

Sommaire

1. Prémisses

2. Analyse des avantages, des coûts et des risques

2.1 Rôle du port et économie circulaire

3. Plastiques

3.1 Méthodologie d'analyse coûts-avantages

3.1.1 Coûts directs

3.1.2 Coûts indirects – coûts environnementaux

3.1.3 Coûts intangibles

3.1.4 Bénéfices directs

3.1.5 Bénéfices indirects

3.2 Technologies de traitement du plastique et économie circulaire

3.3 Essais en laboratoire sur les plastiques

3.3.1 Résumé

3.3.2 Note d'introduction

3.3.3 Objectif du document

3.3.4 Analyse chimique / physique du matériau sélectionné pour l'expérimentation

3.3.5 Essais de gazéification en laboratoire

3.3.6 Tests de purification de gaz de synthèse avec la technologie de la torche à plasma

3.3.7 Evaluation technico-économique du procédé

3.3.8 Descriptif de la station de traitement des déchets marins jusqu'à la production de gaz de synthèse

3.3.9 Débits massiques et énergie d'une usine de taille industrielle

3.3.10 Evaluation des coûts d'usine et d'exploitation d'une usine de gazéification au plasma de t/semaine de déchets (non différenciés /différenciés)

3.3.11 Conclusions relatives aux essais en laboratoire sur les matières plastiques

3.3.12 Annexe1: Spécifications du produit

3.3.13 Annexe2: Fiches des matériaux envoyés

3.3.14 Annexe3: Analyse TGA de l'air et de l'azote

4. Slop

4.1 Analyse de risque

4.1.1 L'évaluation des risques

4.2 Effets sur la santé humaine: toxicité et cancérogénicité

4.3 L'analyse post-incident et le problème des dérogations

4.4 Le MTBE est-il comparable à un hydrocarbure?

4.5 Les technologies d'élimination dans une perspective d'économie circulaire

5. Analyse des avantages et des coûts du traitement

6. Bibliographie et sitographie

7. Annexe 1 (Essais en laboratoire sur les SLOP)

Prémisse

Ce document présente les activités visées au produit T2.1.1, concernant l'évaluation de l'efficacité des différents types de traitement applicables aux échantillons de déchets portuaires collectés dans les ports de la zone transfrontalière.

Le traitement concernait deux types différents de déchets portuaires :

- Plastiques, dont les tests de laboratoire et les résultats correspondants ont été réalisés par RINA consulting-Centro Sviluppo MATERIALS S.p.A. (3.3 Technologies pour le traitement des matières plastiques et économie circulaire) ;
- Eaux de lavage des citernes des pétroliers et des chimiquiers (SLOP), dont les essais en laboratoire et les résultats associés ont été réalisés par Ecotec (Annexe 1 : Essais en laboratoire sur les SLOP).

Toutes les activités liées aux traitements ont été coordonnées et vérifiées par le prof. Antonio Viola d'Aurora Solutions S.a.s.

2 Analyse des avantages, des coûts et des risques

L'objectif de ce plan dans le cadre du projet IMPACT-NO est d'identifier les meilleures technologies de traitement des déchets et des effluents dans les zones portuaires ainsi que la planification d'une nouvelle gestion du port qui peut faciliter la transition vers des systèmes plus éco-durables dans la perspective de

l'économie circulaire.

À la lumière des problèmes critiques liés au système actuel de gestion des déchets, largement exposés dans le rapport T1.2.1, à travers le développement d'une analyse d'efficacité économique (analyse B / C), nous voulons mettre en évidence les principales différences, en termes de coûts et avantages, entre la situation actuelle et les situations alternatives du projet qui visent à améliorer les déchets et la gestion des déchets, en insistant sur l'utilisation plus efficace des ressources et leur recyclage (les déchets d'un processus de production deviennent une ressource pour un autre, éliminant le problème des déchets), sur la faible émission de polluants, et impliquant tous les usagers du port (pêcheurs, armateurs, entreprises, passagers ...) inactifs pour la protection de l'environnement à travers des incitations, des réunions et des initiatives publicitaires visant à sensibiliser et à informer sur la thème de la sauvegarde de l'écosystème marin.

Les deux types de déchets traités et soumis à des tests en laboratoire sont les plastiques et les eaux de

2.1 Rôle du port et économie circulaire

« Les ports ont toujours été des lieux stratégiques, des points d'échange de biens et de personnes, des sites de production et industriels et des espaces d'interconnexion entre les écosystèmes marins et côtiers et les infrastructures anthropiques.

« Dans le cadre des paradigmes de l'économie circulaire, il est nécessaire qu'ils prennent une place prépondérante dans les économies et les sociétés, pas seulement pour les chiffres liés au transport de marchandises maritimes (environ 90 % du commerce mondial se fait de cette façon), mais aussi parce que les ports sont appelés à jouer un rôle clé dans différents domaines : « l'évolution énergétique vers une navigation propre, l'objectif d'une gestion efficace et intégrée des ressources, la récupération de vastes espaces portuaires abandonnés visant à renforcer les relations entre la ville et portuaire, la digitalisation des transports et l'innovation des systèmes tout au long de la chaîne logistique ». (Économie circulaire et croissance bleue : ports durables et circulaires, par Cristian Chiavetta, Carla Creo, Federica Pannacciulli,

3/2019).

Il est donc nécessaire que le port assume également un rôle de facilitateur vis-à-vis de l'arrière-pays. En effet, bien qu'elles se développent généralement en cœur de ville, elles présentent souvent une faible cohésion avec la ville, une faible interconnexion avec toutes les parties du territoire non côtier et une gestion peu intégrée et presque jamais tournée vers le maximum l'efficacité des ressources gérées.

