processus combinés de destruction thermique et immobilisation.** Il s'agit de processus dans le cadre desquels les températures de fonctionnement sont comprises entre 600 °C et 1400 °C, en vue de la réutilisation des matériaux traités pour la production de briques, ciment ou, plus généralement, de matériaux stabilisés à utiliser dans le domaine de l'ingénierie civile.

6.5) Conclusions

Actuellement en Italie, les opérations de dragage à l'intérieur des Sites de bonification d'Intérêt national (SIN) sont régies par l'art. 5-bis de la L. 84/1994 et modifications suivantes et par le D.M. 07/11/2008 (tel que modifié par le D.M.04/08/2010). L'art. 5-bis fournit quelques indications sur les options possibles en termes de gestion des sédiments dragués.

Les opérations de dragage réalisées hors des SIN sont régies par D.M.173/2016 « Règlement relatif aux modalités et aux critères techniques applicables à l'autorisation d'immersion en mer des matériaux de creusement des fonds marins », établissant la procédure de délivrance de l'autorisation d'immersion volontaire en mer des matériaux visés à la lettre a), alinéa 2, de l'art. 109 du D.-L. 152/2006 (matériaux résultant du creusement des fonds marins ou saumâtres ou de terrains côtiers émergés), compte tenu des finalités de protection du milieu marin et afin de permettre une exploitation légale de la mer.

Les phases des opérations se rapportant aux zones SIN et hors SIN sont identiques : stratégies et méthodes d'échantillonnage, analyse des échantillons, classification des échantillons prélevés, élaboration des résultats, gestion des sédiments dans l'environnement marin côtier.

Les technologies de traitement des sédiments peuvent être effectuées « sur site » et « hors site ».

Le traitement sur site permet de ne pas enlever le sédiment, ce qui provoque un moindre impact du point de vue environnemental et doit, donc, être préféré chaque fois que possible.

En revanche, le traitement des sédiments hors site est généralement plus long et plus coûteux, car il nécessite le dragage préalable et une phase de prétraitement qui précède la phase de traitement proprement dite.

6.6) Documents de référence

- **LOI du 28 janvier 1994, n° 84 et modifications suivantes**

Remaniement de la législation en matière portuaire

- **DÉCRET- LOI du 3 avril 2006, n° 152**

Nomes en matière environnementale

- **ARRÊTÉ MINISTÉRIEL 7 novembre 2008**

Normes régissant les opérations de dragage sur les sites de bonification d'intérêt national selon les termes de l'article 1, alinéa 996, de la loi du 27 décembre 2006, n° 296

- **ARRÊTÉ MINISTÉRIEL 4 août 2010**

Modification du tableau A2, de l'annexe A de l'arrêté ministériel du 7 novembre 2008, régissant les opérations de dragage sur les sites de bonification d'intérêt national

- **ARRÊTÉ MINISTÉRIEL 15 juillet 2016, n° 172**

Règlement régissant les modalités et les normes techniques relatives aux opérations de dragage sur les Sites d'intérêt national selon l'art. 5-bis, alinéa 6, de la Loi du 28 janvier 1994, n° 84

- **ARRÊTÉ MINISTÉRIEL 15 juillet 2016, n° 173**

Règlement régissant les modalités et les critères techniques relatifs à l'autorisation d'immersion en mer des matériaux d'excavation des fonds marins.

- **ARRÊTÉ MINISTÉRIEL 24 janvier 1996**

Directives inhérentes aux activités d'instruction pour la délivrance des autorisations visée à l'art. 11 de la loi du 10 mai 1976, n° 319, et modifications suivantes, concernant le déchargement dans les eaux de mer et dans des environnements contigus de matériaux provenant de l'excavation de fonds d'environnements marins ou saumâtres ou de terrains côtiers émergés, ainsi que de toute autre opération de manutention de sédiments en milieu marin.

VII. CONTRIBUTO INTEGRALE FRANCESE

7.1	Metodologie di caratterizzazione prima del dragaggio	147
7.2	Svolgimento dell'operazione di dragaggio	148
7.3	Campionamento dei sedimenti prima del dragaggio	149
7.3.1	Principi generali	149
7.3.2	Campionamento	152
7.4	Tecniche e metodi di prelievo dei campioni di sedimenti	154
7.4.1	Strumenti per il prelievo dei sedimenti superficiali	155
7.4.2	Strumenti per il prelievo di carote di sedimenti	155
7.4.3	Strumenti logistici associati	157
7.4.4	Modalità operative per il campionamento	157
7.5	Analisi da realizzare per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare	159
7.6	Gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio	161
7.6.1	Quadro normativo	161
7.6.2	Stoccaggio definitivo del rifiuto sedimento	167
7.6.3	Impianti classificati per l'ambiente (ICPE)	169
7.6.4	Treatmento dei sedimenti e strumenti esistenti	170
7.6.5	Filiere di recupero disponibili per i sedimenti di dragaggio	173
7.7	Contesto - Utilizzo e bisogni dei porti del dipartimento del Var	185
7.8	Riferimenti bibliografici, regolamentari e normativi	185

7.1) Metodologie di caratterizzazione prima del dragaggio

La caratterizzazione fisico-chimica dei materiali in loco 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 di 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).

In Francia, gli standard di riferimento per la qualità fisico-chimica dei sedimenti da dragare sono definiti nel decreto interministeriale del 14 giugno 2000 (modificato dai decreti del 9 agosto 2006, del 23 dicembre 2009, dell'8 febbraio 2013 e del 17 luglio 2014) relativo ai livelli da considerare al momento dell'analisi dei rifiuti nelle acque di superficie o dei sedimenti marini, degli estuari o estratti da corsi d'acqua o canali, di cui rispettivamente alle rubriche 2.2.3.0, 3.2.1.0 e 4.1.3.0 della nomenclatura allegata all'art. R214-1 del Codice dell'Ambiente. Tali standard, fissati dal gruppo di lavoro GEODE, stabiliscono 2 livelli (N1 e N2) di concentrazione degli agenti inquinanti (HAP, PCB, TBT) che permettono di anticipare il potenziale impatto dell'immersione dei sedimenti di dragaggio in ambiente acquatico.

La circolare applicativa n. 2000-62 del 14 giugno 2000 definisce nel dettaglio l'interpretazione dei risultati, nel contesto dell'immersione dei sedimenti:

- per i valori «inferiori al livello N1, in linea di principio, l'impatto potenziale è ritenuto automaticamente neutro o trascurabile»;
- per valori «compresi tra N1 e N2, si rivela necessaria un'indagine complementare, in funzione del progetto preso in considerazione e del grado di superamento del livello N1»;
- in caso di valori «superiori al livello N2, generalmente è necessaria un'indagine complementare, essendo questo un indice significativo che lascia intuire il potenziale impatto negativo dell'operazione. Bisogna quindi condurre uno studio specifico riguardante la sensibilità dell'ambiente alle sostanze interessate, con almeno un test di ecotossicità complessiva del sedimento, una valutazione dell'impatto prevedibile sull'ambiente ed eventualmente il perfezionamento del maillage dei prelevamenti nella zona interessata».

N.B. Tali soglie regolamentari N1 e N2 sono precisate nell'elaborato T.1.1.1 del progetto **SEDITERRA: «Sintesi normativa e governance della gestione dei sedimenti di dragaggio marini e degli estuari - Parte francese».**

La caratterizzazione fisico-chimica ottenuta comparando i dati alle soglie di inquinamento sopraccitate (N1 e N2), associata al volume dei sedimenti da dragare, alla localizzazione della zona da dragare rispetto a zone di molluschicoltura o di acquacoltura e alla fascia marina interessata, consente di stabilire se l'operazione di dragaggio sia soggetta al regime amministrativo di dichiarazione o a quello di autorizzazione (con conseguente studio d'impatto del progetto e indagine pubblica).

N.B. Il contesto normativo, oggetto dell'elaborato T1.1.1, non sarà trattato nuovamente in maniera dettagliata nel presente documento.

7.2) Svolgimento dell'operazione di dragaggio

Le caratteristiche fisiche, granulometriche e geochimiche dei sedimenti da dragare sono i parametri determinanti che andranno a influenzare la scelta della tecnica di dragaggio e le eventuali misure protettive da mettere in atto al fine di minimizzare l'impatto delle operazioni di dragaggio sull'ambiente.

Le principali tecniche di dragaggio disponibili sono le seguenti:

- dragaggio idraulico (mediante draga aspirante stazionaria o semovente)
- dragaggio meccanico (con draga a cucchiaio o a benna)
- dragaggio idrodinamico (*water injection* o dragaggio all'americana)

In Francia, la tecnica più utilizzata resta prevalentemente quella del dragaggio idraulico (con draga aspirante semovente), prima di quella del dragaggio meccanico (mediante l'uso di una benna impermeabile). Fonte: « *Enquête nationale sur les dragages des ports maritimes* - giugno 2017 – CEREMA».

Precisiamo che il dragaggio idraulico è impiegato preferibilmente per grossi volumi di sedimenti scarsamente inquinati, mentre quello meccanico è più adatto a piccoli volumi di sedimenti maggiormente contaminati.

Ciascuna di queste tecniche di dragaggio può essere (e deve essere, se giustificato) abbinata a misure di salvaguardia ambientale. Il principale dispositivo di protezione impiegato è una geo membrana anti-dispersione, che ha lo scopo di contenere la nube di torbidità provocata dalle attività di dragaggio e di limitare l'impatto sugli ecosistemi marini.

Prima, durante e dopo l'operazione di dragaggio, sarà possibile monitorare la qualità della colonna d'acqua (ad es.: parametri fisico-chimici e batteriologici), allo scopo di conoscere i cambiamenti provocati dal dragaggio stesso sull'ambiente. In questo modo sarà possibile interrompere le operazioni o delocalizzare la zona d'azione, nel caso in cui si verifichi un superamento delle soglie massime consentite.

La scelta dei parametri da monitorare è legata alle caratteristiche proprie dei sedimenti da dragare (as es. sedimenti contaminati da metalli e/o idrocarburi, sedimenti sottili o grossolani, etc.). I monitoraggi attualmente effettuati riguardano la misurazione della torbidità, del contenuto di materia sospesa (MES), o ancora dei livelli di metalli disciolti. La scelta dei parametri da seguire, i metodi e gli strumenti messi in atto per realizzare tali monitoraggi (ad es.: prelievi, sensori passivi, sonde di misura, etc.) sono presentati dal committente alla polizia dell'acqua nel fascicolo preliminare al dragaggio, per essere approvati.

Infine, come detto in precedenza, le caratteristiche ambientali dei materiali da dragare condizionano la gestione futura dei sedimenti estratti. Perciò, se i livelli di contaminazione restano al di sotto delle soglie N2 (e, idealmente, non superano i livelli N2), i sedimenti potranno essere indirizzati verso una gestione marina (immersione o reimmissione in mare o in estuario). In caso contrario, e salvo deroga delle autorità competenti, se solo un valore supera il livello N2, il sedimento dragato sarà destinato alla gestione terrestre (stoccaggio o reimpiego) oppure assumerà di fatto lo status di rifiuto.

7.3) Campionamento dei sedimenti prima del dragaggio

7.3.1 Principi generali

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 applicativa 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. Inoltre, nel luglio 2017 il gruppo di lavoro (GT) incaricato dell'elaborazione dei principi in materia di reimpiego terrestre dei sedimenti ha redatto alcune schede tecniche che si rifanno alle raccomandazioni del Ministero dell'Ambiente. Tali suggerimenti per la messa in pratica di un piano di campionamento sono stati concepiti sulla base di un'analisi bibliografica e considerando i resoconti delle esperienze di operazioni di dragaggio dei sedimenti, in Francia e all'estero. Il gruppo GEODE ha anche pubblicato (nel novembre 2016) uno studio intitolato: «Buone pratiche per la caratterizzazione dei materiali in previsione di operazioni di dragaggio e di immersione in ambienti marini e negli estuari».

Le principali **linee guida evidenziate dai vari documenti** elencati sono riassunte di seguito, accompagnate dalle schede tecniche elaborate dal CEREMA (capofila del gruppo di lavoro).

Si noti che il presupposto di partenza, prima di procedere a un campionamento dei sedimenti, è quello di presentare (e motivare) il piano di campionamento previsto agli uffici incaricati delle politiche di controllo delle acque al fine di ottenerne il parere e l'approvazione.

La persona responsabile del piano di campionamento e della corretta messa in pratica dei prelievi è il committente designato per le operazioni di dragaggio.

La metodologia di applicazione del piano di campionamento prevede due tappe principali:

1. **l'istituzione di una zonizzazione a priori della qualità dei sedimenti**, realizzata a partire dalle caratteristiche del bacino versante e dalla geomorfologia del settore da caratterizzare (dati storici, batimetria, risultati quantitativi e qualitativi di precedenti indagini);
2. **la localizzazione dei prelievi** al fine di realizzare un campione rappresentativo del lotto di sedimenti da caratterizzare. Tali prelievi dovranno essere adattati in funzione della suddivisione in zone stabilita durante la prima fase.

La circolare del 14 giugno 2000 identifica 3 diversi contesti per i sedimenti marini e degli estuari:

- le **zone di scambio libero**, caratterizzate da scambi importanti delle masse d'acqua dovuti a forti correnti e/o a un'agitazione importante
- le **zone confinate**, caratterizzate da uno scarso movimento delle masse d'acqua, in particolare i bacini portuali chiusi
- i **porti turistici**, per i quali si tiene conto o 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
< 5000	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 25.000 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 aggiuntivo			

La definizione di una suddivisione in zone a priori consente di adattare il campionamento dei sedimenti in base alla loro qualità potenziale (es.: zona non inquinata, zona intermedia, zona inquinata a priori). Tale suddivisione non influenza il numero di campioni da prelevare, ma permette di definire le zone da prediligere per i prelievi. Questi ultimi devono tener conto del contesto del sito in cui verranno effettuati, delle modalità di prelievo (in funzione dello spessore e della natura del deposito) e delle tecniche da applicare.

La zonizzazione a priori è evolutiva: ogni nuovo dato fornisce una conoscenza più approfondita del sito e consente di migliorare la rappresentatività della suddivisione. È realizzata a partire da dati esistenti (precedenti operazioni di dragaggio) e dall'analisi del contesto locale (urbano, industriale, presenza di scarichi nell'ambiente, etc.). Permette quindi di individuare i settori in cui la qualità dei sedimenti è considerata omogenea. La zonizzazione a priori è realizzata grazie ai dati raccolti dai gestori o dagli uffici statali e alle basi di dati esistenti (es.: precedenti operazioni di dragaggio, monitoraggio di attività, cartografie, fotografie aeree, localizzazione di siti specifici, documenti e pianificazione).

Per i porti marittimi, un prelievo della stessa massa è effettuato per tipologia di attività individuata: pesca, diporto, approvvigionamento, carenaggio, messa a mare, molo, canale, etc.

Il campionamento deve garantire che sedimenti di diversa qualità non vengano mischiati tra di loro. In effetti, l'articolo R541-11-1 del Codice dell'Ambiente francese precisa che «il cambiamento di status dei rifiuti da 'pericolosi' a 'non pericolosi' non può avvenire in seguito a diluizione, in virtù di un abbassamento delle percentuali iniziali di sostanze pericolose al di sotto delle soglie che ne definiscono il carattere pericoloso».

Il decreto ministeriale del 30 maggio 2008, «che fissa le disposizioni generali applicabili alle operazioni di manutenzione dei corsi d'acqua e dei canali sottoposti ad autorizzazione o a dichiarazione, in applicazione degli articoli da L.214-1 a L. 214-6 del Codice dell'Ambiente [...]», dispone che i campioni di sedimenti devono essere rappresentativi del contesto locale. In particolare, il loro numero e le modalità di ottenimento devono essere coerenti con la superficie interessata (incluso il volume e lo spessore) e con la natura granulometrica e fisico-chimica del sedimento (omogeneità).

Al fine di assicurare la rappresentatività dei campioni da analizzare rispetto all'ambiente d'origine, si raccomanda un minimo di 3 punti di prelievo (replicati) per sito (Schivone e Coquery, 2011; Guida dragaggi VNF, 2014; Guida CEREMA, 2016). Questo permette inoltre di ottenere un volume di sedimenti sufficiente per garantire la fattibilità delle analisi fisico-chimiche e, se necessario, ecotossicologiche. È consigliato prelevare, ove possibile, diversi replicati di sedimenti della stessa natura e in quantità equivalenti. Si raccomanda inoltre di realizzare i prelievi sull'integralità dello spessore dei sedimenti da dragare per poter fare una media tra gli eventuali episodi di contaminazione verificatisi in uno stesso punto. In caso di campionamento per carotaggio, si procederà nello stesso modo, se è possibile ottenere tre carote per ogni sito, prelevando campioni elementari dallo stesso strato sedimentario omogeneo.



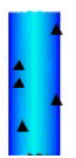




7.3.2 Campionamento

Per quanto riguarda i prelievi, la bibliografia cita i principi generali per la messa in pratica di un piano di campionamento ma non precisa le modalità operative di scelta della localizzazione dei punti di prelievo.

La localizzazione e il numero dei prelievi, in funzione della situazione del sito, devono essere stabiliti dal gestore del dragaggio. I prelievi devono essere adattati agli obiettivi dell'operazione (manutenzione, dragaggio, controllo di qualità). Al momento della realizzazione del prelievo, viene effettuata una sezione verticale dello spessore del deposito dragato 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).

La guida metodologica del CTNGS* (2001) per la caratterizzazione dei sedimenti fissa 4 tipi di strategia di prelievo in funzione dell'ambiente interessato (lineare o non lineare). Tali strategie sono adatte piuttosto ai sedimenti d'acqua dolce ma possono essere applicate anche ai sedimenti marini e degli estuari (prevalentemente provenienti da ambienti non lineari) :

AMBIENTE		DEFINIZIONE DELLE 4 STRATEGIE DI PRELIEVO
lineare	non lineare	
		Il metodo aleatorio: consiste nell'effettuare prelievi in maniera aleatoria in tutta la zona oggetto di studio. Questo metodo presuppone l'omogeneità della zona.
		Il metodo del giudizio: consiste nell'effettuare prelievi in maniera precisa nelle aree considerate pertinenti ai fini dello studio (zona d'accumulo dei sedimenti, zona di scarico o arrivo di un effluente, inizio o fine di un punto particolare, etc...), determinate durante la fase A.
		Il metodo della vagliatura, o maillage: questo metodo consiste nel distribuire i punti di prelievo in maniera regolare e omogenea in tutta la zona di studio. La grandezza della maglia è dettata dalle esigenze tecniche e finanziarie proprie di ogni studio. Per un corso d'acqua la tecnica consiste nell'effettuare almeno 3 prelievi ogni X metri: riva sinistra, riva destra e centro.
	Non applicabile	Il metodo del profilo lungo: questa strategia è utilizzata esclusivamente nel caso di corsi d'acqua di scarsa ampiezza. Si tratta di effettuare un prelievo ogni X metri lungo il corso d'acqua.

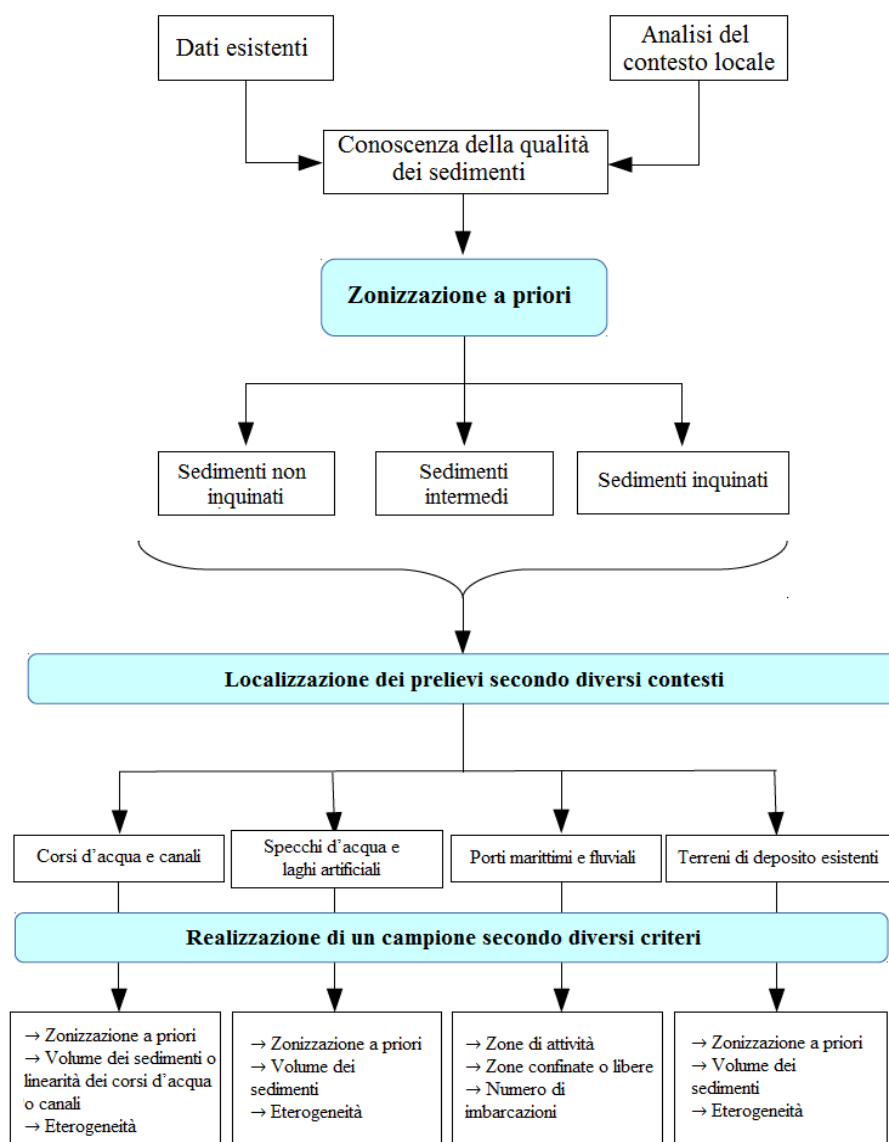
CTNGS 2001

**Il Comitato Tecnico Nazionale sulla Gestione dei Sedimenti (CTNGS) è stato creato dal Ministero dell'ambiente francese il 7 giugno 1999. Propone una gestione dei materiali provenienti dalle operazioni di pulizia e di manutenzione dei corsi d'acqua, specchi d'acqua o bacini di raccolta.*

Queste diverse strategie sono da ricollegare alle raccomandazioni della circolare del 14 giugno 2000 riguardanti il numero di campioni da prelevare relativamente ai 3 contesti identificati per i sedimenti marini o degli estuari (zone confinate, zone di scambio libero e zone portuali) e ai volumi in questione.

La scheda di raccomandazione elaborata dal GT «campionamento» condotto dal CEREMA è presentata qui di seguito. Essa riassume le tappe fondamentali ai fini della realizzazione del campionamento, basata sulla suddivisione a priori in zone, sulla localizzazione dei prelievi e sulla produzione di un campione. Questa scheda, associata ai diversi elementi operativi citati in precedenza nel presente documento, permette di stabilire il numero e la localizzazione dei campioni da prelevare per poter caratterizzare correttamente il volume dei sedimenti da dragare.