Ce concept fait référence à la contribution que les ports peuvent apporter pour aider l'ensemble de la communauté à assurer le respect de la législation, la prévention de la pollution, la réduction et l'atténuation des impacts environnementaux, le développement durable et des performances satisfaisantes. (ESPO, Vers l'excellence dans la gestion et la durabilité environnementale des ports), <http://www.assoporti.it/media/1512/green-guide.pdf>

3 Plastiques

« En moyenne, 8 millions de tonnes de plastique finissent dans la mer chaque année. 80% entrent dans la mer poussée par le vent ou entraînés par les déchets urbains et les fleuves et le reste est produit directement par les navires traversant les mers [1].

On estime qu'il y a plus de 150 millions de tonnes de plastiques dans les mers du monde [2] et 7% de celles-ci sont concentrées en mer Méditerranée [3].

Le danger du plastique réside dans sa faible biodégradabilité, qui lui permet de rester dans l'environnement pendant des centaines d'années, mais sa caractéristique de "matériau indestructible" a favorisé son utilisation massive.

A l'origine de cette pollution se trouvent des retards et des lacunes dans la gestion des déchets plastiques qui sont enregistrés dans la plupart des pays méditerranéens.

À ce jour, 27 millions de tonnes de déchets plastiques sont produits chaque année en Europe et 50 %, dans des pays comme l'Italie, la France et l'Espagne, finissent encore dans des décharges [4].

En effet, la demande de plastique recyclé sur le marché européen est toujours de 6 % [5].

Les microplastiques sont la fraction la plus alarmante, ils sont rejetés quotidiennement dans l'environnement en raison de :

- Rupture et détérioration des microplastiques,
- Perte de fibres textiles lors du lavage des vêtements,
- Utilisation d'outils de pêche,
- Utilisation de produits cosmétiques.

En plus de ces aspects, il y a aussi le risque dérivant de la concentration de produits chimiques toxiques dangereux, les phtalates, qui, favorisés par la très petite taille des microplastiques, peuvent facilement passer des niveaux trophiques bas de la chaîne alimentaire comme le plancton, aux poissons puis aux humains.

En 2018, le PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) plaçait le problème du plastique dans les mers parmi les six urgences environnementales les plus graves.

Le Sanctuaire Pelagos est la plus grande aire marine protégée de Méditerranée pour les mammifères marins. On y trouve des valeurs de microplastiques comparables à celles trouvées sous les "îles plastiques" subtropicales, constituant une menace sérieuse pour les cétacés.

En plus de nuire à l'environnement, la pollution plastique constitue une menace sérieuse pour des secteurs économiques importants en Méditerranée, en particulier la pêche et le tourisme ". (Rapport T1.2.2).

« Depuis 1950, nous avons produit 8,3 milliards de tonnes de plastique, dont environ 6,3 milliards se sont retrouvés dans la nature. 79% de ce plastique finissait en décharge et dans tous les milieux naturels, 12% était incinéré et seulement 9% recyclé » [2].

3.1 Méthodologie de l'analyse coûts-avantages

L'Analyse Coûts-Bénéfices (ABC) menée vise à :

1. déterminer et évaluer les coûts et bénéfices de l'investissement envisagé, par lequel il est prévu d'améliorer la gestion du traitement des déchets et des effluents par le développement d'un modèle d'économie circulaire, afin que les déchets et effluents produits par les navires et dans les zones les ports ne sont pas éliminés uniquement comme des déchets, mais traités, valorisés d'un point de vue économique et réinsérés sur le marché comme des biens susceptibles de produire des économies (Analyse Financière) ;
2. évaluer l'impact économique et social que l'échec de la construction de stations d'épuration adéquates entraînera dans les zones territoriales de référence au détriment de l'ensemble de la communauté (analyse économique et des risques).

A cet effet, l'ABC a été établi en référence aux coûts suivants :

- Les coûts directs internes liés à la création, à la maintenance et à la gestion du service
- Les coûts indirects, externes, non supportés par le gestionnaire de service, mais supportés par la collectivité ;
- Les coûts intangibles, les coûts externes qui ne peuvent pas être quantifiés, mais seulement décrits.

Les avantages pris en compte pour l'ABC sont divisés en :

- Avantages directs, internes, revenus provenant de la création, de la vente et/ou de la gestion du service ;
- Des bénéfices externes indirects, non pas à l'avantage du porteur de projet, mais à l'avantage de la communauté ;
- Des bénéfices intangibles, bénéfices externes qui ne peuvent pas être quantifiés, mais seulement décrits.

3.1.1 Coûts directs

Dans le cas des plastiques, les coûts directs peuvent être obtenus à partir du plan de collecte et de gestion des déchets produits par les navires et les résidus de cargaison (2014-2016) de l'Autorité du Système Portuaire de la Mer de Sardaigne (Ancienne Autorité Portuaire de Cagliari).

À partir du tableau suivant, extrapolé du plan susmentionné, nous pouvons estimer les coûts actuels de gestion et de collecte des plastiques, en associant leur quantité, avec une bonne approximation, aux ordures. "Le plastique, en effet, se confirme comme le matériau le plus retrouvé de l'ensemble des déchets (84% des objets retrouvés), suivi du verre/céramique (4,4%), du métal (4%), du papier et carton (3%)" [6].

Aux fins de l'analyse, nous considérons :

- Coûts directs variables de l'élimination des ordures ;
- Tous les autres postes de coûts en pourcentage, que l'on peut déduire du coût direct de l'élimination totale de chaque type de déchet. Les ordures représentent environ 60 % du coût total d'élimination ; par conséquent, nous pouvons émettre l'hypothèse que 60% des coûts directs fixes, techniques,



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

administratifs et de retour sur investissement peuvent être affectés à la cession de ceux-ci. En ajoutant 60% des coûts mentionnés précédemment (1 130 056) au coût direct variable pour l'élimination des

ordures (572 000), nous aurons un coût direct TOTAL pour l'élimination des mêmes égaux à 1 702 056,00 euros.

Considérant, comme indiqué dans le tableau ci-dessous, un total de déchets collectés des navires qui transitent par le port de Cagliari et le terminal de Sarroch / Macchiareddu égal à 10 400 m³ (poids spécifique moyen 300 kg par m³), nous aurons une estimation de déchets collectés égal à 3 120 000 kg, ce qui par rapport aux coûts engagés pour sa collecte (1 702 056 euros) entraînera un coût/kg égal à 0,545 euros. Ce coût/kg peut être rapporté, pour l'approximation mentionnée ci-dessus, à ce qu'il serait pour la collecte de chaque kg de plastique.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

TYPE DE COÛTS	ÉLÉMENT DE COÛT	COÛT UNITAIRE	MONTANT	TOTAL
DIRECTS				
COÛTS VARIABLES	DISPOSITION			
	LIQUIDES(m³)			
	Eaux de cale	€ 78,00	1.450,00	113.100,00
	Eauxnoires	€ 46,00	50,00	2.300,00
	Dangereux	€ 120,00	150,00	18.000,00
	SOLIDES(m³)			
	Des ordures	€ 55,00	10.400,00	572.000,00
	Dangereux	€ 770,00	140,00	107.800,00
	CARBURANTS(L)			
	Carburant diesel pour véhicules	€ 1,70	50.000,00	85.000,00
	Carburant diesel pour véhiculesnautiques	€ 1,50	10.000,00	15.000,00
	EAU(L)			3.300,00
COÛTS FIXES	PERSONNEL			
	Personnel d'exploitation	€ 40.500,00	11	444.500,00
	Commandant de navire+Machiniste	€ 45.000,00	6	270.000,00
	Matelot	€ 35.000,00	2	35.000,00
	ASSURANCE			
	Moyensmécaniqueterrestres			20.000,00
	Moyensnautiques			36.000,00
	ENTRETIEN ET RÉPARATIONS			
	Véhicules			25.000,00
	Moyensnautiques			30.000,00
	RINA			30.000,00
	COÛTS DIRECTS TOTAUX			1.843.000,00
TECHNICIENS				
COÛTS VARIABLES	CONSOMMABLES			15.000,00
COÛTS FIXES	FRAIS DU CONCESEUR			10.000,00
	PERSONNEL TECHNIQUE	€ 45.000,00	2	90.000,00
	AMORTISSEMENT ET LEASING			
	Moyensmécaniqueterrestres (Amm.10%, Leas. 15%)			125.000,00
	Moyensnautiques (Amm.7,5, Leas.15%)			405.000,00
	Structure(Amm.3%)			3.000,00
	Équipement(Amm.10%)			28.000,00
COÛTS TECHNIQUES TOTAUX				676.000,00
ADMINISTRATIF				
COÛTS VARIABLES	TÉLÉPHONIE FIXE ET MOBILE			10.000,00
	FRAIS GÉNÉRAUX			10.000,00
COÛTS FIXES	CONSEIL			30.000,00
	PERSONNEL ADMINISTRATIF	45.000,00	2	90.000,00
COÛTS ADMINISTRATIFS TOTAUX				140.000,00
RÉMUNÉRATION DU CAPITAL INVESTI	% Inflation (2,3) + Taux de Rémunération de Base Moyenne Charges Financières (3%)	2.659.000,00	5,3%	140.927,00



CCI
BASTIA
HAUTE
CORSE



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



COÛTS TOTAUX DE GESTION	
	2.799.927,00

Tableau 3-1. Coûts de gestion des déchets [source: mise à jour du plan de collecte et de gestion des déchets des navires et des résidus de cargaison 2014-2016 du port de Cagliari]

3.1.2 Coûts indirects-coûts environnementaux

Lors de la mise en place de l'ABC, une étape fondamentale a porté sur la définition du coût environnemental dû à l'absence de collecte et de traitement des plastiques en milieu marine. Il s'agit du coût externe indirect lié aux dommages que l'utilisation de la ressource elle-même cause à l'environnement, aux écosystèmes ou aux autres utilisateurs. Ce coût est supporté par l'ensemble de la communauté et comprend les coûts imposés à la société en raison des impacts des émissions de gaz à effet de serre, de la pollution de l'air, du sol et de l'eau, de l'épuisement de l'eau et d'autres coûts liés à la formation de plastique. Comme déjà signalé, une moyenne de 8 million de tonnes finissent dans la mer chaque année et on estime qu'il y a plus de 150 million de tonnes de matières plastiques dans les mers du monde [2], dont 7% sont concentrés dans la Mer Méditerranée [3]. En Méditerranée, on estime donc environ 10,5 million de tonnes de plastique et l'Europe nous verse chaque année entre 150 et 500 mille tonnes de macroplastiques (qui correspondent à environ 80% de la matière plastique totale) et entre les 70 et 130 mille tonnes de microplastiques (20 % de la matière plastique) [7].

Selon les études menées et publiées par un groupe de scientifiques (Global ecological, social and economic impacts of marine plastic) dans le "Marine Pollution Bulletin", le coût annuel par tonne serait compris entre 3300 (2762 Euro) et 33000 dollars (27620 EUR).