Tappe per la realizzazione di una strategia di campionamento raccomandate dal GT «campionamento» - CEREMA 2016

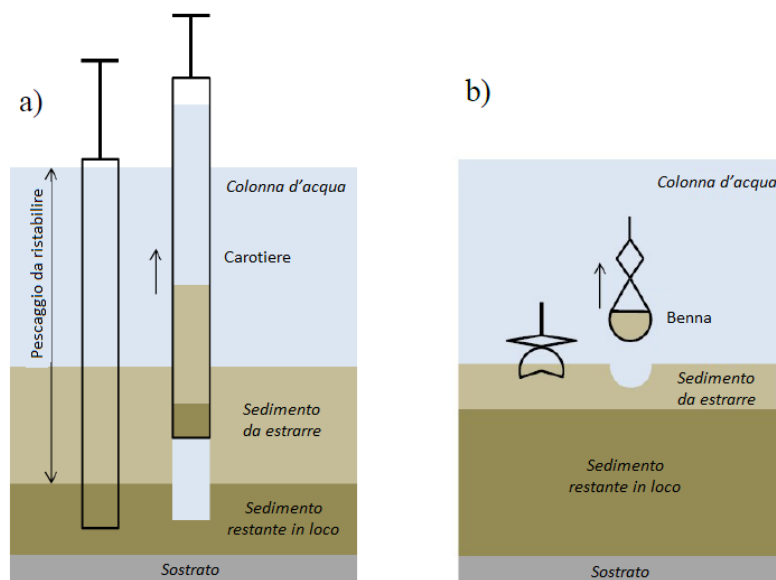


7.4) Tecniche e metodi di prelievo dei campioni di sedimenti

Dopo aver identificato il numero e la localizzazione dei campioni da prelevare, in funzione del contesto della zona da dragare, restano da definire la tecnica di campionamento e gli strumenti di prelievo da prediligere.

La tecnica di prelievo è quindi adottata in base al settore da dragare (accessibilità del sito e altezza dell'acqua), allo spessore e alla granulometria dei sedimenti da movimentare.

Le raccomandazioni relative ai lavori e alle operazioni che implicano la gestione di sedimenti acquatici potenzialmente contaminati (SDAGE Rhône Méditerranée, 2013) distinguono due tipologie di prelievo: quello sullo spessore della porzione di sedimenti (a) o quello in superficie (b):



La rappresentatività verticale dei sedimenti deve ugualmente tener conto dell'eterogeneità degli strati, nonché della suddivisione in zone (come detto in precedenza, quando possibile, si mescolano soltanto i sedimenti di natura omogenea).

Infine, è obbligatorio compilare una scheda di prelievo specifica per ciascuno dei campioni prelevati. Questa scheda deve contenere almeno:

- la localizzazione del o dei prelievi: riferimenti + coordinate GPS
- il risultato dell'analisi organolettica del materiale prelevato (es.: consistenza, colore, odore)
- la data e l'ora del prelievo
- lo strumento di prelievo utilizzato
- lo spessore prelevato nello strato dei sedimenti da dragare
- il nome dell'operatore che effettua il prelievo

Una volta determinata la tecnica di prelievo da prediligere (prelievo di superficie o carotaggio), secondo il contesto, non rimane che scegliere gli strumenti da utilizzare per il campionamento.

Come già accennato, si distingue tra il prelievo di sedimenti superficiali e quello effettuato sugli strati più profondi mediante carotaggio.

7.4.1 - Strumenti per il prelievo dei sedimenti superficiali (fonte Guida GEODE, 2016)

La benna leggera di tipo Ekman è una sorta di carotiere a forma di scatola adatto al prelievo di sedimenti coerenti (fanghi e sabbie). L'uso della benna Ekman è consigliato da Ifermer, nel quadro della DCE, nelle zone in cui la profondità non supera i 3 m. Il principale difetto di questo strumento è il rischio che, durante la risalita, il suo intero contenuto venga perso, se solo un elemento ne ostruisce la bocca. Il vantaggio sta, invece, nella sua facilità di utilizzo e, in particolare, nel fatto che può essere manovrata dalla superficie attraverso un semplice manico.

La benna pesante di tipo Shipeck è adatta ai prelievi di sedimenti incoerenti (da sabbia a ghiaia). Questa benna, che pesa intorno ai 60 kg, necessita dell'impiego di un argano meccanico. Questo tipo di benna interferisce particolarmente con il campione (non consentendo di conservare la stratificazione del sedimento) e nel manovrarla è necessaria una gran cautela per via del suo peso e della potenza delle sue molle.

La benna Van Veen è adatta al prelievo di fanghi poco profondi. Permette di effettuare prelievi su spessori che vanno dai 10 ai 30 cm, a seconda della taglia. Lo svantaggio è che lo shock al contatto può interferire con i sedimenti fini e che, alla chiusura, il prelievo modifica la struttura della colonna sedimentaria. Il contenuto d'acqua del sedimento prelevato resta tuttavia simile a quello dei materiali nel luogo d'origine.

La benna Smith-McIntyre è utile per prelevare sia sedimenti come fanghi, sia ghiaie. Questa benna necessita di un'imbarcazione adeguata, con un argano e un mezzo di espulsione di quest'ultimo. Si tratta di uno strumento particolarmente adatto per i prelievi della fauna bentonica superficiale, compreso il benthos mobile (organismi acquatici che si spostano strisciando sul fondale).

7.4.2 - Strumenti per il prelievo di carote di sedimenti (adattato dalla Guida GEODE, 2016)

I principali dispositivi impiegati per il prelievo di carote di sedimenti sono:

- i carotieri manuali per le 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.

Carotiere manuale: utilizzato in immersione, il carotiere manuale può essere affondato (manualmente, con l'aiuto di un'impugnatura, o a terra nel caso di un carotiere di metallo) in maniera più o meno rapida nel sedimento, consentendo così di ridurre la compressione. Il suo utilizzo è più facile rispetto a un carotaggio classico a bordo di un'imbarcazione (es.: carotieri a scatola e a tubo) per via della sua leggerezza e maneggevolezza. Questo strumento deve tuttavia essere adoperato da sommozzatori esperti e il suo utilizzo è limitato dalla profondità, dalla torbidezza dell'acqua e dalle correnti. Nei sedimenti incoerenti, si riduce al solo prelievo di carote che non superino i 50 cm di altezza.

Carotiere a scatola: questo strumento è particolarmente interessante perché coniuga i vantaggi della benna e quelli del carotiere, con limiti di utilizzo sufficienti per il prelievo di sedimenti ai fini dell'analisi geochimica. Si tratta di una scatola priva di fondo, a sezione quadrata (dai 20 ai 30 cm di larghezza e dai 60 agli 80 cm di altezza), da affondare per gravità nel sedimento. Questo tipo di carotiere è anche utilizzato per il prelievo di campioni in superficie. Il suo utilizzo riduce al minimo il disturbo del sedimento e consente uno studio preciso della colonna sedimentaria.

Carotiere a tubo di tipo Kullenberg: il carotiere Kullenberg permette un prelievo per gravità di carote sedimentarie di una lunghezza che può arrivare fino ai 5 m, per un diametro di 8 cm, mediante un tubo in PVC contenuto all'interno di una guaina metallica. Il punto forte di questo carotiere è la possibilità di estrarre carote profonde che permettano di ottenere un profilo verticale del compartimento sedimentario. Lo svantaggio di questa tecnica è il rischio probabile di compattamento al momento dell'introduzione del carotiere, che può modificare la struttura originale del sedimento.

Carotiere a tubo di tipo Interface (sviluppato da SHOM e IFREMER): consente il prelievo per gravità di carote sedimentarie di una lunghezza massima di 1m e di un diametro di 9 cm, mediante un tubo in plexiglas. Questo tipo di carotiere presenta il vantaggio di preservare la struttura del sedimento; l'interfaccia tra il sedimento e l'acqua del mare e quella tra il sedimento e le acque interstiziali subiscono modifiche minime.

Quando le operazioni di carotaggio realizzate ai fini dell'analisi fisico-chimica sono condivise con le operazioni svolte ai fini dell'analisi geotecnica, è importante integrare nelle specifiche tecniche determinate precauzioni per i prelievi fisico-chimici. Si tratta nello specifico di conoscere ed eliminare qualsiasi rischio di contaminazione dei campioni, o per esposizione ad agenti inquinanti esterni, o per rimaneggiamento dei materiali.

7.4.3 - Strumenti logistici associati

In generale, le benne di piccole dimensioni e i prelievi effettuati in immersione (< 10 m) richiedono strumenti in mare che sono relativamente economici (piccole imbarcazioni semi-rigide, dotate di argano senza mezzi di sollevamento di carichi pesanti). Questi strumenti sono adatti al campionamento di fondali costieri poco ampi, in particolare nelle aree portuali. Le benne di grandi dimensioni e i carotieri meccanici richiedono il supporto di imbarcazioni di grande taglia che dispongano di un albero e di un argano di sollevamento.

7.4.4 - Modalità operative per il campionamento

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.

Schiavone e Coquery (2011) precisano che la fase di omogeneizzazione dei prelievi individuali, se realizzata in loco, deve essere effettuata al riparo da fonti di contaminazione (in particolare fumo di motori o di sigaretta).

La norma NF EN ISO 5667-12 relativa al campionamento dei sedimenti precisa le seguenti modalità:

- Nel caso in cui un solo flacone debba essere riempito, i prelievi sono versati direttamente con l'aiuto di una spatola. Il materiale della spatola viene scelto appositamente per evitare la contaminazione del campione: acciaio inossidabile per i microinquinanti organici, plastica per i metalli.
- Se il flacone è abbastanza grande per contenere un campione considerato omogeneo (almeno 1l), non è necessario effettuare l'omogeneizzazione in loco.
- Se il flacone fornito dal laboratorio è ritenuto troppo piccolo per contenere un campione da considerare omogeneo, il sedimento deve essere prelevato in quantità sufficienti, versato in un contenitore che non interferisca con gli elementi da ricercare e mescolato con l'ausilio di una spatola. Il materiale della spatola è scelto appositamente per evitare la contaminazione del campione. Una volta mescolato, una frazione del sedimento viene versata nel flacone (da almeno 500 ml)

- Se si devono riempire flaconi di materiali diversi (ad es.: bicchiere tinto per l'analisi dei composti organici; PE, PP o PTFE per i metalli), è necessario fare attenzione che l'omogeneizzazione sia effettuata in due contenitori diversi con l'aiuto di due spatole diverse, ciascuna di un materiale che non interferisca con il sedimento prelevato.
- Nel caso in cui si debbano riempire diversi flaconi, bisogna allora mischiare i sedimenti prelevati da diversi punti in un contenitore che non interferisca con gli agenti inquinanti da ricercare, prima di distribuirlo nei flaconi destinati all'analisi.

La norma ISO 5667-15 stabilisce che nel caso dell'analisi di composti volatili, i flaconi devono essere riempiti fino all'orlo, per prevenire il degasaggio o l'ossidazione accelerata a contatto con l'aria.

Precisiamo che il laboratorio d'analisi è responsabile dei flaconi forniti e delle consegne di confezionamento, conservazione e trasporto.

I flaconi devono essere abbastanza voluminosi in modo tale da consentire il campionamento dei sedimenti in quantità sufficienti. 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.

Inoltre, è importante :

- non utilizzare flaconi in plastica per l'analisi degli ftalati;
- utilizzare flaconi dal collo largo;
- riempire i flaconi in maniera tale da evitare che si rompano durante il congelamento.

Ciascun flacone viene etichettato con la data, il luogo di prelievo e il codice identificativo attribuito al campione (VFN 2014).

Secondo Kramer (2006) e VNF (2014), subito dopo essere stati confezionati, i campioni devono essere conservati a 4 °C e al buio. Per questo, è importante prevedere borse frigo e panetti di ghiaccio. I campioni devono essere inviati al laboratorio entro un limite massimo di 48 ore e possibilmente prima delle 24 ore dalla loro raccolta. Il Cerema (2014) suggerisce che, in alcuni casi, può essere utile avere un doppiante di ogni campione, per poter verificare dei risultati incongruenti o realizzare analisi complementari.

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).

7.5) 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

Le ricerche delle proprietà fisiche dei sedimenti è indispensabile perché consente di conoscere il comportamento dei sedimenti durante le operazioni di dragaggio e di smaltimento dei materiali, nonché di sapere se è necessario effettuare analisi chimiche e biologiche.

Il primo parametro da conoscere è ovviamente la quantità dei materiali da dragare, alla quale bisogna aggiungere:

- granulometria (percentuale di sabbia, fango, argilla), almeno fino a 63 micron e nella misura possibile fino a 2 μ m;
- percentuale di materia secca;
- densità;
- contenuto di Al su una frazione inferiore a 2 mm;
- contenuto di COT su una frazione inferiore a 2 mm.

Alla luce di questi risultati, i materiali di dragaggio possono essere esentati dalle altre fasi di analisi, qualora soddisfino uno dei 3 seguenti criteri:

1. sono composti da materiali geologici rimasti intatti fino ad allora;
2. sono quasi esclusivamente composti di sabbia, ghiaia o roccia.
3. l'ambiente nel quale si trovano è caratterizzato dall'assenza di fonti d'inquinamento apprezzabili, il che deve essere provato da analisi sui microinquinanti effettuate nei tre anni precedenti.

I materiali di dragaggio che non rispondono a nessuno dei suddetti criteri devono essere sottoposti a una caratterizzazione più articolata, per poterne constatare gli effetti potenziali sull'ambiente marino.

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,
- policlorobifenili (PCB) -7 congeneri.

Le soglie sono indicate nei vari decreti citati in precedenza e riassunti nell'elaborato T.1.1.1 del progetto SEDITERRA.

A seconda dei casi (dettati dal contesto locale), può risultare opportuno valutare la presenza di nutrienti e la qualità batteriologica dei materiali.

Nutrienti: il dosaggio dell'azoto (Azoto totale Kjeldahl TKN) o del fosforo totale (TP), deve essere previsto qualora i materiali siano estratti o versati in zone sensibili all'eutrofizzazione (ad es.: ambienti confinati quali porti, baie a scarso rinnovo idrodinamico, laguna litoranea).

Microbiologia: la conta dei batteri che testimoniano la contaminazione fecale (*Escherichia coli*, enterococchi intestinali) viene effettuata nel caso in cui i materiali estratti possono arrecare danni alla salubrità di zone di molluschicoltura, di acquicoltura o di balneazione.

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 anche una caratterizzazione biologica, oltre a quella fisico-chimica.

L'analisi biologica, adattata al grado di contaminazione dei materiali da dragare, deve essere effettuata su specie rappresentative che siano sufficientemente sensibili alla potenziale tossicità dei sedimenti (es.: test Ifremer su larve d'ostrica e di riccio, sviluppo embrionale di uova fecondate di bivalve, inibizione della luminescenza di *Vibrio fischeri*, etc.) e deve permettere di determinare la tossicità acuta e cronica (es.: test ecotossico HP14 - BRGM), nonché il rischio di bioaccumulo.

La scelta dei metodi d'analisi biologica verterà preferibilmente su metodi già esistenti, standardizzati e approvati. Può risultare utile completare l'analisi con delle osservazioni delle comunità bentoniche in loco.

Infine, sempre in funzione del contesto locale e delle informazioni disponibili, possono essere raccomandate analisi complementari sui sedimenti da dragare, come per esempio la misurazione della radioattività, la ricerca di sostanze chimiche specifiche (pesticidi, diossine, etc.), e così via.

BILANCIO

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 (cf. Inchiesta dragaggi CEREMA, 2017), 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, rientrando così nell'ambito della normativa specifica (es.: Direttiva quadro 2008/98/CE sui rifiuti del 19 novembre 2008, recepita in Francia con l'ordinanza n. 2010-1579 del 17 dicembre 2010).

N.B. : Precisiamo che, nel contesto della gestione marina dei sedimenti, la Circolare del 4 luglio 2008, relativa alle procedure riguardanti la gestione dei sedimenti durante lavori od operazioni che implicano il dragaggio o la pulizia di fondali marini o fluviali, permette di individuare «il diritto applicabile alle tecniche di risospensione e/o di immersione, la possibilità di commercializzare i materiali in eccesso e le relative procedure applicabili, così come le procedure applicabili in caso di materiali in eccedenza non commercializzabili e di previsione di una gestione terrestre».

7.6) Gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio

7.6.1 Quadro normativo

Il quadro normativo associato alla gestione terrestre dei sedimenti di dragaggio è già stato trattato nel secondo capitolo dell'elaborato T.1.1.1 del progetto SEDITERRA, intitolato: «Sintesi normativa e governance della gestione dei sedimenti di dragaggio marini e degli estuari».

La cosa più importante da ricordare è che il fine ultimo è quello di classificare i sedimenti secondo la normativa sui rifiuti, in modo tale da poter definire soluzioni e possibilità di gestione a terra.

Secondo la lista europea dei rifiuti, contenuta nell'allegato II dell'articolo L. 541-8 del Codice dell'Ambiente, i sedimenti (o fanghi) di dragaggio fanno riferimento a una delle seguenti rubriche:

- **17 05 05***: fanghi di dragaggio contenenti sostanze pericolose
- **17 05 06**: fanghi di dragaggio diversi da quelli previsti dalla rubrica 17 05 05

Tali rubriche, dette “entrées miroirs” si riferiscono ai rifiuti per i quali non esistono criteri sistematici di distinzione tra lotti pericolosi e non pericolosi. Di conseguenza, al fine di determinare lo status di rifiuti pericolosi o non pericolosi di ciascun deposito gestito a terra, è necessario verificare le 15 caratteristiche di pericolo elencate nell'allegato I dell'articolo L. 541-8 del Codice dell'Ambiente (da HP1 a HP15).

Le caratteristiche di pericolo sono:

HP1	Esplosivo
HP2	Comburente
HP3	Infiammabile
HP4	Irritante
HP5	Tossicità specifica per organi bersaglio (STOT)/Tossicità in caso di aspirazione
HP6	Tossicità acuta
HP7	Cancerogeno
HP8	Corrosivo
HP9	Infettivo
HP10	Tossico per la riproduzione
HP11	Mutageno
HP12	Liberazione di gas a tossicità acuta
HP13	Sensibilizzante
HP14	Ecotossico
HP15	Rifiuto che non possiede direttamente una delle caratteristiche di pericolo summenzionate ma può manifestarla successivamente

Le proprietà HP1, HP2, HP3, HP4, HP12, e HP14 vengono valutate attraverso test specifici (es. protocollo HP14). **Si noti che i sedimenti non sono interessati dalle caratteristiche HP1, HP2 e HP3.**

Le proprietà HP4, HP5, HP6, HP7, HP8, HP10, HP11 et HP13 vengono valutate confrontando i contenuti presenti nei sedimenti con i valori limite stabiliti dall'Ineris e dal Cerema, nell'ambito del gruppo di lavoro “Valutazione del pericolo dei sedimenti” (si veda tabella in fondo).

Infine, le caratteristiche HP9 e HP15, per il momento, non hanno alcun metodo di valutazione. La classificazione del rifiuto sedimento secondo queste caratteristiche di pericolo si basa sulla conoscenza del rifiuto e della sua origine.

Sintesi delle soglie proposte dal GT1 - Valutazione del pericolo - INERIS/CEREMA per la valutazione della caratteristica di pericolo dei sedimenti, secondo le proprietà HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11 e HP 13

	SOGLIE PROPOSTE INDIVIDUALI (mg/kg)	SOGLIE PROPOSTE RAGGRUPPATE (mg/kg)
Arsenico	330	330
Cadmio	530	530
Cromo VI	250	250
Rame	4000	4000
Mercurio	500	500
Nickel	130	130
Piombo	510 ^(*)	510 ^(*)
Zinco	7230	7230
PCB 28	50 per la somma dei 7 congeneri	50 per la somma dei 7 congeneri
PCB 52		
PCB 101		
PCB 118		
PCB 138		
PCB 153		
PCB 180		
Naftalene	10000	500 per la somma dei congeneri
Acenaftilene	500	
Fenantrene	50000	
Fluorantene	50000	
Benzo(a)antracene	1000	
Crisene	1000	
Benzo(b)fluorantene	1000	
Benzo(k)fluorantene	1000	
Benzo(a)pirene	1000	
Dibenzo(a,h)antracene	1000	
Indeno(1,2,3-cd)pirene	10000	
Tributiletano	3000	3000

La determinazione del carattere ecotossico HP14 deve essere effettuata a norma di legge soltanto quando **un solo parametro supera i livelli di riferimento S1 associati al sedimento**. Le soglie S1, indicate nel decreto del 9 agosto 2006, sono elencate nella seguente tabella :

Livelli S1 relativi agli elementi e composti presenti nel sedimento

(in mg/kg di sedimento secco analizzato su una frazione inferiore a 2mm)

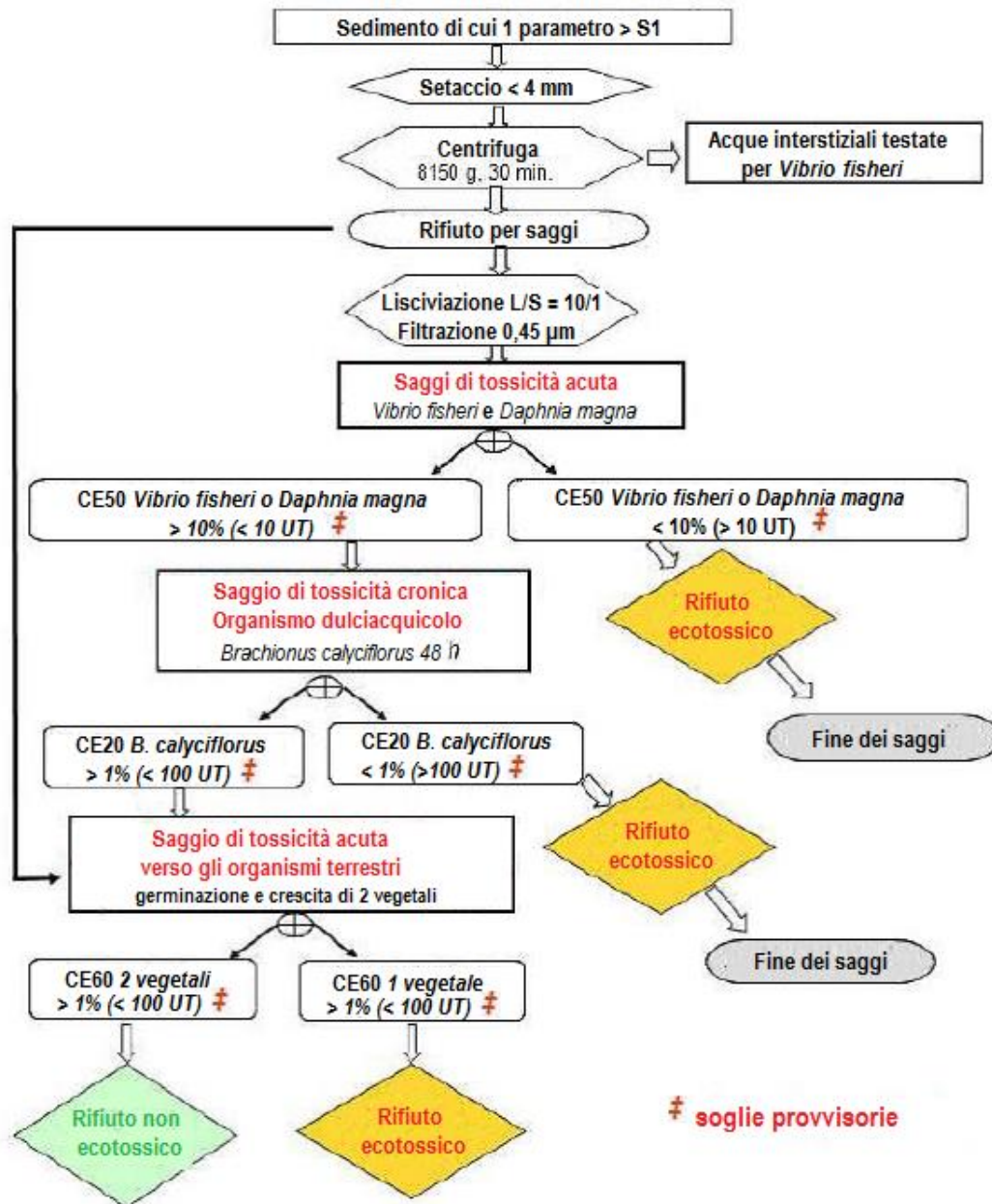
PARAMETRI	LIVELLO S1
Arsenico	30
Cadmio	2
Cromo	150
Rame	100
Mercurio	1
Nickel	50
Piombo	100
Zinco	300
PCB totali	0,680
IPA totali	22,800
TBT	0.1 (livello N1)

Tratto da «decreto del 9 agosto 2006, relativo ai livelli 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».