Le coût par tonne, en effet, variera principalement en taille mais aussi en fonction du lieu d'émission, où il se déplace et s'accumule, ainsi que du type et de la quantité déjà présente dans l'écosystème. Cette estimation est considérée comme une "borne inférieure" des coûts complets des plastiques marins comme la seule perte de bénéfices pour l'humanité due au manque ou à la fourniture limitée de services écosystémiques, quantifiés entre 500 et 2500 milliards de dollars.

En revanche, les coûts sociaux et économiques n'ont pas été pris en compte, ni l'effet que cela peut produire:

- une éventuelle réduction du poisson disponible;
- la dégradation de la qualité des côtes et des plages qui affecte le tourisme;
- les coûts plus élevés des activités de pêche;
- les graves conséquences sanitaires.

Nous essayons d'illustrer l'ordre de grandeur potentiel des impacts par une estimation de ces coûts.

En gros, à partir des données et concepts ci-dessus, il est possible d'estimer un coût environnemental r / kg égal à 2,726 euros (limite inférieure) pour les macroplastiques et un coût environnemental $/ kg$ de 27,62 euros (limite supérieure) pour les microplastiques; en considérant une présence des premiers égale à 80% et pour les seconds égale à 20%, on aura un coût environnemental moyen de la matière plastique d'environ 7,7 euros/kg.

Nous essayons également d'estimer les pertes subies par le secteur de la pêche en raison de la présence excessive de matières plastiques dans les eaux: "Le phénomène coûte au secteur de la pêche de l'Union européenne environ 61,7 million d'euros par an car il entraîne une baisse des captures, et donc une baisse des revenus, des dommages aux bateaux et engins de pêche et baisse de la demande des consommateurs inquiets de la présence de plastique dans la chair de poisson) [3]. En comparant les 10,5 millions de tonnes de plastique présentes en Méditerranée à ce chiffre, on aura un coût/kg de pertes subies par le secteur de la pêche estimé à 0,005 euros.

Nous avons nécessairement des pertes dans le secteur du tourisme également. En fait, les déchets marins peuvent réduire l'afflux de touristes et par conséquent fragiliser les économies des pays côtiers : il a été démontré qu'une baisse des normes de propreté des plages pourraient réduire les revenus jusqu'à 50 % [8]. Nous pouvons associer, donc, les pertes subies par ce secteur, avec une bonne approximation, au prix que

l'Europe encourt pour lenettoyage des côtes et des plages, estimé à environ 630 millions d'euros par an) [9].
Nous estimons un coût / kg de pertes subies par le secteur du tourisme égal à 0,06 euros.

Nous résumons les résultats obtenus :

COÛTS ASSOCIÉS AU PLASTIQUE (€ / KG)	
Le coût d'exploitation	0.54
Coût environnemental moyen	7.7
Pertes du secteur de la pêche	0.005
Pertes dans le secteur du tourisme	0.06
TOTAL	8.31

Comme on peut le voir sur le tableau, le coût / kg, à l'heure actuelle, en raison de la consommation de matière plastique peut être même estimé à environ 8,31 euros (valeur indicative).

3.1.3 Coûts immatériels

Tout au long de la chaîne alimentaire, l'homme consomme le plastique ingéré par les poissons. Les effets que cette étape a sur la santé humaine sont encore méconnus et on peut donc les considérer comme des coûts intangibles. Bien qu'ils ne soient pas facilement quantifiables, ces coûts ne sont certainement pas moins importants que les précédents pris en considération.

3.1.4 Avantages directs

L'avantage économique direct pour l'entreprise en charge du service de collecte et de valorisation des déchets peut être obtenu en se référant au plan de collecte et de gestion des déchets produits par les navires et des résidus de cargaison (2014-2016) de l'Autorité du Système Portuaire de la Mer de Sardaigne (Ancien Port Autonome de Cagliari). "Pour la détermination des tarifs relatifs au retrait, à la collecte, au transport et à la valorisation et/ou à l'élimination définitive des déchets produits par les navires et des résidus de cargaison, il convient de garder à l'esprit les dispositions de l'art. 8 du décret législatif 182/2003 "Mise en œuvre de la directive 2000/59 / CE relative aux installations de réception portuaires pour les déchets d'exploitation des navires et les résidus de cargaison" qui exige que :

1. les charges relatives aux installations portuaires pour la collecte des déchets produits par les navires, y compris celles d'investissement et celles relatives au traitement et à l'élimination des déchets eux-mêmes, font l'objet d'un tarif à la charge des propriétaires des navires arrivant dans le Port ;
2. le tarif est déterminé par l'Autorité Portuaire et est calculé conformément aux dispositions suivantes : en ce qui concerne les déchets :

3.

a) une redevance fixe, indépendante de l'utilisation effective du service de collecte portuaire, proportionnée de manière à couvrir au moins 35 % des coûts d'investissement et de fonctionnement du service lui-même, avec possibilité de différenciation selon la catégorie, le type et la taille du navire;

b) une part variable liée à la quantité et au type de déchets produits et effectivement livrés par le navire au service de collecte, proportionnée de manière à couvrir la part des coûts non couverte par la part visée au a).

Pour les ordures, la part fixe est différenciée selon le type de navire et précisément :

- pour les navires à passagers elle est comptabilisée sur la base des mètres cubes produits sur la base des passagers et du personnel à bord transportés ;

- pour les navires marchands amarrés au port selon la jauge brute ;
- pour les navires amarrés au terminal de Sarroch / Macchiareddu, la même logique s'applique aux navires marchands amarrés au port (jauge brute) avec le service supplémentaire de bateaux à moteur qui varie en fonction de la distance.

Les éventuels excédents, au mètre cube, seront facturés en comptant le coût d'élimination des déchets et la surtaxe pour la réalisation de la prestation.

Les tarifs sont donc différenciés selon la taille et/ou le type de navire"[10].

Le tarif proposé pour les navires utilisant le Port de Cagliari et le Terminal de Sarroch / Macchiareddu est le suivant :

1. Navires à passagers

Pour les déchets « ordures » des navires à passagers, deux catégories sont envisagées : ceux ayant transporté un nombre de personnes (équipage et passagers) inférieur à 600 unités pour lesquels un quota forfaitaire est envisagé en fonction de la production moyenne de 2 mètres cubes de déchets à auquel s'ajoute une majoration éventuelle pour chaque m³ conféré au-delà de la quantité moyenne de 2 m³.

Pour les navires ayant transporté un nombre de personnes (équipage et passagers) supérieur à 600 unités, un quota fixe de 4 mètres cubes est envisagé, auquel s'ajoute une éventuelle majoration pour les excédents ».

Pour les navires à passagers amarrés dans le port, les tarifs suivants s'appliquent :

	Plus de 600 passagers, équipage compris		Jusqu'à 600 passagers, équipage compris	
Des ordures	Quota fixe jusqu'à 4 m ³	300	Quota fixe jusqu'à 2 m ³	200
	Dépassement supérieur à 4 m ³ (au m ³)	60	Dépassement supérieur à 2 m ³ (au m ³)	60
Oil	Frais de service fixes	200	Frais de service fixes	200
	Traitement des déchets (m ³)	90	Traitement des déchets (m ³)	90
Sewage	Frais de service fixes	200	Frais de service fixes	200
	Traitement des déchets (m ³)	55	Traitement des déchets (m ³)	55
Déchets dangereux	Frais de service fixes	200	Frais de service fixes	200
	Traitement des déchets (m ³)	800	Traitement des déchets (m ³)	800

Figure 3-1. Tarifs pour les navires à passagers amarrés dans le port

2. Navires marchands

« La division selon le tonnage pour ce qui concerne les navires marchands au port et en rade prévoit 3 classes réparties comme suit :

- de 0 à 3000 T.S.
- de 3 001 à 6 000 T.S.
- plus de 6 000 T.S.

Un quota fixe est envisagé sur la base de la production moyenne de 1 m³ de déchets en fonction du tonnage auquel il est ajoutée une surtaxe éventuelle pour chaque mètre cube conféré au-delà de la quantité de 1

mètre cube. Pour le service fourni par bateau à moteur aux navires dans le port, en plus du tarif marchand, le supplément bateau à moteur calculé en fonction de la distance du port est appliqué. Les unités navales qui

obtiennent une dérogation ou une exemption et n'utilisent pas le service portuaire seront tenues de payer la redevance forfaitaire pour chaque catégorie de navire ».

Pour les cargos amarrés au port, les tarifs suivants s'appliquent :

		Da 0 a 3000 T.S.	Da 3001 a 6000	Oltre 6000
Garbage	Devis fixe 1 m ³ (€)	50	70	120
	Excédent supérieur à 1 m ³ (€/m ³)	60	60	60
Oil	Frais de service fixes (€)	200	200	200
	Traitement des déchets (€/m ³)	90	90	90
Sewage	Frais de service fixes (€)	200	200	200
	Traitement des déchets (€/m ³)	55	55	55
Déchets dangereux	Frais de service fixes (€)	200	200	200
	Traitement des déchets (€/m ³)	800	800	800

Figure 3-2. Tarifs pour les cargos amarrés au port

3. Services pour navires amarrés sur des quais ou des îles à Sarroch / Macchiareddu

"En plus du service pour les navires amarrés dans le port, un bateau à moteur supplémentaire doit être prévu, qui varie en fonction de la distance. En cas de regroupement de plusieurs prestations, la surtaxe n'est envisagée qu'une seule fois avec application des éventuels dépassements horaires".

		Jetée supplémentaire	Mono-bouée/ îlot supplémentaire
Garbage	Devis fixe 1 m ³ (€)	150	300
	Excédent supérieur à 1 m ³ (€/m ³)	-	-
Oil	Frais de service fixes (€)	150	300
	Traitement des déchets (€/m ³)	-	-
Sewage	Frais de service fixes (€)	300	200
	Traitement des déchets (€/m ³)	-	-
Déchets dangereux	Frais de service fixes (€)	200	200
	Traitement des déchets (€/m ³)	800	800

Figure 3-3. Tarifs pour les navires amarrés sur le quai ou les îles à Sarroch / Macchiareddu

4. Services aux navires amarrés dans la rade

--	--	--	--



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Da 0 a 3000 T.S.	Da 3001 a 6000 T.S.	Oltre 6000 T.S.
Addizionale Motobarca	Addizionale Motobarca	Addizionale Motobarca



CCI
BASTIA
HAUTE
CORSE



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO

Autorità di Sistema Portuale del
Mar Tirreno Settentrionale
Porti di Livorno - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino



PORTS of
GENOA
VADO LIGURE • SAVONA • PRA • GENOVA

Garbage	Devis fixe 1 m ³ (€)	50	300	70	300	120	300
	Excédent supérieur à 1 m ³ (€/m ³)	60	-	60	-	60	-
Oil	Frais de service fixes (€)	200	300	200	300	200	300
	Traitement des déchets (€/m ³)	90	-	90	-	90	-
Sewage	Frais de service fixes (€)	200	300	200	300	200	300
	Traitement des déchets (€/m ³)	55	-	55	-	55	-
Déchets dangereux	Frais de service fixes (€)	200	300	200	300	200	300
	Traitement des déchets (€/m ³)	800	-	800	-	800	-