Il protocollo del test HP14 da applicare ai sedimenti destinati alla gestione terrestre è riportato di seguito, a titolo informativo.

Non appena si riscontra una risposta ecotossica, il sedimento viene automaticamente classificato come «rifiuto pericoloso».

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

Se il rifiuto sedimentato non risponde a nessuna delle caratteristiche di pericolo, viene classificato come “non pericoloso” (art. R.541-8 del Codice dell'Ambiente).

Un sedimento sarà considerato inerte qualora rispetti i contenuti complessivi e di lisciviazione definiti nel decreto del 28 ottobre 2010 relativo agli impianti di stoccaggio di rifiuti inerti (abrogato dal decreto del 12/12/2014).

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 (carbonio 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

Se il sedimento non rispetta i valori stabiliti, sarà classificato come rifiuto **non inerte**. Si noti che i sedimenti di origine marina non possono essere inclusi nella categoria dei rifiuti inerti, per via della loro natura e del loro contenuto di sali (cloruri e solfati).

7.6.2 Stoccaggio definitivo del rifiuto sedimento

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 (smaltito) in impianti di stoccaggio dei rifiuti (ISD).

In Francia esistono tre principali tipologie di impianti di stoccaggio dei rifiuti:

- 1) **ISDI**: impianti di stoccaggio di rifiuti inerti (discarica di 3^a classe, ≈25€/t)
- 2) **ISDND**: impianti di stoccaggio di rifiuti non pericolosi (discarica di 2^a classe, ≈85€/t)
- 3) **ISDD**: impianti di stoccaggio di rifiuti pericolosi (discarica di 1^a classe, ≈135€/t)

N.B. A questi costi (riportati solo a titolo indicativo), si aggiunge la Tassa Generale per le Attività Inquinanti (TGAP). Questa tassa si applica per ogni tonnellata di sedimenti inviata all'impianto di stoccaggio. Nel 2018, la tassa è stata fissata a 33€/tonnellata per i rifiuti classificati come non pericolosi.

Ciascun impianto di stoccaggio dei rifiuti dispone di criteri d'ammissione propri, basati su una valutazione del contenuto totale e lisciviabile del rifiuto (decreto del 12/12/2014 relativo allo stoccaggio dei rifiuti inerti).

N.B.: L'articolo 6 del decreto del 12/12/2014, prevede un adattamento normativo: «*Riguardo agli impianti di stoccaggio dei rifiuti inerti di cui alla rubrica 2760 (stoccaggio definitivo di rifiuti sedimenti), a seguito di una giustificazione privata e sulla base di uno studio che mira a caratterizzare il comportamento di una quantità precisa di un certo rifiuto all'interno di un determinato impianto di stoccaggio e quindi il suo potenziale impatto sull'ambiente e la salute, i valori limite da rispettare per i rifiuti di cui all'allegato II possono essere adattati mediante decreto prefettizio. Tale adattamento potrà essere utilizzato, in particolare, per permettere lo stoccaggio dei rifiuti la cui composizione corrisponde al fondo geochimico locale. In ogni caso, i valori limite sulla lisciviazione contenuti nel decreto non possono superare **di un fattore 3** i valori limite menzionati nell'allegato II. L'adattamento dei valori limite non può interessare il valore del carbonio organico totale su eluato. Per quanto riguarda il contenuto totale, solo il valore limite relativo al carbonio organico totale può essere modificato nei limiti di un fattore 2.*»

Questo tipo di impianti di stoccaggio di rifiuti inerti «adattati» prende il nome di ISDI+.

Per gli impianti di stoccaggio dei rifiuti non pericolosi (ISDND) e pericolosi (ISDD), alcuni criteri di accettazione (ovvero 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. Quest'ultima non è stata recepita nel diritto francese con un testo normativo ma funge da riferimento nella pratica.

Inoltre, dal 15 febbraio 2016 esiste un decreto normativo che inquadra specificamente gli impianti di stoccaggio dei rifiuti di sedimenti. Tale decreto fissa le prescrizioni tecniche applicabili agli impianti monospecifici di stoccaggio dei rifiuti di sedimenti (rubrica 2760 della nomenclatura ICPE), che sono simili a quelli di stoccaggio dei rifiuti non pericolosi, ma adattati ai rifiuti di sedimenti di dragaggio, ricchi di acqua per natura.

Il decreto apre anche alla possibilità di immagazzinare i sedimenti di dragaggio pericolosi negli stessi impianti in cui si conservano i sedimenti non pericolosi, ma in contenitori dedicati (JORF n. 0070 del 23 marzo 2016 testo n. 4).

Il decreto attuale si applica agli impianti di stoccaggio di rifiuti di sedimenti, che questi provengano da una o più operazioni di dragaggio.

Non sono assoggettati alle disposizioni del presente decreto:

- gli impianti di stoccaggio esclusivo di rifiuti inerti
- gli impianti in cui i rifiuti di sedimenti vengono immagazzinati per una durata inferiore a un anno, se sono destinati allo smaltimento
- gli impianti in cui i rifiuti di sedimenti non pericolosi vengono immagazzinati per una durata inferiore a tre anni, se sono destinati al reimpiego

Criteri da rispettare per l'accettazione dei rifiuti di sedimenti pericolosi

Parametri	Valori limite da rispettare (mg/kg di rifiuto secco)
SUL CONTENUTO TOTALE	
COT	50 000
SUL LISCIVIATO OTTENUTO DAL SAGGIO DI LISCIVIAZIONE NF EN 12457-2	
As	2
Ba	100
Cd	1
Cr totale	10
Cu	25
Hg	0,2
Mo	10
Ni	10
Pb	10
Sb	0,7
Se	0,5
Zn	50
Cloruro	15 000
Fluoruro	150
Solfato	20 000
COT su eluato	800
Frazione Solubile (FS)	60 000

7.6.3 Impianti classificati per l'ambiente (ICPE)

Il decreto n. 2010-369 del 13 aprile 2010 dispone che lo stoccaggio e il trasporto dei sedimenti gestiti a terra sono regolamentati ai sensi della legislazione 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 al loro recupero, anche qualora essi vengano affidati a terzi.

È inoltre responsabile della tracciabilità delle diverse operazioni effettuate su di essi (per esempio: detenzione di un CAP - certificato di accettazione preventiva, o produzione di un BSD - bolla di accompagnamento dei rifiuti).

Precisiamo che nel momento in cui il deposito di rifiuti sedimenti 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, nei quali vengono effettuate le seguenti operazioni:

- 1) smistamento, trasporto e raggruppamento
- 2) trattamento
- 3) stoccaggio definitivo

Numeri di rubrica ICPE per i sedimenti gestiti a terra

(Fonte: DREAL NPdC – 2012)

Caratteristiche dei sedimenti	Attività	N° di rubrica ICPE
	Transito	pulverulento 2516 ¹
		non pulverulento 2517
	Macinazione, frantumazione, vagliatura, setacciatura, etc.	2515
	Stoccaggio	L541-30-1 ²
	Sedimento non pericoloso	Transito
Stoccaggio		2760-2
Trattamento termico		2771
Trattamento non termico		2791
Sedimento pericoloso	Transito	2717/2718
	Stoccaggio	2760-1
	Trattamento termico	2770
	Trattamento non termico	2791

1. Un sedimento è considerato pulverulento se il suo passante a 63 µm è superiore al 90%

2. L'istruzione delle richieste di autorizzazione allo sfruttamento degli impianti di stoccaggio dei rifiuti inerti e il controllo dei suddetti impianti sono di competenza della direzione dipartimentale dei territori e del mare.

7.6.4 Trattamento 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 rifiuto sedimentato 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 (per esempio da una classe 1 -ISDD a una classe 2 -ISDND); oppure quello di isolare determinate frazioni specifiche del rifiuto per limitare i volumi da immagazzinare e incrementare la parte recuperabile.

Precisiamo che la normativa francese autorizza le operazioni di recupero soltanto per sedimenti classificati come rifiuti non pericolosi. Di conseguenza, il reimpiego di sedimenti classificati come rifiuti pericolosi è vietato e l'unico sbocco possibile è lo stoccaggio.

Inoltre, la direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE) stabilisce che «il recupero dei rifiuti rappresenta **la filiera di gestione prioritaria**; la loro soppressione è da considerarsi soltanto nel caso in cui non esistano soluzioni alternative». Perciò sarà necessario dar precedenza alle operazioni che permettono di recuperare totalmente, o almeno in parte, il sedimento.

Perciò, un sedimento inizialmente classificato come rifiuto pericoloso potrà essere valorizzato almeno parzialmente, qualora in seguito a un'operazione di pretrattamento la frazione pericolosa sia stata isolata e separata dalla quella 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.

7.6.5 - Filiere di recupero disponibili per i sedimenti di dragaggio

In questa parte verrà proposto un riassunto delle principali filiere di recupero disponibili in Francia. Questo riassunto fa riferimento (tra i tanti) alla guida tematica «Filiere di gestione terrestre» (Vernus et al., 2013) elaborata nell'ambito del progetto di capitalizzazione Cap-Sédiments, anch'esso parte integrante del progetto SEDITERRA.

Le principali filiere di recupero dei sedimenti di dragaggio sono le seguenti:

9. ripascimento dei litorali
10. opere pubbliche marittime - rinforzamento degli argini
11. tecniche stradali
12. ingegneria civile - materiali da costruzione
13. architettura del paesaggio (creazione di spazi naturali, terrapieni scoperti, etc.)
14. recupero di cave - riempimento di cavità del suolo
15. spargimento agricolo
16. copertura di impianti di stoccaggio di rifiuti

Precisiamo che per ogni 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);
- rispettare le guide e gli standard di riferimento propri di ciascuna filiera;
- assicurare la tracciabilità dei sedimenti recuperati.

- ***Ripascimento dei litorali***

Le spiagge sono soggette a fenomeni di erosione naturale (onde, vento, piogge) e di degradazione antropica (architettura del paesaggio, costruzioni) che provocano una riduzione del loro spessore e il ritiro del tratto costiero. La quantità di materiale necessario per la gestione dell'erosione costiera è elevata: tra le 2 e le 3 tonnellate di sabbia all'anno a livello nazionale (Fonte: Grenelle de la Mer, 2006). In Francia esistono 2500 km di spiagge e dune, di cui il 48% sono in via di erosione e soltanto il 10% in crescita (Le Guern et al, 2004). Le sabbie di dragaggio possono essere reimpiegate in questa filiera, a condizione che le loro caratteristiche siano compatibili con questo tipo di recupero, ovvero assenza di contaminazioni, granulometria (contenuto di sabbia > del 75%) e colore adeguati alla spiaggia da ripascere.

Il ripascimento costiero è oggetto di regolamentazioni di varia natura. Intervengono sia le parti legate alla normativa sulle risorse idriche del Codice dell'Ambiente (procedure di dichiarazione e autorizzazione, con o senza studio d'impatto e indagine pubblica, imposte per le operazioni di entità superiore ai 10000 m³), sia il Codice per il Piano Urbanistico riguardante il permesso di stazionamento o di occupazione del Demanio Pubblico Marittimo (DPM).

Precisiamo che il fascicolo di dichiarazione o di autorizzazione, necessario ai fini dell'autorizzazione del dragaggio, ai sensi della normativa sulle risorse idriche, deve indicare anche la destinazione dei sedimenti dragati. Di conseguenza, la procedura regolamentare che precede l'operazione di ripascimento, sarà stata già approvata a monte.

Per questa filiera, i sedimenti da recuperare devono essere classificati come inerti (secondo il decreto del 28 ottobre 2010, sostituito dal decreto del 12 dicembre 2014) o essere oggetto di uno studio specifico in virtù della norma NF EN 12920 + A1.

- ***Opere pubbliche marittime - rinforzamento degli argini***

L'utilizzo di sedimenti marini (o fluviali) in quanto materiali alternativi di costruzione (rockfill, dighe, rinforzamento degli argini) nelle opere pubbliche marittime è una prospettiva di recupero molto interessante (tra gestione acquatica e terrestre).

Infatti, la parte sabbiosa dei sedimenti potrebbe essere integrata nella fabbricazione di cemento (o malta) da impiegare nella realizzazione delle opere. Inoltre, il problema del rilascio di sali (cloruri e solfati), legato alla natura marina dei sedimenti da recuperare, sarebbe qui una difficoltà meno problematica rispetto ad un recupero terrestre, molto più suscettibile alla salinità. Infine, i volumi potenzialmente recuperabili in questa filiera sono consistenti, il che la rende ancora più interessante. Se da un lato esistono delle norme per la verifica delle caratteristiche tecniche dei materiali prodotti, dall'altro non c'è alcuna regolamentazione che inquadri specificamente questa filiera di recupero.

I sedimenti da valorizzare devono essere classificati come **inerti** (decreto del 28 ottobre 2010 - sostituito dal decreto del 12 dicembre 2014), o almeno **rispettare le soglie accettabili per l'immersione** (soglie GEODE S1 o N2 - decreto del 9 agosto 2006).

Anche le acque emesse dall'opera di recupero devono rispettare le raccomandazioni in materia di rifiuti nelle acque di superficie, fissati nell'articolo R214-1, alla rubrica 2.2.3.0, del Codice dell'Ambiente e, in particolare, le soglie R1 e R2 di qualità dei rifiuti nelle acque di superficie definite nel decreto del 9 agosto 2006.

Il Ministero francese della Transizione Ecologica e Solidale, per rispondere alla posta in gioco dello sviluppo sostenibile e rispettare le raccomandazioni della Direttiva quadro sui rifiuti (2008/98/CE) e della legge n. 2015/992 del 17 agosto 2015, relativa alla transizione energetica per la crescita verde, fa di questa prospettiva di recupero un asse di riflessione principale. In quest'ottica, un gruppo di lavoro è stato incaricato di redigere una guida metodologica nel 2018.

- ***Tecniche stradali***

Il reimpiego dei sedimenti nelle tecniche stradali include diversi utilizzi:

- negli strati sottostanti alla carreggiata o alle corsie d'emergenza, rivestiti da uno strato superficiale considerato impermeabile (asfalto, conglomerati bituminosi, calcestruzzo, lastricati), che presenti una pendenza minima dell'1 %: terrapieno sottostante, strato di forma, fondazione, strato di base e binder
- nei terrapieni artificiali connessi all'infrastruttura stradale o alle corsie di emergenza (*ecomodelé* - protezione acustica), quando si tratta di riutilizzi in strati ricoperti da almeno 30 cm di materiali naturali (tra cui terriccio) con una pendenza minima del 5 % al di sopra di questa copertura, al fine di limitare le infiltrazioni d'acqua
- impieghi in strati non rivestiti o non ricoperti: manto stradale, strato sottostante la carreggiata o la corsia di emergenza, terrapieni artificiali connessi all'infrastruttura stradale o alle corsie di emergenza non rivestiti, terrapieni per il precarico necessario alla costruzione di un'infrastruttura stradale, sistemi di drenaggio (canali di scolo o speroni drenanti).

Questa filiera consuma grandi quantità di materiali (200 milioni di tonnellate di granulati utilizzati annualmente nella costruzione delle strade francesi, provenienti principalmente dallo sfruttamento delle cave). La sostituzione delle materie prime classiche con i sedimenti offre un'importante possibilità di recupero di questi ultimi.

I materiali più richiesti sono:

- materiali con scarse esigenze, consumati in grandi quantità nei terrapieni o negli *ecomodelé*
- granulati che devono rispondere a specifiche diverse secondo il posto che occupano nella struttura stradale e le tecniche di trattamento utilizzate

Per poter essere riutilizzati nelle tecniche stradali, i sedimenti **devono essere classificati come inerti o non pericolosi**.

Esistono diversi standard o guide di applicazione che vengono in aiuto agli appaltatori. Le principali sono elencate di seguito.

→ La GTR (*Guide des Terrassements Routiers*, o guida dei terrazzamenti stradali), elaborata dall'ufficio di studi sui trasporti, le strade e l'architettura del paesaggio (*Service d'Etude sur les Transports, les Routes et leurs Aménagement*, o SETRA, 1992) è il documento di riferimento per la classificazione dei materiali utilizzabili nei terrapieni e nel sottofondo stradale.

Questa guida tratta tre aspetti: la classificazione specifica dei materiali (secondo 3 parametri: natura, stato e comportamento meccanico), le modalità di applicazione dei materiali secondo l'utilizzo interessato (terrapieno o strato di fondo), le modalità pratiche di esecuzione della compattazione.

→ La guida «Accettabilità di materiali alternativi nelle tecniche stradali - Valutazione ambientale» - SETRA, marzo 2011, è il documento al quale far riferimento per il quadro metodologico da seguire per l'integrazione di materiali alternativi nelle tecniche stradali.

→ La guida tecnica «Trattamento dei terreni con calce e/o leganti idraulici - Applicazione per la realizzazione di fondi stradali» - SETRA/LCPC, gennaio 2000.

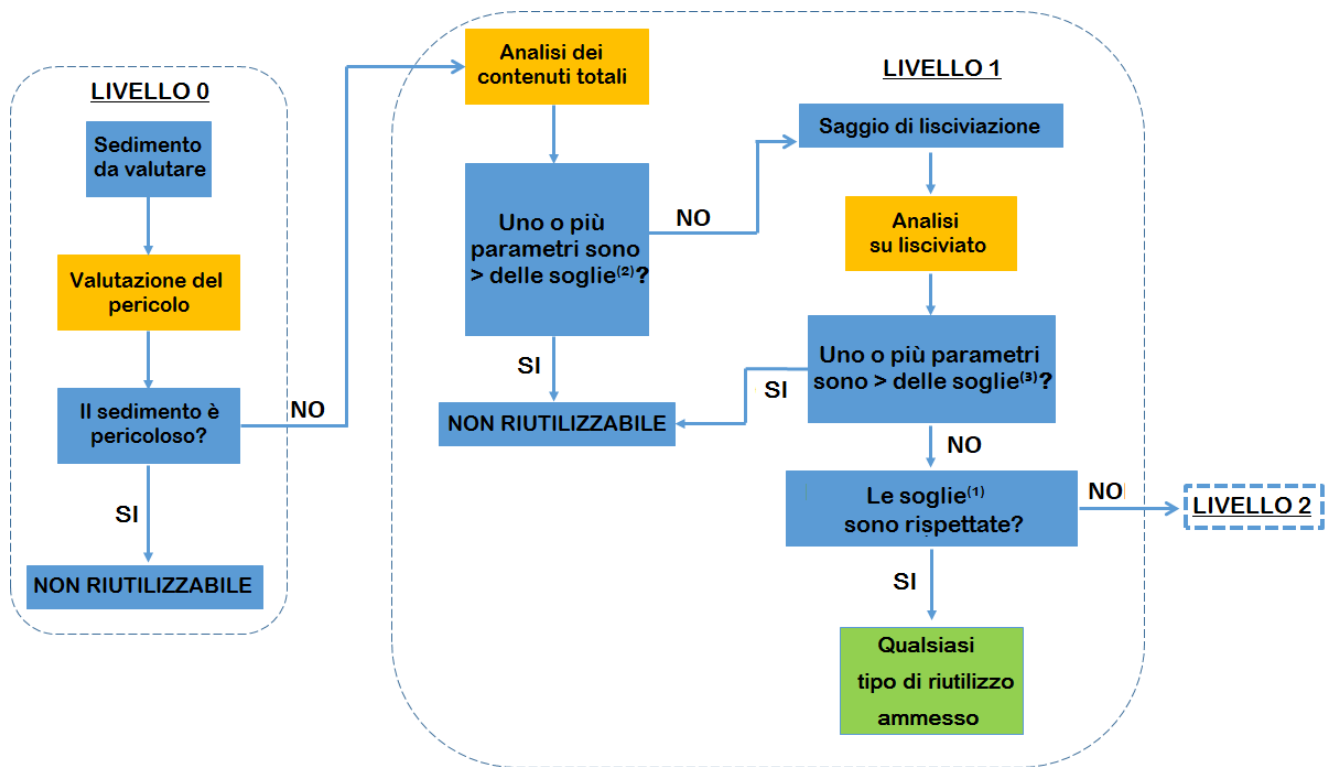
→ La guida tecnica «Trattamento dei terreni con calce e/o leganti idraulici - Applicazione per la realizzazione di terrapieni e sottofondi stradali» o «GTS» - SETRA/LCPC, gennaio 2000.

Per quanto riguarda la valutazione ambientale descritta nella guida SETRA del marzo 2011, ai fini del recupero del rifiuto sedimento, è indispensabile avviare un processo preliminare da svolgersi in tre tappe: 1. descrizione del rifiuto e del suo deposito di provenienza; 2. descrizione del materiale alternativo, di quello stradale e dell'utilizzo previsto; 3. caratterizzazione ambientale del materiale alternativo e del materiale stradale.

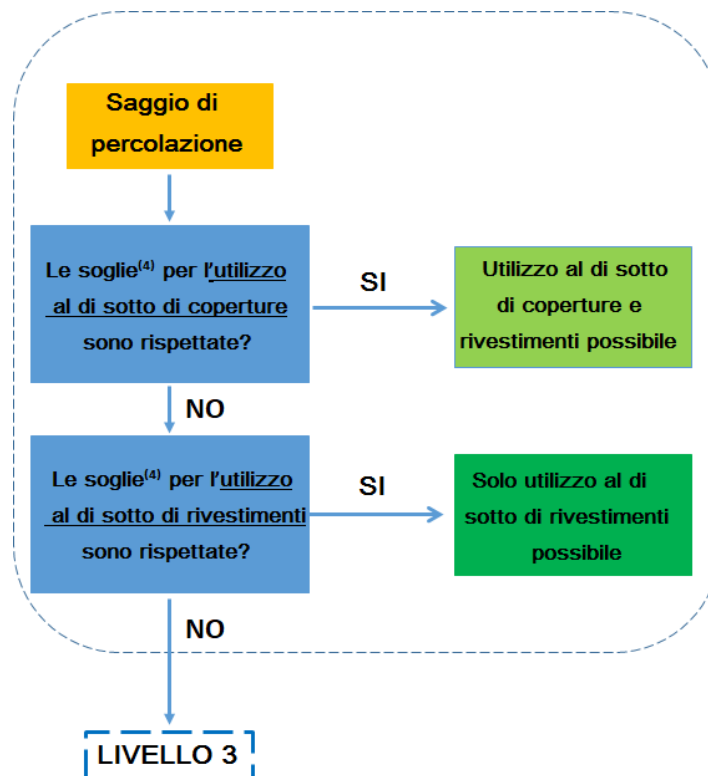
La caratterizzazione ambientale (terza tappa) è basata, essa stessa, su una valutazione a più livelli, di cui i primi due (0 e 1) sono obbligatori:

- **Livello 0** - prerequisito indispensabile: caratterizzazione del rifiuto sedimento e valutazione del pericolo
- **Livello 1:** analisi dei contenuti totali e lisciviabili (saggio di lisciviazione ai sensi della norma NF EN 12457-2 o 4)
- **Livello 2:** saggio di percolazione (secondo la norma NF CEN/TS 14 405) e analisi dei percolati
- **Livello 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.).

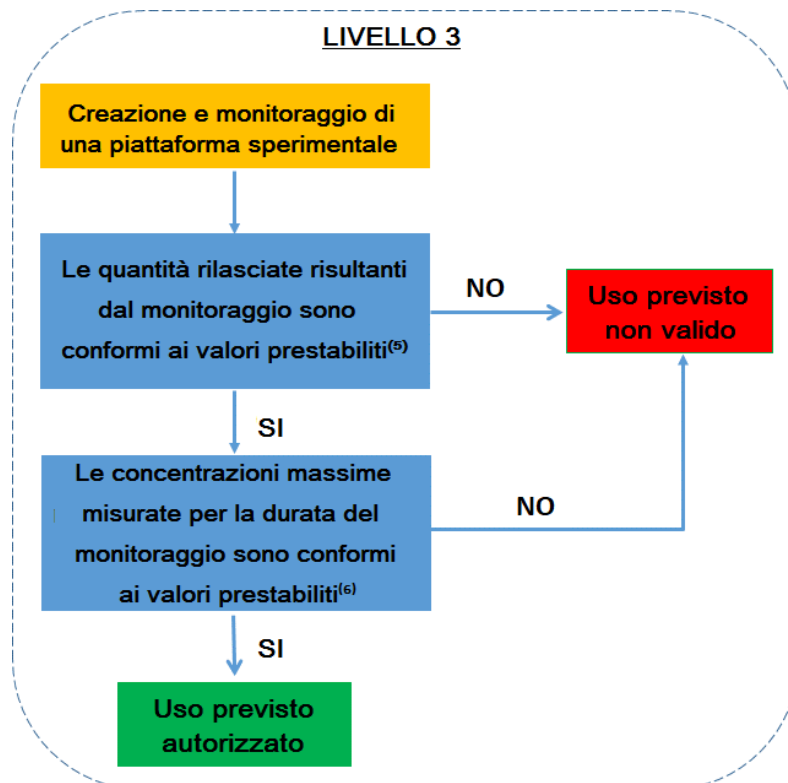
Sulla base delle raccomandazioni della guida SETRA del 2011, abbiamo rappresentato nei seguenti schemi il percorso regolamentare da seguire per approvare l'utilizzo dei sedimenti nelle tecniche stradali. I valori limite da non superare sono ugualmente indicati di seguito.



- (1) Guida SETRA 2011 – Tabella 3: valori limite di lisciviazione che giustificano qualsiasi tipo di riutilizzo previsto dalla presente guida
 (2) Guida SETRA 2011 – Tabella 4: valori limite dei contenuti totali per poter riutilizzare il sedimento nelle tecniche stradali
 (3) Guida SETRA 2011 – Tabella 5: valori limite di lisciviazione per poter riutilizzare il sedimento nelle tecniche stradali



- (4) Guida SETRA 2011 – Tabella 6: valori limite di percolazione che giustificano determinati riutilizzi del sedimento previsti dalla presente guida



(5) Guida CEREMA, 2015 – Tabella 1 – Accettabilità delle emissioni globali

(6) Guida CEREMA, 2015 – Tabella 2 – Concentrazione delle emissioni

Parametro	Quantità rilasciata accumulata a LS/S = 10 l/kg (saggio di lisciviazione NF EN 12457-2 o NF EN 12457-4)		
	Insieme dei valori da rispettare per almeno l'80 % dei campioni (mg/kg di materiale secco)	Insieme dei valori da rispettare per almeno il 95 % dei campioni (mg/kg di materiale secco)	Insieme dei valori da rispettare per il 100 % dei campioni (mg/kg di materiale secco)
As	0,5	1	1,5
Ba	20	40	60
Cd	0,04	0,08	0,12
Cr totali	0,5	1	1,5
Cu	2	4	6
Hg	0,01	0,02	0,03
Mo	0,5	1	1,5
Ni	0,4	0,8	1,2
Pb	0,5	1	1,5
Sb	0,06	0,12	0,18
Se	0,1	0,2	0,3
Zn	4	8	12
Fluoruri	10	20	30
Cloruri ^(*)	800	1 600	2 400
Solfati ^(*)	1 000	2 000	3 000
Frazione solubile ^(*)	4 000	8 000	12 000

Tabella 3: valori limite di lisciviazione che giustificano qualsiasi tipo di riutilizzo previsto dalla presente guida

Parametro	Insieme dei valori da rispettare per almeno l'80 % dei campioni (mg/kg di materiale secco)	Insieme dei valori da rispettare per il 100 % dei campioni (mg/kg di materiale secco)
COT (*)	30 000	60 000
BTEX (Benzene, toluene, etilbenzene e xilene)		6
PCB (Policlorobifenili, 7 congeneri) Congeneri n.28, 52, 101, 118, 138, 153 e 180		1
HCT (Idrocarburi totali, da C10 a C40) ^(*)		500
IPA (Idrocarburi policiclici aromatici) ^(*)		50
Diossine e furani	10 ng I-TEQ _{OMS, 2005} /kg materiale secco	

Tabella 4: valori limite dei contenuti totali per poter riutilizzare il sedimento nelle tecniche stradali

Parametro	Quantità rilasciata accumulata a LS/S = 10 l/kg (saggio di lisciviazione NF EN 12457-2 o NF EN 12457-4)
	Valore (mg/kg di materiale secco)
As	2
Ba	100
Cd	1
Cr totali	10
Cu	50
Hg	0.2
Mo	10
Ni	10
Pb	10
Sb	0.7
Se	0.5
Zn	50
Fluoruri	150
Cloruri ^(*)	15 000
Solfati ^(*)	20 000
Frazione solubile ^(*)	60 000

Tabella 5: valori limite di lisciviazione per poter riutilizzare il sedimento nelle tecniche stradali

Parametro	Situazione «substrato di carreggiata o corsia di emergenza rivestiti ^(*) »	Situazione «terrapieno tecnico o corsia d'emergenza rivestiti ^(*) »
	Quantità rilasciata accumulata a LS/S = 10 l/kg (saggio di percolazione NF CEN/TS 14405) Valore (mg/kg di materiale secco)	Quantità rilasciata accumulata a LS/S = 10 l/kg (saggio di percolazione NF CEN/TS 14405) Valore (mg/kg di materiale secco)
As	0,8	0,5
Ba	56	28
Cd	0,32	0,16
Cr totali	4	2
Cu	50	50
Hg	0,08	0,04
Mo	5,6	2,8
Ni	1,6	0,8
Pb	0,8	0,5
Sb	0,4	0,2
Se	0,5	0,4
Zn	50	50
Fluoruri	60	30
Cloruri	10 000	5 000
Solfati	10 000	5 000

Tabella 6: valori limite di percolazione che giustificano determinati riutilizzi del sedimento previsti dalla presente guida

Fonte: «Accettabilità di materiali alternativi nelle tecniche stradali» - Soglie per la valutazione del livello 1 e 2 - SETRA 2011

Parametro	Quantità superficiale rilasciata e accumulata	
	Valore (mg/m ²)	
As	10	} X $\min(d; \frac{P_{eff}}{P_{ref}})$
Ba	700	
Cd	4	
Cr totali	50	
Cu	625	
Hg	1	
Mo	70	
Ni	20	
Pb	10	
Sb	5	
Se	6	
Zn	625	
Fluoruro	750	
Cloruro	125 000	
Solfati	125 000	

d è la durata del monitoraggio (an)
P_{eff} è la pioggia efficace misurata per la durata del monitoraggio (mm)
P_{ref} è la pioggia efficace annuale di riferimento che ha un valore di:

- 100 mm/an in caso di utilizzo sotto rivestimento
- 300 mm/an in caso di riutilizzo sotto copertura

Tabella 1: accettabilità delle emissioni globali

Parametro	Concentrazione massima	
As	0.3	
Ba	20	
Cd	0.3	
Cr totale	2.5	
Cu	30	
Hg	0.03	
Mo	3.5	
Ni	3	
Pb	3	
Sb	0.15	
Se	0.2	
Zn	15	
Fluoruro	40	
Cloruro	8 500	
Solfati	7 000	

Tabella 2: concentrazione delle emissioni

Fonte: «Supporto all'applicazione del livello 3 di caratterizzazione ambientale» - CEREMA, luglio 2015.

- **Ingegneria civile - materiali da costruzione**

Il settore delle costruzioni (BTP: *Bâtiments Travaux Publics*) è il principale utilizzatore di materie prime nel mondo, molto più dei bisogni energetici. Da oltre un secolo, l'estrazione dei materiali di costruzione si è moltiplicata per 34, mentre quella delle energie fossili per 12 (PNUE, 2011 - e Krausmann et al., 2009).

«Il cemento è, dopo l'acqua, il materiale più consumato al mondo. (...) La sabbia, elemento costituente del cemento, è la seconda materia di origine minerale estratta con dei volumi in rapida crescita e numerosi impatti ambientali e socio-economici. La penuria di questo elemento è chiaramente annunciata, allo stesso titolo di quella delle energie fossili» (Fonte: Panorama dei materiali di origine biologica - CREE 2015).

La parte sabbiosa dei sedimenti potrebbe dunque essere una nuova fonte sostenibile in sostituzione della materia prima esauribile normalmente impiegata. Si mira quindi al suo reimpiego, in qualità di granulato o sabbia fine, per la realizzazione del cemento (termine generico che designa un materiale di costruzione composto, fabbricato a partire da granulati come sabbia e ghiaia, agglomerati da un legante).

Mentre esistono diverse normative in merito all'analisi e all'approvazione delle caratteristiche tecniche degli ecomateriali elaborati (NF EN 206-1; NF P 18-201; NF P 18-545; NF EN 12 620; NF EN 13 055; NF EN 1744-1; NF EN 1744-5; etc.), la valutazione ambientale e sanitaria di questi materiali provenienti dai sedimenti non è inquadrata a livello regolamentare.

I sedimenti da recuperare devono essere classificati come **inerti** (secondo il decreto del 28 ottobre 2010 - sostituito dal decreto del 12 dicembre 2014) o **almeno non pericolosi** (in seguito a uno studio specifico, in virtù 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 (NQE - per il raggiungimento dell'obiettivo del «buon stato ecologico delle acque», stabilito dalla Direttiva Quadro sull'Acqua), o con quelli proposti dalle norme igienico-sanitarie per le acque destinate al consumo umano.

Queste diverse soglie sono elencate nel decreto del 17 dicembre 2008 (soglie di qualità per le acque sotterranee), nel decreto ministeriale del 25 gennaio 2010 (soglie di qualità per le acque di superficie), e nel decreto dell'11 gennaio 2007 (soglie di qualità delle acque grezze e delle acque destinate al consumo umano).

- **Realizzazione di terrapieni o polder - architettura del paesaggio**

A seconda dei casi, la realizzazione di terrapieni o di polder rientra nell'ambito delle rubriche 3.3.1.0 e/o 4.1.2.0 della nomenclatura dei lavori sottoposti a dichiarazione o autorizzazione, ai sensi della normativa sulle risorse idriche. Se all'interno dei terrapieni o dei polder viene creato un sistema di drenaggio, può essere necessario presentare una richiesta di dichiarazione o autorizzazione, come specificato nella rubrica 3.3.2.0 della nomenclatura IOTA. Lo scarico in mare delle acque di drenaggio può essere, eventualmente, sottoposto alle suddette procedure in virtù della rubrica 2.2.3.0 della nomenclatura IOTA (Impianti, Opere, Lavori e Architettura del paesaggio).

I sedimenti devono essere classificati come **inerti o non pericolosi** ed essere oggetto di una valutazione ambientale, in applicazione della norma NF EN 12 920 + A1 (Caratterizzazione dei rifiuti - metodologia per la determinazione del comportamento di un rifiuto in seguito a lisciviazione in determinate condizioni - novembre 2008).

La creazione di opere di architettura del paesaggio è dettata dall'altezza e dalla superficie delle opere realizzate. Secondo l'articolo R441-19 del codice del piano urbanistico francese, gli innalzamenti del suolo di superfici inferiori a 2 ettari e di altezza inferiore a 2 metri sono assoggettati ad un permesso assegnato dal sindaco del comune interessato. Quando si superano queste dimensioni è previsto, ai sensi del decreto n. 2011-2019 del 29 dicembre 2011, che le opere siano sottoposte a uno studio d'impatto, con la produzione di una valutazione quantitativa del rischio sanitario (EQRS) che dimostri che i rischi per la salute umana e per l'ambiente ricevente sono irrilevanti.

- **Recupero di cave - riempimento di cavità del suolo**

Le modalità di ammissione dei rifiuti in quanto materiali per il riempimento di cavità 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. Il decreto precisa in particolare che «il riempimento delle cavità non deve nuocere alla qualità e al buon deflusso delle acque. Se realizzato mediante l'apporto di materiali esterni (scarti di terrazzamenti, materiali di demolizione, etc...), questi devono essere selezionati a monte, in modo da garantire l'utilizzo esclusivo di materiali inerti».

Tale filiera di recupero è dunque riservata soltanto ai **sedimenti classificati come inerti** (secondo il decreto del 28 ottobre 2010, sostituito dal decreto del 12 dicembre 2014).

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 diretto dei rifiuti urbani ed industriali (come fanghi residui di depurazione, fanghi di pulizia, rifiuti dell'industria agroalimentare) è possibile, purché innocuo ed efficace a livello agronomico, ed è subordinato a procedura regolamentare di dichiarazione o autorizzazione. Necessita, altresì, di un piano di spargimento e di un controllo agronomico annuale.

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 normativa sulle risorse idriche, in funzione del volume o delle quantità di azoto totale o di DBO₅ sparsi annualmente.

Per le opere di spargimento sottoposte ad autorizzazione, che rientrano nella categoria 22 della tabella allegata all'articolo R 122-2 del Codice dell'Ambiente, è richiesto uno studio d'impatto ambientale. In questo caso, è necessario corredare la richiesta di un'indagine pubblica, anche se il dragaggio risponde al regime di dichiarazione.

In mancanza di un decreto che indichi le prescrizioni generali di cui alla rubrica 2.1.4.0, l'ufficio istruttore applica automaticamente le disposizioni relative alle condizioni generali di spargimento dei fanghi di depurazione previste ai commi 31-45 dell'articolo R211 del Codice dell'Ambiente e quelle del decreto dell'8 gennaio 1998, che fissa le prescrizioni tecniche applicabili allo spargimento dei fanghi provenienti dal trattamento delle acque reflue sui terreni agricoli. 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. Il risultato delle analisi e lo studio agropedologico devono essere inoltrate all'ufficio istruttore ed, eventualmente, integrate nel documento d'incidenza o nello studio d'impatto incluso nel fascicolo depositato ai sensi della normativa sulle risorse idriche per il dragaggio e/o lo spargimento agricolo.

- **Copertura di impianti di stoccaggio di rifiuti non pericolosi**

Secondo il decreto del **9 settembre 1997, relativo agli impianti di stoccaggio dei rifiuti non pericolosi**, esistono tre tipologie di copertura dei suddetti impianti:

- copertura periodica, situata all'interno di una zona confinata, può essere costituita da rifiuti **non pericolosi**, tra cui i sedimenti
- copertura intermedia, utilizzata in attesa della realizzazione della copertura definitiva, deve essere costituita da **rifiuti inerti**, tra cui i sedimenti
- copertura finale: costituita da diversi strati che hanno lo scopo di proteggere i rifiuti dalle infiltrazioni, e di limitare le infiltrazioni d'acqua verso l'interno degli impianti di stoccaggio al termine delle operazioni. Il decreto non specifica la natura dei materiali utilizzati per la realizzazione di questi strati. Se il gestore intende utilizzare rifiuti non pericolosi, dovrà provare la perenne assenza di contaminazioni delle acque di ruscellamento (ad esempio tramite lo studio specificato nella norma francese NF EN 12 920 + A1), dal momento che questo tipo di copertura deve proteggere l'insieme di rifiuti per un periodo di tempo illimitato.

Le specifiche tecniche richieste per l'elaborazione di queste coperture sono relative a:

- parametri di natura (granulometria, natura fine - particelle inferiori a 20 μm > 20 %), contenuto di argilla (pari a 15-20 %), composizione (ad es.: contenuto di carbonio organico non superiore al 5 %);
- parametri di stato (contenuto di acqua ponderale < 50%, peso volumico secco e umido, indicatore di consistenza, attività del materiale);
- comportamenti meccanici (stima degli assestamenti, della compressibilità, della consolidazione, o della resistenza al taglio dei terreni).

7.7) Contesto - Utilizzo e bisogni dei porti del dipartimento del Var

Questa parte sarà sviluppata in un altro elaborato del progetto SEDITERRA, l'elaborato T1.3.5 (Caratterizzazione del deposito - Resoconto sintetico delle caratteristiche qualitative e quantitative del deposito di sedimenti marini e continentali dell'area Marittimo, compresa carta SIG) a cura del partner corso (CTC).

7.8) Riferimenti bibliografici, regolamentari e normativi

Decreto del 14 giugno 2000 relativo alle soglie di riferimento da prendere in considerazione in sede di analisi di sedimenti marini o degli estuari presenti in ambiente naturale o portuale.

Decreto del 9 agosto 2006 relativo alle soglie da prendere in considerazione in sede di analisi degli scarichi nelle acque di superficie o di sedimenti marini, degli estuari o estratti da corsi d'acqua o canali, di cui rispettivamente alle rubriche 2.2.3.0, 4.1.3.0 e 3.2.1.0 della nomenclatura allegata all'articolo R. 214-1 del Codice dell'Ambiente.

Decreto del 23 dicembre 2009 a integrazione del decreto del 9 agosto 2006 relativo alle soglie da prendere in considerazione in sede di analisi degli scarichi nelle acque di superficie o di sedimenti marini, degli estuari o estratti da corsi d'acqua o canali, di cui rispettivamente alle rubriche 2.2.3.0, 4.1.3.0 e 3.2.1.0 della nomenclatura allegata all'articolo R. 214-1 del Codice dell'Ambiente.

Decreto dell'8 febbraio 2013 a integrazione del decreto del 9 agosto 2006 relativo alle soglie da prendere in considerazione in sede di analisi degli scarichi nelle acque di superficie o di sedimenti marini, degli estuari o estratti da corsi d'acqua o canali, di cui rispettivamente alle rubriche 2.2.3.0, 4.1.3.0 e 3.2.1.0 della nomenclatura allegata all'articolo R. 214-1 del Codice dell'Ambiente.

Decreto del 17 luglio 2014, che modifica il decreto del 9 agosto 2006 relativo alle soglie da prendere in considerazione in sede di analisi degli scarichi nelle acque di superficie o di sedimenti marini, degli estuari o estratti da corsi d'acqua o canali, di cui rispettivamente alle rubriche 2.2.3.0, 4.1.3.0 e 3.2.1.0 della nomenclatura allegata all'articolo R. 214-1 del Codice dell'Ambiente.

Circolare n. 2000-62 del 14 giugno 2000 relativa alle condizioni di utilizzo dello standard di qualità dei sedimenti marini e degli estuari, presenti in ambiente naturale o portuale, definiti mediante decreto interministeriale.

Decreto del 27 ottobre 2011 relativo alle modalità di approvazione dei laboratori che effettuano le analisi nel settore delle risorse idriche e degli ambienti acquatici, come stabilito dal Codice dell'Ambiente.

Decreto del 30 maggio 2008 che fissa le prescrizioni generali applicabili alle operazioni di manutenzione dei corsi d'acqua e dei canali, sottoposti ad autorizzazione o dichiarazione, in virtù dei commi da 1 a 6 dell'articolo L. 214 del Codice dell'ambiente, alla rubrica 3.2.1.0 della nomenclatura allegata alla tabella del comma 1 dell'articolo R. 214 del Codice dell'Ambiente.

Decreto del 28 ottobre 2010 relativo agli impianti di stoccaggio dei rifiuti inerti.

Circolare del 4 luglio 2008 relativa alla procedure riguardante la gestione dei sedimenti durante lavori o operazioni che richiedono il dragaggio o la pulizia di fondali marini e fluviali.

Decreto del 12 dicembre 2014 relativo alle condizioni di ammissione dei rifiuti inerti negli impianti, di cui alle rubriche 2515, 2516 e 2517, e negli impianti di stoccaggio dei rifiuti inerti di cui alla rubrica 2760 della nomenclatura degli impianti classificati.

Decreto del 15 febbraio 2016 relativo agli impianti di stoccaggio dei rifiuti di sedimenti.

Decreto n. 2010-369 del 13 aprile 2010 che modifica la nomenclatura degli impianti classificati.

Direttiva 1999/31/CE del Consiglio del 26 aprile 1999 relativa alle discariche di rifiuti.

Decisione del Consiglio 2003/33/CE del 19 dicembre 2002, che stabilisce criteri e procedure per l'ammissione dei rifiuti nelle discariche ai sensi dell'articolo 16 e dell'allegato II della direttiva 1999/31/CE

Direttiva quadro 2008/98/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti, recepita in Francia con l'ordinanza n. 2010-1579 del 17 dicembre 2010).

Decreto del 17 dicembre 2008 che stabilisce i criteri di valutazione e le modalità di determinazione dello stato delle acque sotterranee e delle tendenze significative e sostenibili di degradazione dello stato chimico delle acque sotterranee.

Decreto del 25 gennaio 2010, relativo ai metodi e ai criteri di valutazione dello stato ecologico e chimico, e del potenziale ecologico delle acque di superficie, in applicazione degli articoli R.212 commi 10 e 11 e 18 del Codice dell'Ambiente.

Decreto dell' 11 gennaio 2007 relativo ai limiti e agli standard di qualità delle acque grezze e delle acque destinate al consumo umano, citate ai commi 2, 3, 7 e 38 dell'articolo R. 1321 del Codice della Sanità Pubblica.

Decreto n. 2011-2019 del 29 dicembre 2011 a riforma degli studi di impatto dei progetti di lavori, opere o architettura del paesaggio.

Decreto del 22 settembre 1994 relativo allo sfruttamento delle cave a agli impianti di primo trattamento dei materiali provenienti dalle cave.

Decreto dell'8 gennaio 1998 che fissa le prescrizioni tecniche applicabili allo spargimento di fanghi sui terreni agricoli, in applicazione del decreto n. 97-1133 dell'8 dicembre 1997, relativo allo spargimento di fanghi di trattamento delle acque reflue.

Decreto del 9 settembre 1997 relativo agli impianti di stoccaggio dei rifiuti non pericolosi.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R214-1.

Codice dell'Ambiente francese - Articoli da R211-31 a 211-45.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R 122-2.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R414-19.

Codice dell'Ambiente francese- Articolo R441-19.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R541-2.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R541-11.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo L541-8.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo L541-32.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R 511-1 e seguenti.

Codice dell'Ambiente francese - Articolo R 512-1 e seguenti.

CEREMA – Inchiesta dragaggi: *Enquête dragage 2013 - Enquête nationale sur les dragages des ports maritimes* - giugno 2017.