Figure 3-4. Tarifs pour les navires amarrés dans la rade

À partir des données précédentes rapportées à la Figure 3-1 Figure 3-2 Figure 3-3 Figure 3-4 et extraites du plan de gestion des déchets produits par les navires et des résidus de cargaison (2014-2016) de la Sea Port System Authority de Sardaigne, on peut estimer approximativement un taux moyen de 100 euros/mc relatif au retrait, encaissement, transport et valorisation et/ou élimination définitive des ordures. D'où le bénéfice économique direct pour la société bénéficiaire du service rendu est estimé à 0,33 Euro/kg (poids spécifique moyen 300 kg par mètre cube). Ce coût/kg peut être rapporté avec une bonne approximation de ce que vous auriez pour la collecte de chaque kg de plastique.

3.1.5 Bénéfices indirects

Selon le rapport de développement durable 2018 publié par Corepla, le recyclage et la réutilisation du plastique en 2017 ont généré des avantages économiques de plus de 2 milliards d'euros [11] avec des avantages pour la matière première non consommée, la production d'énergie et les économies d'émissions de CO₂. Le rapport affirme que 95 000 tonnes de plastique ont été recyclées en Italie en 2017. A partir de là, on peut estimer que le bénéfice par kg de plastique recyclé remis sur le marché oscille autour de 21,05 euros. Comme le montrent les résultats rapportés, une étape décisive vers une économie du plastique plus prospère et durable (économie circulaire) pourrait apporter des avantages significatifs, ainsi que pour la protection et le bien-être de l'écosystème interne, également d'un point de vue économique. voir à travers l'inclusion dans le marché des produits recyclés.

3.2 Technologies de traitement du plastique et économie circulaire

En 2015, la Commission européenne a accepté le plan d'action de l'Union européenne pour l'économie circulaire, qui décrit la stratégie sur l'utilisation du plastique et son cycle de vie.

L'objectif n'est pas seulement d'éliminer le gaspillage de déchets destinés aux décharges ou le gaspillage d'énergie, mais de repenser l'ensemble du cycle d'extraction, de consommation et de gestion des déchets afin qu'aucune ressource ne soit gaspillée à aucune étape du processus.

Les plastiques dans tout leur cycle de vie, qui commence depuis l'extraction des combustibles fossiles, leur raffinage (craquage) et leur production, jusqu'à l'élimination dans les décharges, les incinérateurs, la dispersion dans l'environnement (dans les rivières et les océans) ou le début du recyclage, ont des effets

environnementaux évidents impacts, également en termes d'émissions. Aujourd'hui, 67% de tous les déchets sont éliminés dans des incinérateurs ou mis en décharge et ces deux méthodes sont nocives pour l'environnement : elles libèrent, entre autres, *CO2* et *CH4* dans l'atmosphère et des produits chimiques et pesticides dans le sol et les nappes phréatiques. Une tonne de déchets plastiques produit environ 2,6 t de *CO2* (Benner et al., 2007) et les émissions/an sont calculées à 132 mille tonnes (The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation).

Les plastiques dispersés dans le milieu marin, au fur et à mesure que le temps de séjour augmente et sous l'effet du mouvement des vagues et de l'action du soleil, se transforment en particules de plus en plus petites : les microplastiques.

Ils ont une taille variable de quelques microns à 500 microns et sont, du fait de leur très petite taille, comme déjà mentionné, encore plus nocifs et difficiles, voire impossibles à éliminer. De plus, contrairement à d'autres matériaux comme le verre et les métaux, le plastique ne peut pas être recyclé à l'infini sans perdre en qualité ou en pureté.

« Le même morceau de plastique ne peut être recyclé que 2 à 3 fois avant que sa qualité ne diminue tellement qu'il ne peut plus être utilisé. En fait, les plastiques sont des polymères, c'est-à-dire de longues chaînes d'atomes disposées en unités répétitives souvent beaucoup plus longues que celles que l'on trouve dans la nature. Plus ces chaînes sont longues et résistantes, meilleure est la qualité du plastique ; à chaque fois que le plastique est recyclé, la chaîne du polymère se raccourcit et sa qualité diminue ». (<https://www.cirifletto.it/7-cose-che-non-ci-dicono-sul-riciclo-della-plastica/>)

La Fondation Ellen MacArthur, qui fait autorité, définit l'économie circulaire comme un système basé sur les principes de conception des déchets et de la pollution, de l'entretien des produits et des matériaux utilisés et de la régénération des systèmes naturels. "L'économie circulaire met donc en place un système industriel projectuellement régénératif. Il remplace le concept de fin de vie par celui de reconstruction (restauration), s'oriente vers l'utilisation d'énergies renouvelables, élimine l'utilisation de produits chimiques toxiques, qui entravent la réutilisation, et vise l'élimination des déchets grâce à une conception innovante à haut niveau de des matériaux, des produits, des systèmes et même des modèles commerciaux.

Au cœur de l'économie circulaire se trouvent des améliorations dans la sélection des matériaux, la conception des produits " [Fondation Ellen MacArthur, 2012].