CEREMA – *Aide à la mise en œuvre du niveau 3 de caractérisation environnementale* – luglio 2015

VNF – Guida al prelievo dei sedimenti «*Prélèvements de sédiments*», Svolgimento e pianificazione - 2014

CTNGS – Guida metodologica: «*Caractérisation des sédiments*» - Progetti di pulizia - Monitoraggio dei sedimenti – 2001

GEODE – Guida «*Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d’une opération de dragage et d’immersion en milieu marin et estuarien*» - novembre 2016

SDAGE Rhône Méditerranée – *Recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments potentiellement contaminés* – 2013

De Korff M., Boyeux B., Blaise L., Otéro L., Arnaud L., Frey P., Boyeux M., Lénée-Corrèze L. (CREE – 2015) - *Matériaux de construction : retour aux (bio)resourçes - Panorama et perspectives de l’utilisation des matériaux de construction biosourcés dans le monde*, 24 pagine

Krausmann F., Gingrich S., Eisenmenger N., Erb K-H., Haberl H., Fischer-Kowalski M. (2009) - *Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century*. Ecological Economics

PNUE - Programme des Nations Unies pour l’environnement - «*Vers une économie verte : Pour un développement durable et une éradication de la pauvreté – Synthèse à l’intention des décideurs*» - 2011

Schiavone S., Coquery M. (2011) *Guide d’échantillonnage et de prétraitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE*. Cemagref, 24 pagine

Vernus E., Méhu J., Bonnet J., Bergeron A. (2013). *Filières de gestion à terre, guide thématique CAP-Sédiments*, 44 pagine

SETRA/LCPC – *Guide des Terrassements Routiers (GTR) - Réalisation des remblais et des couches de forme - Guide technique* – 1992 (riedito nel 2000)

SETRA - *Guide méthodologique pour l’acceptabilité des matériaux alternatifs en techniques routières, évaluation environnementale*, 29 pagine - marzo 2011

SETRA/LCPC – *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées* - gennaio 2000

SETRA/LCPC - *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et couches de forme ou « GTS »* - gennaio 2000

CEREMA – *Echantillonnage des sédiments marins et fluviaux – Du plan d’échantillonnage aux analyses de laboratoire* – settembre 2016

NF EN 12920+A1: Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées - novembre 2008

NF EN 12457-2: Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité) - décembre 2002

NF CEN/TS 14405 - Caractérisation des déchets - Essai de comportement à la lixiviation - Essai de percolation à écoulement ascendant (dans des conditions spécifiées) - luglio 2005 (annullato il 15/04/2017)

NF EN ISO 5667-15 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 15 : lignes directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments - ottobre 2009

ISO 5667-12: 2017 - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 12: Recommandations concernant l'échantillonnage des sédiments dans les rivières, les lacs et les estuaires - Qualité de l'eau - Échantillonnage - Partie 12 : Lignes directrices pour l'échantillonnage des sédiments - luglio 2017

X31-100 - Qualité des sols - Échantillonnage - Méthode de prélèvement d'échantillons de sol - décembre 1992 (annullata il 27/06/2018)

NF EN 16179 - Boues, bio-déchets traités et sols - Lignes directrices pour le prétraitement des échantillons - ottobre 2012

NF EN 206/CN - Béton - Spécification, performance, production et conformité - Complément national à la norme NF EN 206 - dicembre 2014

NF P18-201 - DTU 21 - Travaux de bâtiment - Exécution des ouvrages en béton - Cahier des clauses techniques - marzo 2004 (annullato. il 17/06/2017)

NF P18-545 - Granulats - Éléments de définition, conformité et codification - settembre 2011

NF EN 12620+A1 - Granulats pour béton - giugno 2008

NF EN 13 055-1 - Granulats légers pour bétons et mortiers – marzo 2014

NF EN 1744-1+A1 - Essais visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats - Partie 1 : analyse chimique - febbraio 2014

NF EN 1744-5 - Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats - Partie 5 : détermination des sels chlorures solubles dans l'acide - gennaio 2007

NF EN ISO/CEI 17025 - Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais – novembre 2017

VIII. PRODOTTO ITALIANO INTEGRALE

INDICE

8.1	Introduzione	191
8.2	Aree SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio	191
8.2.1	Strategia di campionamento	191
8.2.2	Metodiche di campionamento	193
8.2.3	Subcampionamento e Preparazione dei campioni	195
8.2.4	Trattamento e Conservazione dei campioni	196
8.2.5	Criteri per la scelta dei laboratori incaricati per le analisi	197
8.2.6	Analisi previste	198
8.2.7	Modalità di restituzione dei risultati	204
8.2.8	Elaborazione e Valutazione dei risultati della caratterizzazione	204
8.2.9	Gestione in ambito marino-costiero e a terra	205
8.3	Aree non SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio	207
8.3.1	Scheda di inquadramento dell'area di escavo	207
8.3.2	Strategia di campionamento	208
8.3.3	Metodiche di campionamento	210
8.3.4	Analisi previste	213
8.3.5	Classificazione dei sedimenti	218
8.3.6	Gestione dei sedimenti in ambito marino-costiero	220
8.3.7	Risultati della caratterizzazione dei sedimenti	221
8.4	Tecnologie di trattamento dei sedimenti	221
8.4.1	Tecnologie di trattamento in situ	222
8.4.2	Tecnologie di trattamento ex situ	226
8.5	Conclusioni	232
8.6	Documenti di riferimento	233

8.1) Introduzione

Le operazioni di dragaggio all'interno dei Siti di bonifica di Interesse Nazionale (di seguito SIN) sono disciplinate dall'art. 5-bis della L. 84/1994 e ss.mm.ii., il cui comma 5 riporta che "l'idoneità del materiale dragato ad essere gestito secondo quanto previsto ai commi 2 e 3 viene verificata mediante apposite analisi da effettuare nel sito prima del dragaggio sulla base di metodologie e criteri stabiliti", dal D.M. 7/11/2008 (così come modificato dal successivo D.M. 4/08/2010). L'art. 5 bis fornisce anche indicazioni sulle possibili opzioni di gestione dei sedimenti dragati.

Il D.M. 172/2016 "Regolamento recante la disciplina delle modalità e delle norme tecniche per le operazioni di dragaggio nei Siti di Interesse Nazionale, ai sensi dell'art. 5-bis, comma 6, della Legge 28 gennaio 1994, n.84", emanato successivamente sulla base di quanto annunciato al comma 6 dell'art. 5-bis, L. 84/1994, descrive invece, per tutte le fasi di movimentazione dei sedimenti (dal dragaggio, al trasporto, alla collocazione a terra), le modalità di tale movimentazione, le misure di mitigazione ed i criteri per la predisposizione e l'attuazione delle attività di monitoraggio in aree portuali e marino costiere incluse nei SIN.

Le operazioni di dragaggio al di fuori dei SIN sono disciplinate dal D.M. 173/2016 "Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini", che stabilisce le procedure per il rilascio dell'autorizzazione alla immersione deliberata in mare dei materiali di cui alla lettera a), comma 2, dell'art. 109 del D.lgs. 152/2006 (materiali di escavo di fondali marini o salmastri o di terreni litoranei emersi), tenuto conto della finalità di tutela dell'ambiente marino e al fine di consentire l'uso legittimo del mare.

Il D.M. 173/2016, con il suo Allegato Tecnico, fornisce i criteri per la caratterizzazione e classificazione dei materiali, abrogando tutte le norme tecniche relative alle attività disciplinate nello stesso decreto già contenute nel D.M. 24/01/1996. Sono comunque fatte salve tutte le disposizioni contenute nel D.M. 24/01/1996 connesse alle attività di movimentazione di sedimenti marini per la posa in opera di cavi e condotte sottomarine.

8.2) Aree SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio

Di seguito sono riportate le metodologie ed i criteri per la caratterizzazione dei sedimenti da dragare ai sensi del D.M. 7/11/2008 e ss.mm.ii.

8.2.1) Strategia di campionamento

8.2.1.1 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:

4. 50x50 m (una stazione di campionamento ogni 2.500 m²) nelle zone interne a distanza inferiore di 50 metri dai manufatti (quali ad esempio pontili, darsene e banchine), oltreché nelle zone in cui, sulla base del modello concettuale, siano individuati elementi di criticità
5. 100x100 m (una stazione di campionamento ogni 10.000 m²) in tutti gli altri casi, fermo quanto previsto al punto 3
6. 200x200 m (una stazione di campionamento ogni 40.000 m²) nell'ambito delle imboccature portuali, delle zone esterne al porto ad esso adiacenti lungo le dighe di protezione esterne e le barriere frangiflutti

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. In particolare nei canali di accesso lo schema di campionamento deve essere predisposto in modo tale da caratterizzare in modo esaustivo, sulla base del modello concettuale e della conoscenza dettagliata della morfobatimetria del fondale, sia i sedimenti dell'asse del canale sia quelli delle adiacenti sponde. Analogo discorso deve essere fatto per i canali portuali interni, in relazione ad asse centrale e fasce laterali.

Qualora le attività di campionamento vengano effettuate utilizzando una maglia regolare, laddove residuino superfici di forma irregolare, nel caso in cui vi siano elementi (indagini pregresse, presenza di scarichi, elevata eterogeneità batimetrica) che lascino presupporre in tali aree la presenza di situazioni critiche, in tali superfici dovrà essere disposta una stazione di campionamento. Nel caso in cui, invece, si attenda in tali aree la presenza di un sedimento con caratteristiche analoghe a quelle dei sedimenti delle maglie vicine, in esse il posizionamento della ulteriore stazioni di campionamento può essere tralasciato. Tuttavia, in tali aree residue non campionate, ai fini della valutazione dei dati, sarà attribuita, in virtù del principio cautelativo, la qualità dei sedimenti con caratteristiche chimiche, microbiologiche ed ecotossicologiche peggiori tra quelle delle maglie adiacenti.

Indipendentemente dalla superficie interessata dalle attività di dragaggio, il numero dei punti di campionamento non deve essere comunque inferiore a tre.

8.2.1.2 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 (quest'ultimo già approssimato per eccesso ai consecutivi 50 cm), e comunque non inferiore ai 2 m (ciò laddove non sia accertata e opportunamente documentata la presenza di fondi duri che impediscano la penetrazione dello strumento durante le attività di carotaggio).

8.2.1.3 Scelta dei campioni

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

devono essere prelevate sezioni consecutive di sedimento di spessore pari a 50 cm sino alla quota di 2 m (4 sezioni)

- per quota di escavo superiore ai 2 m

devono essere prelevate sezioni consecutive di sedimento di spessore pari a 50 cm sino alla quota di 2 m; oltre i 2 m di profondità e sino alla quota di escavo, deve essere prelevata una sola sezione di 50 cm per ogni metro lineare di lunghezza della carota, nel caso in cui tale sezione sia rappresentativa dell’intero metro; qualora, invece, a causa della presenza di strati eterogenei, non sia possibile selezionare una sezione di 50 cm rappresentativa dell’intero metro, devono essere prelevate due sezioni consecutive di 50 cm; al di sotto della quota di escavo deve essere prelevata ed analizzata una sezione di 50 cm di spessore.

Qualora, prima del raggiungimento della profondità di campionamento, sia accertata (ed opportunamente documentata) l’individuazione del substrato geologico naturale costitutivo dell’area, per il quale si possa escludere qualunque contaminazione antropica, è sufficiente il prelievo di una sola sezione di lunghezza 50 cm rappresentativa dell’intero strato.

Tutte le sezioni prelevate devono essere sottoposte ad analisi.

8.2.2) 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. In particolare, latitudine e longitudine devono essere espresse in gradi, primi e frazioni di primo e nelle corrispettive coordinate UTM metriche; le quote ellissoidiche devono essere espresse in metri e riferite al fondale marino.

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 sistema di perforazione deve essere comunque tale da rendere minimo il disturbo provocato nei sedimenti attraversati, per escludere il propagarsi dei contaminanti dagli strati superficiali a quelli più profondi. Nel caso d'utilizzo di carotiere a rotazione la velocità di rotazione deve essere moderata in modo da ridurre l'attrito tra sedimento e campionatore.

Al fine di garantire il prelievo di sedimento indisturbato si richiede l'utilizzo di un rivestimento interno (liner) al carotiere, in polietilene inerte, polipropilene o policarbonato, di lunghezza pari alla lunghezza dell'asta utilizzata. Per lo stesso motivo non è consentito l'uso di fluidi o fanghi di circolazione.

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%. La strumentazione adottata deve, pertanto, prevedere una lunghezza di prelievo opportunamente incrementata rispetto a quella programmata, al fine di consentire il recupero completo dello spessore previsto.

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, tenendo conto delle modalità di preparazione dei campioni e del quantitativo di campione da conservare.

L'indisturbabilità del campione deve essere garantita anche in fase di estrusione, ad esempio utilizzando un estrusore a pistone idraulico o eseguendo il taglio longitudinale del liner interno. A tal fine l'attrezzatura utilizzata per il prelievo della carota, per l'estrusione o il taglio della stessa, per le operazioni di suddivisione nelle varie sezioni e di omogeneizzazione dei campioni, deve essere sempre decontaminata prima del suo reimpiego.

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.

8.2.3) 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. In particolare, il codice della stazione deve contenere il riferimento alla campagna d'indagine e al numero della stazione; il codice del campione deve contenere il riferimento alla campagna d'indagine, al numero della stazione di campionamento e alla sezione di prelievo lungo la carota.

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 (nella relativa foto comparirà una targa identificativa comprendente il codice della stazione, la data di prelievo e la lunghezza della carota) e ispezionate visivamente da personale specializzato. Una volta misurate, le carote devono essere immediatamente subcampionate separando, partendo dal top, le sezioni di sedimento corrispondenti agli intervalli di cui al punto 5.

Sulle singole sezioni individuate, immediatamente dopo il decorticamento della parte più esterna della carota, venuta a contatto con le pareti interne del liner o del carotiere, deve essere effettuato :

- il prelievo dell'aliquota destinata alla determinazione dei composti volatili (Idrocarburi C_{≤12}, BTEX, composti alifatici clorurati e cancerogeni), sulle sezioni ove sia stato previsto. Detto prelievo deve essere effettuato in modo puntuale secondo la metodica ASTM 4547-03 o EPA 5035, fatti salvi i successivi aggiornamenti
- 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, evitando la miscelazione del sedimento lungo l'asse della carota.

Il campione, una volta omogeneizzato, deve essere suddiviso in due subcampioni, uno destinato alle analisi e l'altro da suddividere ulteriormente in due subcampioni, destinati rispettivamente alle analisi di controllo e ad eventuali contraddittori, entrambi da conservare in contenitori di teflon (o, in alternativa, in contenitori in HDPE), a temperatura compresa tra -18 °C e -25 °C.

I due subcampioni destinati alle analisi di controllo e ad eventuali contraddittori devono essere sigillati in campo, mediante dispositivi dotati di sistemi di massima sicurezza.

8.2.4) 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 le seguenti modalità :

- l'aliquota per analisi granulometrica, il contenuto d'acqua, il peso specifico deve essere raccolta in contenitori di plastica, trasportata e conservata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C; in alternativa si possono utilizzare sacchetti in polietilene ad alta densità, con sistema di chiusura ermetica o a nastro
- l'aliquota per la chimica organica (Idrocarburi C_{>12}, TOC, IPA, PCB, nitrobenzeni, clorobenzeni, clorofenoli, pesticidi organoclorurati, diossine e furani, composti organostannici) deve essere raccolta in contenitori decontaminati in teflon (PTFE); in alternativa è possibile utilizzare contenitori in polietilene ad alta densità (HDPE), possibilmente dotati di sottotappo. Il trasporto deve avvenire a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C; la conservazione in laboratorio a temperature comprese tra -18 °C e -25 °C
- l'aliquota per l'analisi di azoto e fosforo deve essere raccolta e trasportata in contenitori di HDPE; il trasporto in laboratorio deve avvenire a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C; la conservazione a temperature comprese tra -18 °C e -25 °C

- l'aliquota per l'analisi di metalli ed elementi in tracce deve essere raccolta in contenitori decontaminati in HDPE; il trasporto deve avvenire a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C; la conservazione in laboratorio a temperature comprese tra -18 °C e -25 °C
- l'aliquota per l'analisi dell'amianto deve essere raccolta in contenitori di plastica o vetro e il trasporto avvenire a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C
- l'aliquota per le analisi microbiologiche deve essere raccolta in contenitori sterili di polietilene o polistirolo; il trasporto deve avvenire a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C; la conservazione in laboratorio deve avvenire alle medesime temperature per un massimo di 24 ore, entro le quali deve essere iniziata l'analisi;
- l'aliquota per i saggi ecotossicologici deve essere raccolta in contenitori di polietilene o vetro decontaminato ed essere immediatamente posta a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C. Le analisi dovranno essere eseguite entro 10 gg dal prelievo, salvo diversa indicazione del metodo di riferimento utilizzato;
- l'aliquota per l'analisi dei composti organici volatili dopo il prelievo, secondo la procedura di cui al punto 7 deve essere raccolta in contenitori decontaminati in vetro, generalmente compatibili con lo strumento utilizzato per l'analisi, ben chiusi tramite tappo a vite o a ghiera dotato di setto in PTFE. Il trasporto e la conservazione devono avvenire a temperature comprese tra +4 °C e +6 °C. I campioni devono essere analizzati preferibilmente entro 14 giorni dal prelievo.

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.

8.2.5) 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.). Devono essere riportate le metodologie adottate ed eventuali modifiche rispetto a protocolli nazionali ed internazionali di riferimento.

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, almeno per le determinazioni dei parametri prioritari, relativo alla matrice specifica dei campioni da analizzare. Sono considerati prioritari i seguenti parametri: granulometria, metalli, IPA, PCB, idrocarburi.

8.2.6) Analisi previste

Le analisi sotto indicate vanno condotte sul campione tal quale e la restituzione del dato analitico va riportata rispetto al peso secco del materiale analizzato.

Analisi fisiche

Su tutti i campioni prelevati deve essere effettuata una descrizione macroscopica che riporti la tipologia del sedimento: colore, odore, presenza di concrezioni, residui di origine naturale o antropica, etc.

Inoltre, su tutti i campioni prelevati devono essere effettuate le determinazioni di contenuto d'acqua e peso specifico e determinazioni granulometriche.

La determinazione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti deve prevedere l'individuazione delle principali frazioni dimensionali (ghiaia, sabbia, silt e argilla) secondo le classi dimensionali riportate nella seguente tabella A1. La caratterizzazione della frazione pelitica nelle frazioni silt e argilla è richiesta per tutti i campioni aventi percentuale di frazione pelitica maggiore del 10%.

Per l'esecuzione di tale caratterizzazione si consiglia l'uso di un sedigrafo a raggi X o di un granulometro laser, oppure di strumentazione idonea a fornire tale informazione analitica.

Tabella A1: classi dimensionali richieste per la determinazione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti

Frazioni dimensionali		Dimensioni
Ghiaia		> 2 mm
Sabbia		2 mm > x > 0.063 mm
Pelite	Silt	0.063 mm > x > 0.004 mm
	Argilla	< 0.004 mm

Ai fini dell'eventuale riutilizzo dei sedimenti per ripascimenti, su una percentuale dei campioni prelevati, in modo tale da avere una distribuzione omogenea rispetto al volume di materiale da caratterizzare, deve essere effettuata la determinazione delle principali caratteristiche mineralogiche.

Analisi Chimiche

I parametri chimici da determinare sui sedimenti portuali da sottoporre a dragaggio all'interno dei siti di bonifica di interesse nazionale ed i relativi limiti di quantificazione richiesti per i diversi parametri sono riportati nella tabella A2

Tabella A2: analisi chimiche da eseguire sui sedimenti portuali da sottoporre a dragaggio all'interno dei siti di bonifica di interesse nazionale e relativi limiti di quantificazione

Specie Chimiche	Singoli Parametri e Specifiche Analitiche	Numero di determinazioni da effettuare	Limite di quantificazione richiesto* (mg/Kg s.s.)
Metalli	Al As Cd Cr totale Cu Fe Hg Ni Pb Zn V	Su tutti i campioni prelevati	5,0 0,5 0,05 5,0 1,0 5,0 0,05 1,0 1,0 1,0 1,0
Policlorobifenili (PCB)	Congeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB105, PCB114, PCB118, PCB123, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB157, PCB 167, PCB 169, PCB170, PCB 180, PCB189 e loro sommatoria (per i PCB Diossina simili si richiede la determinazione con spettrometria di massa ad alta risoluzione)	Su tutti i campioni prelevati	0.0001 per singolo composto 0.00001 per singolo composto dei PCB Diossina simili

Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	Naftalene Acenaftene Fluorene Fenantrene Antracene Fluorantene Pirene Benzo(a)antracene Crisene Benzo(b)fluorantene Benzo(k)fluorantene Benzo(j)fluorantene Benzo(a)pirene Benzo(e)pirene Dibenzo(a,h)antracene Benzo(g,h,i)perilene Indeno(1,2,3,c,d)pirene Acenaftilene	Su tutti i campioni prelevati	0.001 per singolo idrocarburo
Benzene		Su tutti i campioni prelevati.	1.0
Idrocarburi leggeri (C \leq 12)**		Su tutti i campioni prelevati.	0.5
Idrocarburi pesanti (C $>$ 12)**		Su tutti i campioni prelevati	1.5
Azoto totale		Solo sui campioni di sedimento presumibilmente destinati a immersione in mare	
Fosforo totale		Solo sui campioni di sedimento presumibilmente destinati a immersione in mare	
Carbonio Organico Totale (TOC)		Su tutti i campioni prelevati	
Pesticidi organoclorurati	DDD, DDT, DDE (per ogni sostanza: somma degli isomeri 2,4 e 4,4) Cis-clordano Trans-clordano Aldrin Dieldrin Endrin α -esaclorocicloesano β -esaclorocicloesano γ -esaclorocicloesano (Lindano) Eptacloro EptacloroEpossido	In presenza di attività presenti o pregresse che ne facciano ipotizzare la presenza, su una percentuale dei campioni	0.0005 per singolo composto
Esaclorobenzene	HCB	Su una percentuale dei campioni	0.0001

Composti organostannici	Espresso come Sn totale di origine organica	Su una percentuale dei campioni	0.001
Diossine e furani [Sommatoria PCDD/PCDF (conversione T.E.)]	Determinati con spettrometria di massa ad alta risoluzione al fine del raggiungimento del limite di rilevabilità richiesto	Su una percentuale dei campioni	0.5x10 ⁻⁶
Amianto	Espresso in mg/kg s.s. Determinato attraverso una delle seguenti tecniche analitiche: diffrattometria a raggi oppure I.R. - Trasformata di Fourier	Su una percentuale dei campioni	
Solventi aromatici (BTEX)		Su una percentuale dei campioni	1.0 per singolo composto

Devono essere inoltre ricercate tutte quelle sostanze ricavabili sulla base delle indagini di cui al punto 2.1, con particolare attenzione alle sostanze Pericolose e Prioritarie di cui alla decisione del Parlamento Europeo e del Consiglio n. 2455/2001/CE.

In questi casi le sostanze aggiuntive devono essere ricercate su un numero rappresentativo di campioni, scelti in modo tale da ottenere una distribuzione il più possibile rappresentativa dell'area da caratterizzare, con particolare attenzione alle zone con maggiore contaminazione presunta.

* Con la dizione "limite di quantificazione richiesto" si intende la concentrazione di analita più bassa misurabile con il metodo utilizzato dal laboratorio che precede all'analisi.

** In attesa di specifiche metodiche di riferimento, gli Idrocarburi Totali (THC) sono da considerare come sommatoria di Idrocarburi leggeri (C₁₂) e di Idrocarburi pesanti (C>12). Ai fini della classificazione del materiale contenente "Idrocarburi Totali" (THC) di origine non nota, si fa riferimento al parere espresso dall'Istituto Superiore di Sanità il 5 luglio 2006, prot. n. 0036565 sulle "procedure di classificazione di rifiuti contenenti idrocarburi", e successivi aggiornamenti a seguito dell'adeguamento al progresso tecnico (ATP) in materia di classificazione, di imballaggio e di etichettatura delle sostanze pericolose ai sensi della direttiva 67/548/CEE, precisando che, al solo fine della classificazione quale rifiuto, l'analisi deve fare riferimento al tal quale.

Analisi Microbiologiche

Le analisi microbiologiche da eseguire ai fini di cui all'art. 5, comma 11-ter sui sedimenti portuali da sottoporre a dragaggio all'interno dei siti di bonifica di interesse nazionale, stante la loro specifica natura, sono indicate nella tabella A3.

Tabella A3: analisi microbiologiche da eseguire sui sedimenti portuali da sottoporre a dragaggio all'interno dei siti di bonifica di interesse nazionale

Parametro	Specifiche	Numero di determinazioni da effettuare
Enterococchi	Fecali	Su tutti i campioni prelevati
Coliformi	Totali	Su tutti i campioni prelevati
Coliformi	Escherichia coli	Su tutti i campioni prelevati
Clostridi	Spore di clostridi solfito-riduttori	Su tutti i campioni prelevati
Salmonella		Su tutti i campioni prelevati
Stafilococchi		Su tutti i campioni prelevati

Miceti e Lieviti		Ai fini dell'eventuale riutilizzo dei sedimenti per ripascimenti è opportuna la determinazione su tutti i campioni. Se il sedimento prelevato è destinato ad altri usi la determinazione non è necessaria.
------------------	--	--

Analisi ecotossicologiche (saggi biologici di tossicità) da eseguire ai fini di cui all'art. 5, comma 11-ter sui sedimenti portuali da sottoporre a dragaggio all'interno dei siti di bonifica di interesse nazionale, stante la loro specifica natura.

I saggi biologici devono essere applicati, su un numero significativo di campioni, almeno pari al 30% del totale, ad almeno due matrici ambientali costituite da:

- fase solida del sedimento (sedimento tal quale e/o centrifugato)
- fase liquida del sedimento (acqua interstiziale e/o elutriato)

mediante impiego di una batteria di saggi biologici costituita da tre specie-test appartenenti a gruppi tassonomici e filogenetici differenti, scelte preferibilmente all'interno della lista di specie riportate in tabella A4.

Le modalità di applicazione sono riportate in tabella A4.

Tabella A4: modalità di applicazione dei saggi biologici ai sedimenti

Specie	Matrice	stadio vitale	esposizione	end-point	espressione dato
ALGHE					
<i>Skeletonema costatum</i>	Elutriato	Coltura cellulare	96h	Inibizione della crescita	EC20 e EC50
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	Elutriato	Coltura cellulare	96h	Inibizione della crescita	EC20 e EC50
<i>Pheodactylum tricornutum</i>	Elutriato	Coltura cellulare	96h	Inibizione della crescita	EC20 e EC50
<i>Minutocellus polymorphus</i>					
BATTERI					
<i>Vibrio fischeri</i>	Elutriato	Cellule	30'	Inibizione della bioluminescenza	EC20 e EC50
	sedimento centrifugato	Cellule	30'	Inibizione della bioluminescenza	S.T.I. (Sediment Toxicity Index)
ROTIFERI					
<i>Brachionus plicatilis</i>	Elutriato	individui	48h	schiusa delle cisti	EC20 e EC50

<i>CROSTACEI</i>						
<i>Ampelisca diadema</i>	sedimento quale	tal	individui giovani-adulti	10 giorni	Mortalità	Δmortalità (Corretto con Abbott)
<i>Corophium orientale</i>	sedimento quale	tal	individui giovani-adulti	10 giorni	Mortalità	Δmortalità (Corretto con Abbott)
<i>Corophium insidiosum</i>	sedimento quale	tal	individui giovani-adulti	10 giorni	Mortalità	EC20 e EC50 (Corretto con Abbott)
<i>Acartia tonsa</i>	elutriato		nauplii	96h	Mortalità	EC20 e EC50
<i>Acartia clausi</i>	elutriato		nauplii	96h	Mortalità	EC20 e EC50
<i>Tisbe battagliai</i>	elutriato		nauplii	96h	Mortalità	EC20 e EC50
<i>Tigriopus fulvus</i>	elutriato		nauplii	96h	Mortalità	EC20 e EC50
<i>MOLLUSCHI</i>						
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	elutriato		gamete maschile	1h	Fecondazione uova	EC20 e EC50
<i>Tapes philippinarum</i>						EC20 e EC50
<i>Cassostrea gigas</i>	elutriato		gamete maschile	1h	Fecondazione uova	EC20 e EC50
<i>ECHINODERMI</i>						
<i>Sphaerechinus granularis</i>	elutriato		gamete maschile	1h	Fecondazione uova	EC20 e EC50 (Corretto con Abbott)
<i>Paracentrotus lividus</i>	elutriato		gamete maschile	1h	Fecondazione uova	EC20 e EC50 (Corretto con Abbott)
<i>Arbacia lixula</i>						
<i>PESCI</i>						
<i>Dicentrarchus labrax</i>	elutriato		giovanili	96h	Mortalità	EC20 e EC50
<i>Sparus aurata</i>	elutriato		giovanili	96h	Mortalità	EC20 e EC50

Nei casi in cui, nell'ambito del medesimo sito di bonifica di interesse nazionale, siano già state eseguite attività di caratterizzazione o monitoraggio, è opportuno continuare ad utilizzare le medesime specie-test già impiegate per tali indagini, purché rispondenti ai requisiti di cui sopra. Ciò al fine di preservare la confrontabilità con i risultati prodotti in precedenza.

Validità delle analisi

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.

8.2.7) 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, in linea con quanto previsto dai principi per la Buona Pratica di Laboratorio, un Rapporto di Prova, datato e firmato dal responsabile del laboratorio, che riporti: il nome e la Sede Legale del laboratorio, nonché la sede operativa ove sono state svolte le analisi;

l'identificazione univoca del campione analizzato; il codice alfanumerico dell'analisi; l'elenco dei parametri determinati, con relativo risultato analitico ottenuto e relativa unità di misura (i risultati numerici vanno indicati con un numero di cifre significative coerenti con il limite di quantificazione richiesti di cui in tabella A.2); l'incertezza di misura espressa nella stessa unità di misura del risultato; il metodo di riferimento usato; il limite di quantificazione; la data di ricevimento del materiale da analizzare e la data di esecuzione della determinazione.

8.2.8) 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. Tale analisi, che deve sempre essere effettuata da operatori esperti, permette di ottenere, tramite la modellizzazione tridimensionale della variabilità spaziale, stime ottimali della distribuzione spaziale dei parametri indagati ed una valutazione del relativo grado di affidabilità ad esse associato.

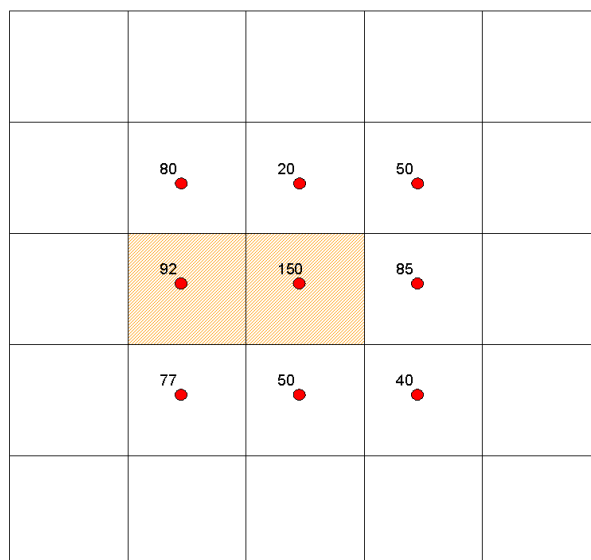
Le elaborazioni geostatistiche effettuate sui risultati della caratterizzazione devono essere riproducibili da parte del controllore. A tale scopo, nella documentazione finale devono essere dettagliatamente descritti il metodo utilizzato e l'applicativo impiegato; devono inoltre essere riportati nella documentazione tutti i variogrammi teorici e sperimentali ed ogni stima deve essere associata alla relativa mappa della varianza.

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. Qualora il campionamento sia stato effettuato utilizzando una maglia regolare, l'area di competenza di ciascuna stazione coinciderà con la rispettiva maglia. Qualora il campionamento sia stato effettuato secondo uno schema irregolare, ogni punto dell'area di indagine sarà associato alla stazione ad esso più vicina (divisione secondo il diagramma di Voronoi, o i poligoni di Thiessen).

Qualora in un campione la concentrazione di un analita sia superiore alla concentrazione di riferimento, sarà considerato appartenente alla stessa classe di qualità del campione il sedimento contenuto nella relativa area di competenza e quello delle aree ad essa adiacenti i cui rispettivi campioni presentino concentrazioni superiori al 90% del suddetto valore limite.



Esempio di applicazione del criterio di cautela con una concentrazione di riferimento pari a 100 in una griglia regolare

In ogni cella della griglia di stima, o in ogni area di competenza, la classe di qualità del sedimento sarà la peggiore tra quelle risultanti dall'analisi di tutti gli analiti.

8.2.9) Gestione in ambito marino-costiero e a terra

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 refluitamento nei corpi idrici dai quali provengono**, ovvero utilizzo per il **ripascimento degli arenili** e la **formazione di terreni costieri** ovvero per migliorare lo stato dei fondali attraverso attività di **capping** – questo nel caso in cui presentino, all’origine ovvero a seguito di trattamenti aventi esclusivamente lo scopo della rimozione degli inquinanti (ad esclusione, quindi, dei processi finalizzati alla immobilizzazione degli inquinanti stessi), caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche analoghe al fondo naturale con riferimento al sito di prelievo e idonee con riferimento al sito di destinazione, e non presentino positività ai test ecotossicologici.
- ✓ **Impiego a terra del materiale tal quale o a seguito di trattamenti di desalinizzazione o di rimozione degli inquinanti** (ad esclusione quindi dei processi finalizzati alla immobilizzazione degli inquinanti stessi), a condizione che il sedimento non presenti livelli di contaminazione superiori a quelli stabiliti nelle colonne A e B della Tabella 1 dell’allegato 5 alla Parte IV del D.Lgs. 152/2006, in funzione della destinazione d’uso, e risulti conforme ai test di cessione normati dal decreto del Ministro dell’ambiente 5 febbraio 1998, possono essere destinati a terra ai sensi dell’art. 252 del D.Lgs. 152/2006 (fino all’entrata in vigore del decreto di cui al c. 6, art. 5 bis, L. 84/1994, vale a dire del D.M. 172/2016, che però affronta il tema della gestione a terra solo relativamente alle accortezze ambientali nella fase di collocazione a terra). Nel caso di impiego in aree con falda naturalmente salinizzata, il materiale può presentare un livello di concentrazione di solfati e cloruri nell’eluato superiore a quello fissato dalla tabella di cui all’allegato 3 del citato D.M. 05/02/1998 a condizione che, su conforme parere dell’ARPA territorialmente competente, sia prevenuta qualsiasi modificazione delle caratteristiche.
- ✓ **refluitamento all’interno di casse di colmata, di vasche di raccolta, o comunque in strutture di contenimento o di conterminazione**, realizzate con l’applicazione delle migliori tecniche disponibili (in linea con i criteri di progettazione formulati da accreditati standard tecnici internazionali adottati negli Stati membri dell’Unione europea) e con caratteristiche tali da garantire, tenuto conto degli obiettivi e dei limiti fissati dalle direttive europee, l’assenza di rischi per la salute e per l’ambiente, con particolare riferimento al vincolo di non peggiorare lo stato di qualità delle matrici ambientali, suolo, sottosuolo, acque sotterranee, acque superficiali, acque marine e di transizione, né pregiudicare il conseguimento degli obiettivi di qualità delle stesse; questo riutilizzo è consentito qualora i materiali risultino non pericolosi all’origine o a seguito di trattamenti finalizzati esclusivamente alla rimozione degli inquinanti (ad esclusione quindi dei processi finalizzati alla immobilizzazione degli inquinanti stessi quali solidificazione e stabilizzazione).

8.3) Aree non SIN - Caratterizzazione dei sedimenti prima del dragaggio

PREMESSA

Lo schema sintetico delle procedure per la caratterizzazione, classificazione e gestione dei materiali di escavo nelle aree non SIN è riportato nella figura 1. Queste procedure verranno approfondite nei paragrafi seguenti.

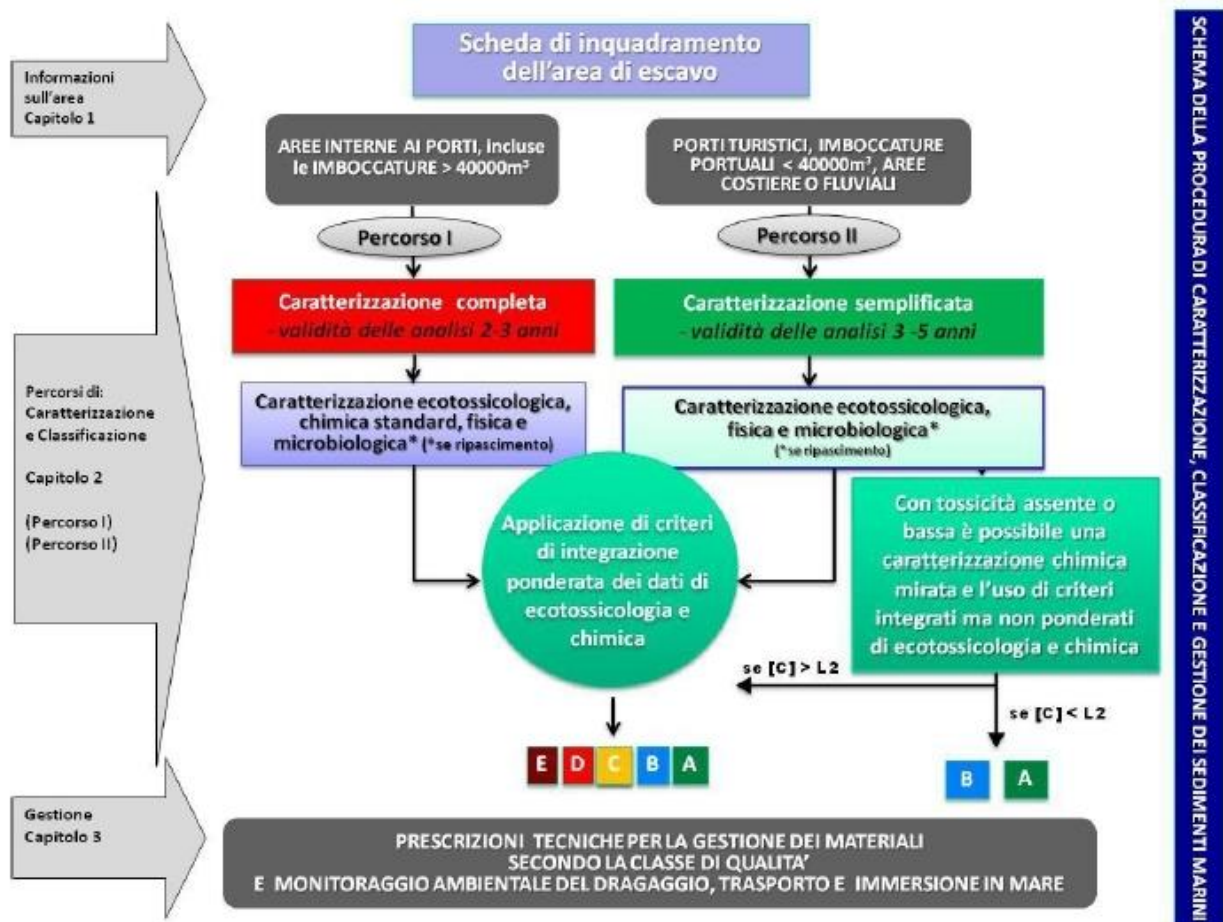


Figura 1: Schema di inquadramento delle procedure di caratterizzazione, classificazione e gestione dei materiali di escavo nelle aree non SIN

8.3.1) 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".

- Informazioni generali sull'ubicazione dell'area di escavo.
- Elenco delle principali pressioni (industriale; presenza di impianti di acquacoltura; ...) che insistono sull'area.
- 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).
- Informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche e idrodinamiche della colonna d'acqua.
- Informazioni sulle attività di escavo pregresse.
- Informazioni sulle caratteristiche morfo-batimetriche e sulle caratteristiche dei fondali.
- Informazioni sulle caratteristiche chimico-fisiche, ecotossicologiche e microbiologiche (se ripascimenti di arenili) dei sedimenti.
- Informazioni sugli organismi animali e vegetali nell'area di escavo.
- Informazioni pregresse sulle attività di immersione/utilizzo dei sedimenti.
- Informazioni sulle precedenti attività di monitoraggio ambientale nell'area.
- Programmazione delle attività di escavo e gestione dei materiali.
- Informazioni su iniziative intraprese/che si intende intraprendere per migliorare la qualità dei fondali riducendo l'inquinamento.

8.3.2) Strategia di campionamento

Le informazioni di cui al punto 1 del paragrafo precedente devono fornire indicazioni sul "tipo" di area. Infatti, 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 da posizionare nell'area da sottoporre a escavo a ridosso dei manufatti interni al porto, lungo la perimetrazione interna caratterizzata dalla presenza di manufatti, quali ad esempio pontili, darsene e banchine. Eventuali aree residue, risultanti dal frazionamento nei lotti di 2.500 m², possono essere tralasciate se di superficie inferiore a 1.500 m². (Tipologia 1).
- 100 m x 100 m da posizionare nell'area da sottoporre a escavo che ricade nelle zone interne del porto a distanze dai manufatti superiori a 50 m, in contiguità con le eventuali aree unitarie di tipo «1» e «3». Eventuali aree residue, risultanti dal frazionamento nei lotti di 10.000 m², possono essere tralasciate se di superficie inferiore a 5.000 m². (Tipologia 2).
- 200 m x 200 m da posizionare nell'area da sottoporre a escavo nell'ambito delle imboccature portuali, delle zone esterne al porto a esso adiacenti, lungo le dighe di protezione esterna, le barriere frangiflutto e in modo tale da essere in contiguità con le griglie di aree unitarie «1» e «2», ove presenti. Eventuali aree residue, risultanti dal frazionamento nei lotti di 40.000 m², possono essere tralasciate se di superficie inferiore a 10.000 m². (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 da posizionare nelle aree di foce fluviale da sottoporre a escavo
- 200 m x 200 m da posizionare nelle aree costiere da sottoporre a escavo

Eventuali aree unitarie residue possono essere tralasciate se di superficie inferiore al 50% della misura adottata.

Nelle aree di accesso al porto e nei porti turistici deve essere seguita la medesima strategia di campionamento utilizzata per le aree portuali di cui al Percorso I.

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, posizionato in funzione del volume di materiale da dragare, della morfologia del fondale e della distanza dal punto delle aree unitarie contigue.

In caso di superficie di escavo limitata ad una o due aree unitarie, il numero delle stazioni per l'intera area da sottoporre a dragaggio non deve essere comunque inferiore a 3, con la facoltà di ricorrere alla costituzione di campioni compositi accorpendo le aliquote delle medesime sezioni del sedimento.

8.3.3) Metodiche di campionamento

La tecnica di campionamento da utilizzare è prioritariamente quella del carotaggio. Tuttavia, nel caso di indagini limitate ai primi 50 cm del fondale possono essere utilizzati anche altri strumenti quali benne e box corer.

L'attività di prelievo dei sedimenti deve avvenire arrecando al campione il minor disturbo possibile, le attrezzature utilizzate a contatto con il sedimento devono essere accuratamente pulite prima del loro reimpiego. Le carote di sedimento devono essere preventivamente decorticate della parte più esterna a contatto con le pareti interne al liner o al carotiere, per evitare la contaminazione da trascinamento.

All'atto del campionamento deve essere compilata un'apposita "Scheda di campo" contenente almeno le informazioni identificative della stazione di prelievo (coordinate proiettate UTM WGS84 fuso 32/33) e dei campioni da avviare alle analisi successive.

8.3.3.1 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.

8.3.3.2 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, secondo le modalità riportate di seguito.

- Le carote fino a 1 m di altezza devono essere suddivise in due sezioni, di cui la prima di 50 cm a partire dalla sommità.
- Per carote con altezza superiore a 1 metro e fino a 2 m, oltre alle 2 sezioni di cui al punto precedente, deve essere individuata almeno una sezione rappresentativa del metro successivo al primo.

- Per carote con altezza superiore ai 2 m, oltre alle 3 sezioni di cui ai punti precedenti, deve essere individuata una sezione rappresentativa di ogni successivo intervallo di 2 m.
- Qualora sia accertato il raggiungimento del substrato geologico naturale costitutivo dell'area, opportunamente documentato nella relazione tecnica, per il quale si possa escludere qualunque contaminazione antropica, è sufficiente l'individuazione di sezioni rappresentative dell'intero strato.

8.3.3.3 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.

Dal campione, prima delle analisi, devono essere rimosse manualmente le componenti di origine antropica (es.: frammenti di plastica, vetro, metallo, ecc.) e naturale (ciottoli, organismi del macrobenthos) di dimensioni comunque superiori a 5 mm. Qualora il campione così ottenuto sia costituito da oltre l'80% di ghiaia (diametro > 2 mm), le analisi chimiche possono essere omesse, a meno di macroscopiche evidenze di inquinamento. In questo caso, la classe di qualità deve seguire il criterio di classificazione di qualità dei materiali di escavo.

Per le aree del Percorso I, tutti campioni prelevati devono essere avviati alla successiva fase di analisi e classificazione.

Qualora, per ragioni tecniche e/o economiche, il proponente intenda perseguire come unica opzione di gestione la deposizione in ambiente conterminato, analogamente a quanto previsto per il Percorso II viene introdotta la possibilità di formare campioni compositi per le successive analisi. Il procedimento da seguire è pertanto quello riportato per i campioni delle aree del Percorso II.

Deve comunque essere conservata a -20 °C un'aliquota di almeno 250 ml di ciascun campione (accorpato e non accorpato) per eventuali accertamenti o approfondimenti.

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.

Sulla base delle informazioni pregresse è, infatti, possibile l'analisi di tutti o parte dei campioni (non accorpati) in quelle zone identificate come aree o strati del fondale a maggior potenziale di inquinamento.

La procedura semplificata prevede la formazione di campioni compositi da sottoporre ad analisi, ottenuti per miscelazione “a fresco” di aliquote di pari volume (minimo 100 cc), rappresentative di ciascun campione da miscelare. Essi possono rappresentare volumi contigui massimi da dragare di 10.000 m³ se provenienti da aree unitarie di Tipologia 1 (50 x 50 m), di 20.000 m³ se provenienti da aree unitarie di Tipologia 2 (100 x 100 m) e di 40.000 m³ se provenienti da aree unitarie di Tipologia 3 (200 x 200 m).

Deve comunque essere conservata a -20 °C un’aliquota di almeno 250 ml di ciascun campione (accorpato e non accorpato) per eventuali accertamenti o approfondimenti.

La Tabella A5 indica i criteri di accorpamento di campioni provenienti da aree unitarie contigue appena descritti sia per quanto riguarda le aree del Percorso I sia quelle del percorso II.

Tabella A5: criteri di accorpamento dei campioni

Tipologia Area	Volumi max (m ³)	Numero di campioni da accorpare per spessori di 0.5 m	Numero di campioni da accorpare per spessori di 1 m
1	10.000	fino a 8	fino a 4
2	20.000	fino a 4	fino a 2
3	40.000	fino a 2	nessuno

8.3.3.4 Modalità di trasporto e di conservazione del campione

Le modalità di trasporto e di conservazione delle aliquote destinate alle differenti analisi sono riportate di seguito.

- L’aliquota per analisi granulometrica deve essere raccolta in contenitori di plastica o vetro, trasportata e conservata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C.
- L’aliquota per l’analisi della sostanza organica eo TOC deve essere raccolta in contenitori vetro o polietilene e trasportata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C. Il campione deve essere conservato a -20 °C (solo per campioni non liofilizzati).
- L’aliquota per la chimica organica deve essere raccolta in contenitori vetro o polietilene e trasportata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C. Il campione deve essere conservato a -20 °C (solo per campioni non liofilizzati).
- L’aliquota per metalli e inorganici deve essere raccolta in contenitori vetro o polietilene e trasportata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C. Il campione deve essere conservato a -20 °C (solo per campioni non liofilizzati).
- L’aliquota per le analisi microbiologiche deve essere raccolta in contenitori polietilene o polistirolo sterili, trasportata e conservata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C. Le analisi microbiologiche sono da allestire in coltura sul campione fresco entro 36 ore.

- L'aliquota per i saggi ecotossicologici deve essere raccolta in contenitori vetro o polietilene, trasportata e conservata a temperature comprese tra i +4 °C e i +6 °C. I saggi ecotossicologici sono da eseguire sul campione fresco.

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.