Au lieu de cela, Zhijun et Nailing définissent l'économie circulaire comme un système qui agit selon les trois principes de réduction, de réutilisation et de recyclage des ressources (principes des 3R) [Zhijun&Nailing, 2007]. L'économie circulaire est souvent identifiée uniquement au principe de recyclage ; cependant, il convient de noter que le recyclage des ressources peut être la solution la moins durable tant en termes d'efficacité que de revenus économiques [Ghisellini, et al., 2016]. Le recyclage est en effet limité par la complexité de la composition des matériaux comme par exemple le plastique.

Les déchets non recyclables, ou plus recyclables, peuvent cependant être convertis en valorisation énergétique par des systèmes de valorisation énergétique des déchets (WtE) ou de valorisation des déchets (WtP) par pyrolyse, gazéification, gazéification plasma.

La technologie Waste-to-Energy (WtE) englobe plusieurs processus de traitement des déchets qui génèrent de l'énergie (par exemple sous forme d'électricité et/ou de chaleur ou qui produisent un combustible dérivé des déchets), chacun ayant des impacts environnementaux différents. Les principaux processus WtE, identifiés par les Commissions de l'Union Européenne, sont :

- Co-incinération des déchets dans les installations de combustion et dans la production de ciment et de chaux ;
- l'incinération des déchets dans des installations dédiées ;

- la méthanisation des déchets biodégradables ;
- la production de combustibles solides, liquides ou gazeux issus de déchets ;
- d'autres procédés dont l'incinération indirecte suite à une phase pyrolyse, gazéification, plasma.

Le traitement par plasma, en particulier, est utilisé dans 5 catégories d'intervention :

- Pyrolyse plasma ;
- Combustion au plasma (également appelée incinération au plasma ou oxydation au plasma) ;
- vitrification du résidu du procédé thermique au moyen de plasma ;
- Gazéification assistée par plasma en deux variantes différentes ;
- Nettoyage du gaz de synthèse par plasma.

Comme indiqué dans le rapport "Traitement des déchets portuaires selon le paradigme de l'économie circulaire" (P. Fadda, A. Viola, G. Fancello et.al, Traitement des déchets portuaires selon le paradigme de l'économie circulaire, DICAAR, CENTRALABS, 2019), "la seule technologie qui semble avoir atteint pour le moment un résultat significatif et avec de meilleures performances environnementales que les technologies concurrentes, basée sur des traitements thermiques (combustion ou co-combustion ou sans combustion directe des déchets) et sans défauts de les incinérateurs et gazogènes plus traditionnels, c'est ce qu'on appelle la gazéification assistée par plasma. Cette technologie existe en deux variantes, basées principalement sur l'utilisation de « torches à plasma » et dans de très rares cas sur l'utilisation d'électrodes à arc semi-immergées et immergées. » Nous sommes confrontés à une révolution technologique dans le domaine du traitement par inertisation et de l'élimination des déchets et de l'énergie. Il peut être facilement adapté et utilisé pour le traitement de divers types de déchets tels que les déchets solides municipaux, les déchets biomédicaux, les déchets dangereux, les huiles lourdes, les pneus usagés, etc. Au sein du processus, le plastique en fin de vie peut servir d'énergie des matières premières. Le principe de base de cette nouvelle technologie porte sur la dissociation moléculaire (décomposition en atomes élémentaires constituant les molécules) des composants organiques des déchets (et la fusion des composants inorganiques) fonctionnant à très haute température à l'intérieur d'un réacteur fermé (convertisseur au plasma), sans combustion et donc sans émission de fumées et sans production de cendres (Figure 3-5).