8.3.3.5 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 per i parametri utilizzati ai fini della classificazione di qualità dei materiali; in entrambi i casi viene richiesto il possesso di certificazioni nazionali e/o internazionali relative all'inserimento in circuiti di calibrazione specifici (es. QUASIMEME, etc.) laddove esistenti, che diano dimostrazione della qualità delle analisi.

8.3.4) Analisi previste

Analisi fisiche

Su tutti i campioni prelevati deve essere effettuata una descrizione macroscopica che riporti la tipologia del sedimento: colore, odore, presenza di concrezioni, residui di origine naturale o antropica. La descrizione macroscopica deve essere particolarmente accurata per l'area di prelievo e per l'area di deposizione nel caso una possibile opzione di gestione dei materiali da dragare possa essere l'attività di ripascimento costiero; in particolare per la descrizione del colore devono essere utilizzate tavole cromatiche con la medesima scala per entrambi i siti. La descrizione macroscopica deve essere riportata nella "Scheda di campo".

Su ciascun campione devono essere effettuate analisi granulometriche. La determinazione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti deve prevedere l'individuazione delle principali frazioni dimensionali: ghiaia (> 2 mm), sabbia (2 mm < x < 0,063 mm) e pelite (silt: 0,063 mm < x < 0,004 mm + argilla: < 0,004 mm). I risultati devono essere espressi in percentuale. Nel caso di ripascimenti costieri deve essere prodotta anche la curva di distribuzione granulometrica cumulata e la ripartizione delle differenti frazioni sabbiose.

Le analisi mineralogiche (principali caratteristiche mineralogiche) sono facoltative. La metodologia preferibile per queste analisi è mediante tecniche di diffrazione a raggi X.

Analisi chimiche

La caratterizzazione chimica può risultare differente nei due Percorsi (I e II).

Per le aree del Percorso I è prevista, per la totalità dei campioni, la caratterizzazione chimica standard che prevede l'analisi dei parametri riportati nella Tabella A6.

Sulla base di indagini pregresse e/o delle caratteristiche desunte dalla Scheda di Inquadramento dell'area di escavo è facoltà dell'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione, che può avvalersi di soggetto del Sistema Nazionale delle Agenzie (ISPRA-ARPA-APPA) o di altro Istituto Scientifico Pubblico diverso da quello coinvolto nelle indagini ambientali di caratterizzazione dell'area, richiedere l'analisi di sostanze aggiuntive di cui si presume la pericolosità ambientale e/o sanitaria.

Per le aree del Percorso II, qualora si voglia usufruire del percorso semplificato, le analisi chimiche devono essere precedute dalle analisi ecotossicologiche. Una volta eseguite le analisi ecotossicologiche e le analisi granulometriche sui campioni singoli o composti, purché la tossicità della batteria sia risultata bassa o assente, si può procedere con la verifica dell'idoneità e sufficienza dei dati chimici disponibili. Solo in questo caso sui corrispondenti campioni a disposizione opportunamente conservati si dovrà procedere con l'analisi dei soli parametri chimici non idonei o non sufficienti. Questi ultimi devono essere valutati da un soggetto del Sistema Nazionale delle Agenzie (ISPRA-ARPA-APPA) o da altro Istituto Scientifico Pubblico diverso da quello eventualmente coinvolto nelle indagini ambientali di caratterizzazione dell'area.

La caratterizzazione chimica dei campioni per le aree del Percorso II segue quindi i seguenti criteri:

- Caratterizzazione chimica mirata: sui campioni classificati con tossicità bassa o assente e con informazioni idonee e sufficienti è possibile procedere all'analisi di una lista ridotta di parametri chimici (parametri mirati). Su questi campioni devono essere analizzati i soli parametri chimici di cui non siano disponibili le informazioni, mentre per ciascuno degli altri parametri viene assunto il valore di concentrazione corrispondente alla media geometrica di tutti i valori considerati idonei.
- Caratterizzazione chimica standard: sui campioni classificati con tossicità media o alta o per i quali le informazioni non siano ritenute idonee e/o sufficienti, si deve procedere con l'analisi dei parametri chimici standard (tabella A6). Si segue pertanto il procedimento di caratterizzazione per le aree del Percorso I.

Tabella A6: parametri da analizzare per la caratterizzazione chimica standard

Parametri chimici	Specifiche	Limite di quantificazione
Metalli e metalloidi	As, Cd, Cr _{tot} , Cr VI*, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, V*, Al*, Fe*	0.03 mg kg ⁻¹ (Cd, Hg); 1 mg kg ⁻¹ (i restanti)
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	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,b)antracene, Crisene, Indeno[1,2,3,c-d]pirene e loro sommatoria	1 µg kg ⁻¹
Idrocarburi C > 12		5 mg kg ⁻¹
Pesticidi organoclorurati	Aldrin, Dieldrin, Endrin, α-HCH, β-HCH, γ-HCH (Lindano), DDD, DDT, DDE (per ogni sostanza la somma degli isomeri 2,4 e 4,4), HCB, eptacloro epossido	0.1 µg kg ⁻¹
Policlorobifenili	Cogeneri: PCB 28, PCB 52, PCB 77, PCB 81, PCB 101, PCB 118, PCB 126, PCB 128, PCB 138, PCB 153, PCB 156, PCB 169, PCB 180 e loro sommatoria	0.1 µg kg ⁻¹
Composti organostannici	Monobutil, Dibutil, Tributilstagno e loro sommatoria	1 µg kg ⁻¹
Carbonio organico totale o sostanza organica totale		0.1 %

*da considerare come sostanze aggiuntive. La sommatoria T.E. PCDD, PCDF (diossine e furani) e PCB diossina simili sono da considerarsi anch'esse come sostanze aggiuntive normate dalla legge vigente in termini di specifiche e limiti di quantificazione (D.Lgs 172/2015).

Qualora il campione sia costituito da oltre l'80% di ghiaia (diametro > 2 mm), le analisi chimiche possono essere omesse, a meno di macroscopiche evidenze di inquinamento.

Analisi Microbiologiche

Ad oggi, non sono stati definiti dei valori limite di carattere sanitario per le abbondanze di indicatori di contaminazione fecale e singoli microrganismi patogeni nei sedimenti e nelle sabbie. Sulla base delle informazioni di cui alla Scheda di inquadramento dell'area, qualora i siti di dragaggio e/o di immersione oltre le 3 mn e/o di ripascimento siano situati nei pressi di aree destinate all'acquacoltura o alla balneazione, in queste ultime deve essere garantito il rispetto dei requisiti di qualità previsti nella normativa vigente per il comparto acque (Decreto Legislativo 152/2006; Reg. CE 854/2004; Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 116 e Decreto 30 marzo 2010 del Ministero della Salute).

In caso di ripascimenti costieri, i sedimenti possono essere collocati nel sito di destinazione solo al di fuori della stagione balneare.

Analisi ecotossicologiche (saggi biologici di tossicità)

I saggi biologici devono essere eseguiti su tutti i campioni destinati alle analisi, singoli o accorpati. Il sedimento intero o la frazione solida del sedimento deve essere saggiata “a fresco” (non congelata, non essiccata né liofilizzata) prima possibile e comunque non oltre 15 giorni di conservazione a 4 – 6 °C al buio; la frazione liquida (acqua interstiziale o elutriato 1:4 p/v) deve essere preparata entro 10 giorni dal sedimento tal quale conservato a 4°C al buio e, se non saggiata entro le 24 h dalla preparazione, conservata a -20°C fino al momento dell’analisi. I contenitori con la matrice di prova non devono presentare spazio d’aria. La batteria di minima deve essere composta da almeno 3 organismi appartenenti a gruppi tassonomici ben distinti, scegliendo una delle combinazioni di cui alla tabella A7: per ciascuna delle tipologie (1, 2 e 3) deve essere selezionato un saggio biologico a scelta tra quelli indicati con il segno “X”. La combinazione deve essere la stessa per la totalità dei campioni previsti nell’ambito della medesima istruttoria.

In caso di sedimento con percentuali di sabbia + ghiaia (diametro > 0,063 mm) maggiori del 90%, in considerazione dei possibili falsi positivi o dell’impossibilità di eseguire il saggio, la prova su fase solida può essere sostituita con almeno un ulteriore saggio a scelta su fase liquida tra quelli indicati in tabella A7 come 2° tipologia.

Tabella A7: saggi biologici utili per l’allestimento della batteria. Con la “X” vengono indicati i possibili saggi alternativi per ciascuna tipologia

Gruppo	Batteri		Alghe	Crostacei				Molluschi bivalvi		Echinodermi			
Specie	Vibrio fischeri (Bacteria)		Dunaliella tertiolecta Pheodactylum tricornutum Skeøtonema costatum (Algae)	Amphibalanus amphitrite (Crustacea)	Corophium spp (Crustacea)	Acartia tonsa (Crustacea)		Tigriopus fulvus (Crustacea)	Crassostrea gigas (Bivalvia)	Mytilus galloprovincialis (Bivalvia)	Paracentrotus lividus (Echinodermata)		
Matrice	fase liquida	fase solida	fase liquida	fase liquida	sedimento intero	fase liquida	sedimento intero	fase liquida	fase liquida	fase liquida	fase liquida		
Endpoint	Bioluminescenza		Crescita algale	Mortalità	Mortalità	Mortalità (48 h)	Mortalità (7 giorni)	Sviluppo larvale	Mortalità	Sviluppo larvale	Sviluppo larvale	Fecondazione	Sviluppo larvale
1° Tipologia		XA			XA			XC					
2° Tipologia	XA		XC	XA		XA			XA			XA	
3° Tipologia							XC			XC	XC		XC

A = saggio acuto.
 C = saggio cronico/a lungo termine/subcronico/risposta subletale.

Analisi delle comunità bentoniche

Ai fini della caratterizzazione è necessario fornire una descrizione delle comunità fito-zoobentoniche esistenti nell'area di intervento (lista specie, gruppi ecologici, gruppi trofici), con l'identificazione delle biocenosi più importanti, con particolare riferimento all'eventuale presenza di biocenosi di elevato pregio conservazionistico (praterie di fanerogame marine, coralligeno, beach rocks, ecc.). Inoltre è necessario fornire una descrizione delle popolazioni ittiche demersali ed aree di nursery, con particolare riferimento a specie di interesse commerciale.

Validità delle analisi

Le risultanze analitiche sono considerate valide per un periodo diverso per il Percorso I o per il Percorso II, a seconda che si tratti di sedimenti soggetti a rimescolamento o sedimenti dello strato profondo non interessato da fenomeni di perturbazione. 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, purché non si siano verificati eventi naturali o artificiali che abbiano modificato la situazione ambientale dal momento del campionamento. 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, con la sola ripetizione delle analisi fisiche ed ecotossicologiche, almeno sui campioni composti dello strato superficiale (0-50 cm) del fondale.

L'estensione della validità delle analisi per l'intero spessore viene confermata se il livello di tossicità della batteria di saggi ecotossicologici ripetuti, risulti uguale o inferiore a quello precedentemente ottenuto, e comunque "basso" o "assente". Nel caso il livello di tossicità dei campioni ripetuti risulti più alto o comunque "medio" o "alto", dovranno essere ripetute anche le analisi chimiche sui medesimi campioni e lo strato di sedimenti nuovamente caratterizzato dovrà essere classificato. In tal caso la validità delle analisi e la conseguente classificazione degli strati sottostanti viene comunque estesa in funzione del percorso.

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.

I laboratori devono fornire, in linea con quanto previsto dai principi per la Buona Pratica di Laboratorio, un Rapporto di Prova in cui devono essere riportati i risultati delle analisi e delle relative misure di controllo qualità per ciascun parametro. I risultati devono inoltre essere allegati alla Relazione tecnica (paragrafo 3.7) che deve contenere anche i dati relativi all'analisi delle comunità bentoniche e delle biocenosi presenti redatti da tecnico qualificato.

I risultati delle analisi chimiche devono riportare le informazioni sulla percentuale di recupero rispetto a materiali standard certificati, limite di quantificazione, incertezza estesa e valutazioni delle prestazioni analitiche.

I risultati dei saggi ecotossicologici devono indicare, oltre ai dati grezzi, il metodo ed i parametri statistici necessari, a supporto dell'affidabilità del dato. Le informazioni da riportare nei Rapporti di Prova delle indagini ecotossicologiche sono: campione, data di campionamento, matrice, concentrazione/i testata/e, organismo test, metodo utilizzato, end point misurato, sostanza tossica di riferimento (controllo positivo), EC50 e limiti fiduciali (controllo positivo), range di riferimento e/o carta di controllo, acqua usata per il test come controllo/diluente, parametri di controllo (es. salinità, pH, Temperatura), numero di repliche, tempo di esposizione, EC20 con limiti fiduciali, EC50 con limiti fiduciali, effetto percentuale medio alla conc. max, deviazione standard delle repliche alla conc. max; per il saggio in fase solida con *Vibrio fischeri* è necessario fornire anche informazioni sulla tossicità misurata (TU50) \pm Lim fiduc. (95%), R2 e sediment Toxicity Index (STI). La possibilità di inserire tutte queste informazioni dipende dalle metodologie previste dal saggio biologico utilizzato. Inoltre, nel caso di utilizzo dei criteri di integrazione ponderata (paragrafo 3.5), i risultati devono essere espressi come effetto misurato nel campione (\pm scarto tipo σ) e nel controllo negativo (\pm scarto tipo σ), riferito alla massima concentrazione del campione testata (compatibilmente al metodo del saggio impiegato). Invece, nel caso della classificazione ecotossicologica secondo il criterio tabellare ottenuto nell'ambito della batteria di saggi biologici utilizzata, i risultati devono essere espressi come EC20 e/o EC50 con i relativi limiti fiduciali o come effetto (\pm scarto tipo σ) rispetto al controllo negativo (riportando il dato anche di quest'ultimo) e riferito alla massima concentrazione del campione testata in relazione al metodo del saggio impiegato.

8.3.5) 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 $L1 < L2$). Il confronto può essere effettuato con "riferimenti" sito-specifici, qualora tali livelli siano stati definiti a livello locale secondo criteri specifici.

La classificazione chimica dei materiali è quindi basata sui livelli chimici di riferimento nazionali (L1 e 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. Tutti i parametri chimici di cui è prevista l'analisi, hanno un "peso" (da 1 a 1.3) a seconda che non siano contemplati dalla Direttiva 2013/39/UE (peso 1), o che al contrario siano inseriti nella lista delle sostanze "prioritarie" (peso 1.1) o in quella delle sostanze "pericolose e prioritarie" (peso 1.3), o siano annoverati nella convenzione di Stoccolma sui POP (peso 1.3). Il diverso peso assegnato ai vari composti ha lo scopo di conferire una maggiore rilevanza, nella classificazione chimica dei sedimenti, alla variazione di quegli inquinanti che siano caratterizzati da una più elevata tossicità, tendenza al bioaccumulo e persistenza nell'ambiente o che debbano essere soggetti ad una progressiva riduzione nell'ambiente secondo gli obiettivi posti dalla Direttiva Quadro sulle Acque.

La classificazione chimica è quindi basata sull'elaborazione di un indice Hazard Quotient chimico (HQc) che considera la tipologia e il numero dei parametri non conformi, nonché l'entità di tali superamenti e sulla sua successiva attribuzione in una classe di pericolo (da assente a molto alto).

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).

La classificazione ecotossicologica è quindi basata sulle risultanze della batteria di saggi biologici utilizzati.

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 (contemplando la variabilità tra le repliche, sia nel controllo, sia nel campione); la severità dell'effetto (inteso come gravità del danno biologico misurato dallo specifico end-point); la tipologia di esposizione (acuta o a breve termine, cronica o a lungo termine); la rappresentatività ambientale della matrice testata. Per ciascuno dei saggi previsti nelle diverse tipologie di batterie utilizzabili è indicata una "soglia" di effetto che rappresenta la variazione minima ritenuta biologicamente significativa per ciascuna condizione sperimentale e sono indicati anche i "pesi" attribuiti a ciascun saggio in funzione della rilevanza biologica dell'end-point misurato, della durata dell'esposizione, 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 ottenute attraverso l'applicazione dei suddetti criteri tabellari o dei criteri di integrazione ponderata.

Qualora il campione sia costituito da oltre l'80% di ghiaia (diametro > 2 mm) e quindi non sia possibile definire una classe chimica, la classe di qualità del materiale corrisponde alla migliore tra quelle previste dalla classe di tossicità ecotossicologica rilevata.

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.

8.3.6) Gestione dei sedimenti in ambito marino-costiero

A seconda della classe di qualità di appartenenza del materiale è possibile attuare le diverse opzioni di gestione riportate di seguito.

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

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.

8.3.7) 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. La classificazione delle singole aree unitarie deve essere rappresentata (per livelli) su carta rispetto alla batimetria, a partire dalla quota di dragaggio e fino alla quota l.m.m. del fondale al momento del campionamento. Nella Relazione tecnica devono essere riportate le principali classi granulometriche per ciascun campione analizzato [ghiaia ($> 2 \text{ mm}$), sabbia ($2 \text{ mm} < x < 0,063 \text{ mm}$) e pelite (silt: $0,063 \text{ mm} < x < 0,004 \text{ mm}$ + argilla: $< 0,004 \text{ mm}$)]. Inoltre, devono essere riportati e discussi i risultati della caratterizzazione chimica e i risultati dei saggi ecotossicologici, (inclusi i dati relativi ai controlli positivi rapportati alla carta di controllo del laboratorio), in forma riepilogativa tabellare.

8.4) 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.

8.4.1) 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 in quanto:

- non creano torbidità dovuta alle operazioni di dragaggio;
- non comportano scompensi sedimentologici e quindi non prevedono ripristini morfobatimetrici successivi alle operazioni di escavo;
- non comportando rimozione dei sedimenti, non rimuovono le comunità biologiche e microbiologiche che vengono invece utilizzate ed incrementate ai fini della degradazione biologica dei contaminanti organici;
- non comportano difficoltà logistiche (trovare spazi a terra, normative per impianti, problemi di gestione dei materiali trattati, etc.).
- contribuiscono al risparmio di risorse economiche.

Per tali motivi i trattamenti in situ sono da considerarsi come scelta prioritaria, nel caso in cui siano attuabili nell'ambiente specifico.

Tali tecnologie presentano comunque alcuni svantaggi che, oltre ai limiti ambientali (condizione di saturazione, ambiente anaerobico e temperatura), riguardano soprattutto la difficoltà di assicurare la completa miscelazione dei reagenti eventualmente utilizzati nel trattamento, la difficoltà di controllo dei parametri di processo, la previsione dei tempi di intervento e la possibilità, nel caso di trattamento chimico o biologico, di una contaminazione secondaria.

La bonifica dei sedimenti contaminati, utilizzando tecnologie di trattamento in situ, è una procedura molto complessa a causa della natura dinamica dei sistemi acquatici e quindi della mobilitazione, risospensione, trasporto e sedimentazione delle specie inquinanti.

Molto spesso buona parte del costo del trattamento è dovuta alle campagne di monitoraggio effettuate nella fase successiva al trattamento vero e proprio, ma si è stimato che i costi di risanamento ammontano circa al 20% dei costi che si andrebbero a sostenere nel caso in cui l'alternativa sia costituita da un dragaggio ed un seguente smaltimento in discarica controllata.

I trattamenti in situ possono essere di tipo :

- **Biologico.** Si basano sull'ossidazione biologica della sostanza organica da parte di microrganismi quali batteri e funghi. Sebbene molti contaminanti possano essere degradati naturalmente dai microrganismi, spesso il processo è troppo lento, quindi l'aggiunta di additivi può stimolare l'attività microbica. Per accelerare i processi di degradazione biologica possono essere inoltre inoculati batteri autoctoni, substrati per la biomassa presente in situ o attivatori enzimatici per stimolare l'attività dei batteri. La degradazione dei contaminanti organici porta alla formazione di molecole a minore complessità e tossicità. Nelle fasi intermedie della degradazione possono generarsi sostanze più solubili e tossiche rispetto a quelle di partenza (contaminazione secondaria). La degradazione dei contaminanti organici può avvenire tramite processi aerobici ed anaerobici. La degradazione aerobica richiede la presenza di nutrienti e l'apporto continuo di ossigeno. Di conseguenza non è realizzabile nel caso di trattamento di sedimenti profondi. I nutrienti più comuni sono azoto e fosforo, ma altri possibili nutrienti sono Fe, Mg, K, Ca, Na, S e Mn. La degradazione anaerobica avviene ad opera di microrganismi in grado di vivere in assenza o scarsità di ossigeno, in presenza di nitrati. La degradazione anaerobica è più lenta della degradazione aerobica e può essere applicata per la degradazione di un numero inferiore di specie inquinanti.
- **Chimico.** Includono processi di neutralizzazione, precipitazione, ossidazione e dealogenazione. Tutti i trattamenti chimici in situ producono degli effetti secondari che possono essere legati sia all'effetto tossico dei reagenti, sia alla produzione di prodotti tossici. Di conseguenza, l'applicazione dei trattamenti chimici è limitata a situazioni nelle quali l'area da sottoporre a bonifica può essere monitorata o i flussi delle nuove sostanze prodotte possono essere facilmente intercettati. Nelle tecnologie di trattamento chimico l'omogeneizzazione del sedimento contaminato con i reagenti costituisce un problema fondamentale.

Altre due tipologie di trattamento in situ, riportate nella bibliografia internazionale, sono il confinamento dei sedimenti (capping) e la solidificazione/stabilizzazione. Tali tecnologie vengono riportate di seguito per completezza d'informazione, ma si fa notare che, pur consentendo una diminuzione della diffusione dei contaminanti all'ambiente circostante, potrebbero non risultare duraturi a lungo termine e con un impatto negativo sull'ecosistema acquatico. Per tali motivi tali tecnologie potrebbero non essere idonee in un ecosistema complesso quale quello del Mar Mediterraneo. Possono eventualmente essere prese in considerazione solo per un intervento di messa in sicurezza di emergenza in aree particolari.

- **Confinamento dei sedimenti (capping).** Questa tecnologia è intesa più come un intervento di contenimento piuttosto che di trattamento. Vengono impiegati strati puliti di sabbia, limo, roccia, materiali geotessili o una loro combinazione per l'isolamento dei sedimenti contaminati. I costi di intervento sono molto bassi e ciò rende il trattamento applicabile su larga scala. Allo stato attuale sono in fase di sviluppo dei sistemi di capping in grado di reagire con i contaminanti per diminuirne il grado di tossicità e più resistenti ai fenomeni erosivi.

- **Solidificazione/stabilizzazione.** Questa tipologia di processi prevede l'aggiunta di specie chimiche o sostanze cementanti per incapsulare il sedimento contaminato e/o convertirlo in una forma meno solubile, meno mobile o meno tossica e rappresenta una soluzione nel caso in cui sia presente una contaminazione da metalli. La difficoltà maggiore di questa tecnica di trattamento è rappresentata dalla mancanza di controllo dei dosaggi dei reagenti; si possono ottenere differenti livelli di trattamento all'interno della stessa area da sottoporre a bonifica. E' importante minimizzare l'impatto del trattamento sulla colonna d'acqua: in condizioni ideali non si hanno migrazioni di contaminanti verso la colonna d'acqua, mentre in condizioni operative la fase di miscelazione può generare la risospensione del contaminante legato alla frazione fine del sedimento. La temperatura e le condizioni di miscelazione sono tra i principali parametri di processo da cui dipende la presa dell'agente conglomerante con il sedimento e poiché sono entrambi difficili da controllare, la solidificazione/stabilizzazione è una tecnica poco sfruttata. Inoltre, nel caso di fenomeni di erosione e di diffusione legati al moto delle maree o dei natanti potrebbe verificarsi una cessione delle specie contaminanti. I costi del trattamento sono fino a dieci volte inferiori rispetto alla corrispondente tecnica applicata ex situ.

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. In particolare, alcune specie vegetali sono in grado sia di mineralizzare e trasferire negli apparati radicali i composti organici tossici, sia di accumulare e concentrare i composti inorganici nella parte aerea. Sebbene allo stato attuale tale tecnica di trattamento risulti scarsamente applicata, essa presenta alcuni vantaggi, tra i quali il modesto impatto ambientale.

I trattamenti di fitorisanamento possono essere applicati in situ, con piante autoctone, in aree prospicienti la costa, caratterizzate da batimetrie ridotte e da uno scarso idrodinamismo, per esempio per ripristinare aree di costa erose o ambienti umidi; tale tecnologia può anche essere utilizzata ex situ sul materiale dragato, eventualmente sottoposto a lavaggio per abbassare il grado di salinità, e conferito in bacini di lagunaggio, utilizzando piante selezionate appositamente in base al tipo di contaminazione da rimuovere.

Sulla base del meccanismo responsabile della decontaminazione del sedimento, i trattamenti di fitorisanamento possono essere distinti in :

- **Fitoestrazione** : viene operata da piante cosiddette iper-accumulatrici, caratterizzate da una elevata capacità di estrazione dei metalli, dei radionuclidi e di alcuni composti organici dal suolo e dai sedimenti, con conseguente concentrazione dei contaminanti negli apparati radicali e nella porzione epigea; quest'ultima può essere rimossa ed avviata ad opportuno trattamento al raggiungimento delle condizioni di equilibrio tra pianta e substrato esterno, in corrispondenza delle quali cessa l'assorbimento dei contaminanti da parte della pianta stessa

- **Rizofiltrazione** : sebbene tale processo rivesta un ruolo fondamentale nei trattamenti di fitodepurazione delle acque, esso può essere sfruttato anche per il trattamento delle acque di dilavamento dei sedimenti contaminati; la rizofiltrazione viene operata da piante iperaccumulatrici ad apparato radicale particolarmente diffuso, in grado di assorbire e concentrare i metalli nelle radici nonché di promuoverne la precipitazione a seguito di processi di essudazione di fosfati
- **Fitodegradazione** : consiste nella decomposizione delle molecole organiche complesse in molecole semplici e nell'eventuale trasferimento dei cataboliti non tossici nei tessuti vegetali
- **Fitostabilizzazione** : viene operata da piante in grado di tollerare la presenza di quantità elevate di metalli nei sedimenti e di produrre composti chimici che immobilizzano i contaminanti all'interfaccia radici-suolo, attraverso fenomeni di assorbimento, precipitazione chimica e complessazione
- **Fitostimolazione o biodegradazione rizosfera-dipendente** : consiste nella stimolazione della biodegradazione dei composti organici complessi a seguito del rilascio di essudati contenenti carbonio organico ed enzimi nella rizosfera da parte delle piante
- **Fitovolatilizzazione** : viene così indicata la trasformazione di alcuni metalli e di alcune sostanze organiche contaminanti (es. composti clorurati) in forme chimiche volatili, che vengono quindi rilasciate in atmosfera; l'applicazione di un trattamento di fitorisanamento basato su tale meccanismo di rimozione dei contaminanti richiede una attenta valutazione degli effetti indotti sul comparto atmosferico. Le piante iperaccumulatrici risultano in grado di immagazzinare i metalli pesanti in quantità tali per cui la loro concentrazione finale nella pianta risulta pari ad alcune unità percentuali. Sperimentazioni condotte sul fitorisanamento hanno mostrato che tale tipo di trattamento è potenzialmente applicabile per la rimozione di: metalli pesanti, radionuclidi, solventi clorurati, BTEX, PCB, IPA, pesticidi clorurati, pesticidi organici fosforiti, esplosivi, nutrienti, tensioattivi.

L'applicazione di un trattamento di fitorisanamento richiede una analisi preliminare volta alla individuazione della specie vegetale più adatta nelle condizioni specifiche di riferimento.

In particolare, devono essere correttamente analizzati :

- l'affinità della pianta alla rimozione o al contenimento dei contaminanti presenti nella matrice solida
- la capacità della pianta di tollerare le quantità di contaminanti presenti nella matrice solida
- gli obiettivi finali del trattamento (concentrazione residua dei contaminanti nel suolo, loro biodisponibilità e lisciviabilità)

- capacità della pianta di attecchire nelle condizioni ambientali caratteristiche del sito nel quale viene effettuato il fitorisanamento (condizioni climatiche, circolazione delle acque, struttura e caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo o del sedimento)

Una particolare applicazione del trattamento di fitorisanamento prevede la realizzazione di lagune artificiali, nelle quali possono essere utilizzate piante sia di tipo sommerso sia emerse. L'impiego di piante emerse presenta il vantaggio di una maggiore semplicità delle

operazioni di sfalcio, sebbene le piante di tipo sommerso siano caratterizzate in generale da una maggiore efficacia di trattamento.

8.4.2) Tecnologie di trattamento ex situ

I trattamenti ex situ prevedono il dragaggio dei sedimenti contaminati ed una successiva fase di trattamento. A seconda che i sedimenti vengano trattati nelle prossimità dell'area di escavo o vengano trasportati in appositi impianti lontano da detta area si parlerà rispettivamente di trattamenti on site o off site.

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 (peso specifico, granulometria) tale da non compromettere l'efficienza delle tecnologie di trattamento
- ridurre i volumi da trasportare, da inviare a futuri trattamenti o da conferire in discarica

I pre-trattamenti possono prevedere la separazione delle diverse classi granulometriche e/o l'eliminazione dell'acqua (disidratazione). A seconda dello scopo che si vuole raggiungere e del tipo di sedimento che si vuole trattare sarà possibile utilizzare una o entrambe le tecniche sopra esposte.

Separazione granulometrica

Le tecnologie normalmente definite di separazione permettono di rimuovere da un sedimento dragato il materiale appartenente ad una certa classe granulometrica (es. sabbia) e di separare il sedimento in due o più frazioni sulla base delle proprietà fisiche. La separazione delle diverse classi granulometriche permette di diminuire i volumi da trattare e di rendere più omogeneo il materiale da inviare a successivi trattamenti.

In alcuni casi, il processo di separazione, può essere considerato un trattamento vero e proprio: i contaminanti tendono infatti a concentrarsi nella frazione fine dei sedimenti. L'esperienza mostra che le caratteristiche del sedimento che influenzano l'adsorbimento di alcuni contaminanti sono l'elevata percentuale di frazione fine e organica. Le particelle fini, presentando una superficie specifica maggiore rispetto alle sabbie ed un'elevata attività superficiale si legano con particolare forza alle specie inquinanti rendendo difficoltose le operazioni di decontaminazione. Le sabbie, caratterizzate da una bassa superficie specifica e da una bassa densità di carica superficiale hanno una scarsa reattività e si legano in modo meno forte ai contaminanti. La separazione sabbia/limo in un sedimento, potrebbe anche permettere il riutilizzo immediato delle sabbie in esso contenute. Le apparecchiature che permettono di realizzare le operazioni di separazione sono i vagli, i bacini di sedimentazione, i classificatori idraulici, gli idrocycloni e le celle di flottazione.

Disidratazione

L'eliminazione dell'acqua dal materiale dragato può avvenire in tre differenti modi :

- **Disidratazione passiva** (casce di colmata, letti di essiccamento): la riduzione del contenuto d'acqua avviene attraverso la sedimentazione, l'evaporazione naturale o attraverso l'impiego di sistemi drenanti.
- **Disidratazione meccanica** (nastropresse, filtropresse, ispessimento a gravità, centrifugazione): appartengono a questa tipologia tutte quelle tecnologie normalmente applicate alla disidratazione dei fanghi industriali e civili e ai processi dell'industria mineraria. In generale le apparecchiature utilizzate richiedono una certa energia per poter spremere, pressare e quindi disidratare il materiale dragato. Il contenuto di solido in peso può arrivare al 70%.
- **Disidratazione chimica**: l'aggiunta di reagenti chimici può facilitare la disidratazione del sedimento con formazione di composti stabili che bloccano i metalli. L'acqua proveniente dalle operazioni di disidratazione può richiedere trattamenti preliminari per lo scarico nei corpi idrici ricettori o per il riutilizzo all'interno del processo stesso.

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 generale il processo di trattamento si realizza con una combinazione di interventi di natura chimico-fisica. Ad esempio un sedimento che in generale può contenere una miscela di metalli pesanti e sostanze organiche, può essere trattato rimuovendo, concentrando e recuperando i metalli pesanti in una prima fase (attacco acido) e degradando successivamente, o distruggendo (termicamente), la sostanza organica, in un secondo momento.

In base alla tecnologia utilizzata per la rimozione dei contaminanti i trattamenti possono essere suddivisi in :

- Trattamenti biologici
- Trattamenti chimico-fisici
- Trattamenti termici

Trattamenti biologici

I trattamenti biologici si basano sulla biodegradazione, cioè sulla ossidazione biologica della sostanza organica biodegradabile da parte di particolari microrganismi. Tale tecnologia sfrutta la capacità di funghi e batteri di degradare composti organici complessi in forme più semplici: è un processo che avviene naturalmente nei terreni e nei sedimenti contaminati in presenza di inquinanti organici (biorisanamento naturale), ma può anche essere indotto somministrando appositamente i microrganismi necessari (es. batteri). Il trattamento biologico di sedimenti marini in generale risulta molto meno efficiente, data la presenza dei sali nel materiale dragato e per questo occorre effettuare un pre-trattamento (lavaggio).

Tra i processi di biodegradazione troviamo :

- **landfarming**. Consiste nella realizzazione di un bacino di trattamento confinato e provvisto di fondo drenante. L'umidità del suolo viene mantenuta costante irrigando in modo controllato il sedimento; la velocità di degradazione dei contaminanti può variare fortemente a seconda della stagione, importante è l'attività dissodativa dello strato di sedimento contaminato che usualmente viene realizzata con cadenza giornaliera e che ha un effetto favorevole sulla biodegradazione aerobica. Questa tecnica è applicabile con successo ai sedimenti contaminati da idrocarburi e oli minerali degradabili con percentuale di rimozione maggiore dell'80% e con tempi di bonifica dell'ordine dei mesi. Il materiale sottoposto a tale trattamento deve essere omogeneo, permeabile e prevalentemente sabbioso.
- **Bio-pile**. Il principio di funzionamento di una biopila per il trattamento dei sedimenti contaminati è del tutto analogo a quello del landfarming, sebbene richieda minori spazi. La differenza sostanziale è costituita dal metodo di trasferimento dell'ossigeno. Nella preparazione di una biopila il materiale viene disposto in strati sovrapposti intervallati con tubi forati per la distribuzione, nella massa di materiale da trattare, di aria e soluzioni contenenti i nutrienti necessari alla crescita dei microrganismi. L'aerazione che avviene per aspirazione permette inoltre di controllare le emissioni in atmosfera.
- **Compostaggio**. Il trattamento biologico di compostaggio è realizzato in fase solida e consente di conseguire la degradazione dei contaminanti organici grazie all'attività biologica di microrganismi aerobici. Il processo di compostaggio può essere condotto mediante l'adozione di diverse configurazioni impiantistiche (compostaggio a cumuli rivoltati, compostaggio ad aerazione forzata).

- **Bioreattori Bioslurry.** I trattamenti biologici in sospensione prevedono il trattamento dei sedimenti in reattori biologici. Nel reattore vengono garantiti la corretta miscelazione ed il contatto tra i microrganismi ed i composti che devono essere degradati, e sono mantenute le condizioni operative ottimali per l'attività biologica. Un vantaggio dei trattamenti biologici in fase sospesa è rappresentato dalla possibilità di trattare un ampio numero di contaminanti, quali pesticidi, benzine, policlorofenoli, alcuni composti alogenati organici.

Trattamenti chimico-fisici

I trattamenti chimico-fisici sono differenziabili in processi di natura fisica, in cui viene favorito il trasferimento di fase dei contaminanti o comunque la loro separazione dalla matrice solida del sedimento, e processi di natura chimica, in cui viene modificata la struttura chimica dei contaminanti con formazione di composti meno tossici o più facilmente separabili dalla matrice del sedimento e infine processi di natura elettrochimica e chimico-fisica.

Tra i principali processi vengono esaminati :

- **Lavaggio del sedimento.** I contaminanti vengono trasferiti in una frazione liquida acquosa, eventualmente addizionata con opportuni reagenti. Il processo avviene per effetto di due meccanismi: la dissoluzione e la dispersione dei contaminanti nel liquido di estrazione sotto forma di particelle sospese. In funzione del tipo di contaminazione possono essere utilizzati i seguenti fluidi di lavaggio: acqua, acqua con tensioattivi, soluzioni acide, soluzioni alcaline, agenti complessanti e solventi organici. Con il lavaggio possono essere trattati sedimenti contaminati da una grande varietà di sostanze inquinanti, ma l'efficienza e l'economicità del processo è tanto più alta quanto più il sedimento presenta una granulometria grossolana (0.25 - 2 mm).
- **Ossidazione.** Questo trattamento prevede la degradazione ossidativa dei contaminanti presenti nel sedimento da parte di sostanze con potenziale redox maggiore. I sedimenti più adatti per questo tipo di decontaminazione sono quelli argillosi, inquinati da sostanze organiche a basso potenziale redox. I reattivi utilizzati sono ozono, acqua ossigenata e biossido di cloro.
- **Decontaminazione elettrocinetica.** E' un processo in cui una corrente elettrica (continua) viene applicata al sedimento attraverso due elettrodi che inducono un flusso migratorio di ioni, ad esempio metallici, in soluzione acquosa, i quali vengono eliminati insieme all'acqua.
- **Estrazione con solventi.** Vengono utilizzati solventi organici come agenti estraenti. Alla fase di estrazione segue una fase di separazione in cui i contaminanti organici vengono separati dal solvente estraente mediante un cambiamento di temperatura o di pressione. Questo processo si utilizza con successo nel trattamento dei sedimenti contaminati da PCB, composti organici ad elevato peso molecolare e pesticidi. Tra i solventi utilizzati industrialmente ci sono idrocarburi clorurati (CHCl₂, CHCl₃), chetoni (acetone), idrocarburi aromatici e altre sostanze come esano, etanolo ecc.

- **Estrazione per flottazione.** Basato sulla coagulazione selettiva su bolle d'aria dei contaminanti e/o particelle di sedimento. I contaminanti che vengono rimossi più facilmente sono gli oli minerali, gli IPA, i cianuri e in parte alcuni metalli pesanti come piombo e rame; l'efficienza più elevata si ottiene nei sedimenti prevalentemente sabbioso-limosi.
- **Riduzione.** E' la trasformazione riduttiva dei contaminanti a prodotti di minore tossicità e/o mobilità da parte di sostanze riducenti inorganiche o metalliche. E' un processo impiegato per decontaminare siti inquinati da sostanze organiche insature o da metalli riducibili come il Cr VI; la reazione di riduzione sviluppa idrogeno.
- **Chelazione.** Processo che avviene tra un catione di metallo e un legante (agente chelante) con formazione di un complesso stabile (chelato). Il catione di metallo, una volta legato, non è più disponibile per ulteriori reazioni con altri reagenti in sistemi chimici o biologici. Il pH è uno dei parametri che maggiormente influenza il processo di trattamento. L'efficienza varia in funzione dell'agente chelante e del dosaggio.
- **Solidificazione/stabilizzazione (inertizzazione).** Con questi processi viene ridotta la mobilità dei contaminanti, limitandone il trasferimento all'ambiente circostante. Ciò si ottiene riducendo la superficie disponibile per il dilavamento con la creazione di una matrice solida compatta (solidificazione) e/o legando chimicamente il contaminante alla matrice solida (stabilizzazione). Il sedimento viene miscelato con leganti o con altri agenti chimici sia di natura inorganica sia di natura organica (cemento, calce, argilla, sostanze termoplastiche, polimeri organici e composti macroincapsulanti). I contaminanti che possono essere efficacemente immobilizzati sono quelli di natura inorganica. Tale tecnologia di trattamento, non riducendo il contenuto di contaminanti presenti nel sedimento tal quale e determinando solo una riduzione della mobilità dei contaminanti stessi, può eventualmente essere utilizzata per un intervento di messa in sicurezza di emergenza in attesa della successiva bonifica o per il declassamento del sedimento ai fini del conferimento in discarica o per l'eventuale riutilizzo a terra del materiale nel campo delle opere civili, ove la normativa vigente lo permettesse (per esempio nella costruzione di strade).

Trattamenti termici

I trattamenti termici consentono di rimuovere, distruggere o immobilizzare un'ampia gamma di contaminanti organici ed inorganici presenti nei sedimenti; in generale si parla di desorbimento termico e di trattamenti di termodistruzione quando le temperature di trattamento sono rispettivamente inferiori a 550 °C – 650 °C e comprese tra 600 °C e 2000 °C. Durante l'applicazione di un trattamento termico, i diversi contaminanti presenti nei sedimenti possono prendere parte ad una o più delle seguenti reazioni:

- volatilizzazione delle specie caratterizzate da elevata tensione di vapore
- completa ossidazione o trasformazione in forme meno pericolose

- intrappolamento all'interno della massa fluida.
- Un trattamento termico deve essere completato con sistemi per il contenimento, il controllo ed il trattamento delle emissioni gassose e per l'estrazione e la gestione dei residui solidi. In funzione della temperatura di processo, i trattamenti termici possono essere classificati in :
 - ✓ trattamenti di separazione dei contaminanti (desorbimento)
 - ✓ trattamento di termodistruzione dei contaminanti organici ed immobilizzazione dei contaminanti inorganici, ai fini del riutilizzo del materiale trattato.
 - ✓ trattamenti di termodistruzione (incenerimento, pirolisi, gassificazione, ossidazione ad alta pressione)
 - ✓ trattamenti di immobilizzazione dei contaminanti (vetrificazione, termodistruzione al plasma).

Nei trattamenti di desorbimento termico si ottiene la vaporizzazione dei contaminanti organici volatili e semivolatili del sedimento. Tra questi processi troviamo :

- **Desorbimento termico.** Questo processo consiste nella vaporizzazione dei contaminanti organici allontanati dal sedimento tramite un fluido di trasporto (ad esempio aria, gas di combustione, gas inerte). Si raggiungono temperature intorno ai 300 °C, con un tempo di residenza minimo di circa 30 minuti, il riscaldamento può essere diretto (es. essiccatore a letto fluido) o indiretto (tamburo rotante a pareti riscaldate). Vengono rimossi contaminanti organici tra cui PCB e in minor misura i metalli maggiormente volatili come mercurio e arsenico.
- **Estrazione con vapore.** Viene iniettato del vapore a temperature variabili tra 150 °C e 230 °C che provoca la volatilizzazione dei contaminanti i quali vengono captati ed estratti dal sedimento. Questa tecnica è applicata per la rimozione di contaminanti come IPA, oli minerali, idrocarburi alogenati, etc. Tra i processi di termodistruzione ed immobilizzazione troviamo:
- **Vetrificazione.** Consiste nel riscaldamento del sedimento ad una temperatura compresa tra i 1600 °C - 2000 °C, che comporta l'iniziale fusione del sedimento, seguita da un rapido raffreddamento che porta alla formazione di un monolite amorfo e non cristallino in cui rimangono intrappolati i contaminanti inorganici non volatili. Il prodotto vetrificato così ottenuto può essere impiegato nel settore dell'edilizia.
- **incenerimento.** E' il metodo per eliminare i contaminanti organici, i cianuri complessi e, in parte, alcuni metalli come arsenico, mercurio e piombo. Esistono diverse tecnologie impiantistiche adottabili e generalmente le temperature di incenerimento variano tra 1000 °C - 1200 °C.

- **Termodistruzione al plasma.** Il plasma è un gas ionizzato elettricamente. La ionizzazione avviene tramite il passaggio del gas (in genere aria) attraverso un arco elettrico generato da una “torcia ad arco-plasma”. L’energia trasferita al sedimento sottoforma di calore (1600 °C - 2000 °C) permette la distruzione dei contaminanti organici e l’intrappolamento dei metalli nell’ammasso vetroso.
- **Pirolisi.** E’ un processo di decomposizione termochimica di materiali organici in componenti gassose, applicando una temperatura compresa tra i 400 °C - 800°C in completa assenza di un agente ossidante o in presenza di una ridottissima quantità di ossigeno (parziale gassificazione).
- **Processi combinati di termodistruzione ed immobilizzazione.** Sono processi in cui le temperature di esercizio sono comprese fra i 600 °C ed i 1400 °C, ai fini del riutilizzo dei materiali trattati per la produzione di mattoni, cementi o in generale materiali stabilizzati per l’utilizzo nel campo delle opere civili.

8.5) CONCLUSIONI

Allo stato attuale in Italia le operazioni di dragaggio all’interno dei Siti di bonifica di Interesse Nazionale (SIN) sono disciplinate dall’art. 5-bis della L. 84/1994 e ss.mm.ii. e dal D.M. 7/11/2008 (così come modificato dal successivo D.M. 4/08/2010). L’art. 5 bis fornisce anche indicazioni sulle possibili opzioni di gestione dei sedimenti dragati.

Le operazioni di dragaggio al di fuori dei SIN sono disciplinate dal D.M. 173/2016 “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l’autorizzazione all’immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”, che stabilisce le procedure per il rilascio dell’autorizzazione alla immersione deliberata in mare dei materiali di cui alla lettera a), comma 2, dell’art. 109 del D.lgs. 152/2006 (materiali di escavo di fondali marini o salmastri o di terreni litoranei emersi), tenuto conto della finalità di tutela dell’ambiente marino e al fine di consentire l’uso legittimo del mare.

Le fasi delle operazioni riferite sia alle aree SIN sia a quelle al di fuori dei SIN sono le medesime: strategie e metodiche di campionamento, analisi dei campioni, classificazione dei campioni prelevati, elaborazione dei risultati, gestione dei sedimenti in ambito marino – costiero.

Le tecnologie di trattamento dei sedimenti si differenziano tra “in situ” ed “ex situ”.

Il trattamento “in situ” permette di non rimuovere il sedimento ed è pertanto quello a minore impatto dal punto di vista ambientale e, laddove sia possibile, è quello da preferire.

Il trattamento dei sedimenti “ex situ”, invece, risulta in genere più lungo ed oneroso poiché richiede un dragaggio preventivo e una fase di pre-trattamento che precede la fase di trattamento vera e propria.

8.6) Documenti di riferimento

- **LEGGE 28 gennaio 1994, n. 84 e e ss.mm.ii**

Riordino della legislazione in materia portuale

- **DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152**

Norme in materia ambientale

- **DECRETO MINISTERIALE 7 novembre 2008**

Disciplina delle operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale, ai sensi dell'articolo 1, comma 996, della legge 27 dicembre 2006, n. 296

- **DECRETO MINISTERIALE 4 agosto 2010**

Modifica della tabella A2, dell'allegato A del decreto ministeriale 7 novembre 2008, relativo alla disciplina delle operazioni di dragaggio nei siti di bonifica di interesse nazionale.

- **DECRETO MINISTERIALE 15 luglio 2016, n. 172**

Regolamento recante la disciplina delle modalità e delle norme tecniche per le operazioni di dragaggio nei Siti di Interesse Nazionale, ai sensi dell'art. 5-bis, comma 6, della Legge 28 gennaio 1994, n.84

- **DECRETO MINISTERIALE 15 luglio 2016, n. 173**

Regolamento recante modalita' e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini.

- **DECRETO MINISTERIALE 24 gennaio 1996**

Direttive inerenti le attività istruttorie per il rilascio delle autorizzazioni di cui all'art. 11 della legge 10 maggio 1976, n. 319, e successive modifiche ed integrazioni, relative allo scarico nelle acque del mare o in ambienti ad esso contigui, di materiali provenienti da escavo di fondali di ambienti marini o salmastri o di terreni litoranei emersi, nonché da ogni altra movimentazione di sedimenti in ambiente marino.