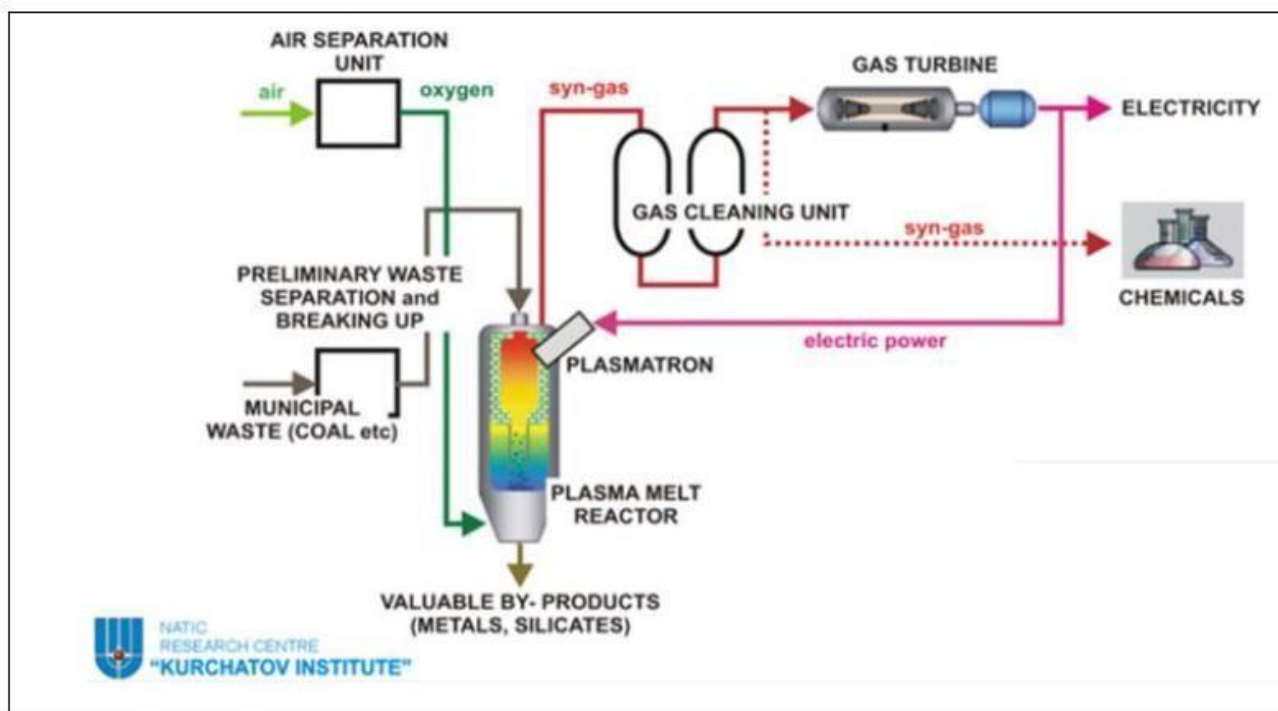


Figure 3-5. Schéma du procédé de gazéification assistée par plasma

Au cours du procédé, qui est endothermique, la haute température de réaction est donnée par une source d'énergie externe constituée d'un plasma (mélange d'ions à 15 000 -20 000°C) activé par un arc électrique.

Le plasma dissocie instantanément (en 1 seconde environ) la fraction organique des déchets et produit la fusion de la partie inorganique. Les composants organiques, affectés par le plasma, se dissocient en atomes se mélangeant sous forme de gaz (Syngas), tandis que les verres, métaux et autres substances inorganiques (cendres, scories, etc.) se ramollissent et fondent rapidement, se mélangeant dans le bain fondu à fond au creuset du réacteur et sont ensuite coulés sous forme d'inerte à pâte de verre non lixiviable, avec isolation de la partie métallique (si les déchets contiennent également des métaux).

S'il y a une grande quantité de métaux dans les déchets, ceux-ci peuvent être récupérés. Dans l'environnement réducteur du réacteur fermé (absence d'oxygène sauf en quantité strictement nécessaire pour décarboner les déchets) l'énorme énergie instantanément concentrée par le plasma sur les déchets entrants atomise ses composants organiques.

Le système est composé des éléments suivants :

- 1) Convertisseur plasma : la matière entrante (liquide, solide ou gazeuse) est dissociée dans ce réacteur à haute température. Le réacteur a les ouvertures nécessaires pour la torche à plasma, pour les portes d'inspection, pour l'alimentation du matériau et pour la libération des produits.
- 2) Torche à plasma : système technologique d'électrodes qui fournit l'énergie nécessaire pour ioniser le gaz plasma (ex. Air, argon, etc.) ; il est alimenté en courant continu et refroidi par eau. La température de fonctionnement élevée, jusqu'à 15 000 degrés, permet la dissociation moléculaire. La torche est montée sur le dessus du convertisseur plasma et utilise un système d'oscillations de fonctionnement contrôlées pour optimiser la destruction des déchets.
- 3) Système d'alimentation : pour les solides, il existe des poussoirs ou des mécanismes à vis ; pour les

liquides, il utilise des pompes à vapeur ou des éjecteurs ; pour les gaz stockés dans le réservoir il utilise des vannes de régulation de pression. La vapeur enrichie en oxygène, introduite dans le convertisseur, permet le contrôle stoechiométrique de la qualité PCG, en fonction de la composition de l'alimentation.

- 4) Système d'extraction de fonte : utilise le refroidissement sec ou humide des produits fondus pour former des particules solides qui sont transportées dans un tambour de collecte
- 5) Système de refroidissement du PCG et générateur de vapeur : le récupérateur de chaleur et générateur de vapeur du PCG initial refroidit ce gaz de 1300°C à 200°C, générant de la vapeur à réutiliser. Dans cette phase, des additifs en poudre sont ajoutés pour éviter la formation de dioxines, même à l'état de traces.
- 6) Filtre à particules : un dépoussiéreur à cartouche pulsée est capable de récupérer les poussières collectées pour leur recyclage dans le convertisseur plasma. Des filtres supplémentaires peuvent être ajoutés en amont du filtre à particules pour capter les particules submicroniques et/ou pour l'abattement à sec des composants acides du gaz.
- 7) Colonnes garnies : un système de refroidissement rapide à 2 étages du PCG abaisse sa température de 200°C à 30°C. Les gaz acides sont éliminés dans cette unité. Des hydroxydes de sodium ou des réactifs basiques similaires sont ajoutés pour neutraliser et éliminer tout composant acide du PCG.
- 8) Réchauffeur PCG : Le PCG est chauffé au-dessus du point de rosée à l'aide de la chaleur de procédé ou de l'électricité.
- 9) Filtre GAC : filtre à charbon actif (en option, non mis en évidence).
- 10) Filtre HEPA : filtre à haute efficacité pour la réduction des particules (en option, non mis en évidence).
- 11) Ventilateur à vide : Maintient un léger vide à l'intérieur du convertisseur plasma.
- 12) Pompe de recirculation d'eau : recircule l'eau des systèmes d'épuration des gaz. Un débit limité d'eaux usées provenant des colonnes à garnissage est envoyé à l'égout.
- 13) Échangeur de chaleur : élimine la chaleur de l'eau de nettoyage des gaz pour la réutiliser dans le système de refroidissement.

Le résultat du procédé est un gaz de synthèse, plus pur que le méthane, composé principalement d'hydrogène (H_2), et de monoxyde de carbone (CO) avec environ 1/5 d'azote et d'hydrocarbures légers et une teneur inorganique dans les déchets vitrifiés sous forme de matériau vitreux à température plus élevée. Cette composition du gaz de synthèse, grâce au contrôle sophistiqué de l'ensemble du procédé, reste quasiment constante, quel que soit le type de déchets utilisés (plastiques, peintures, bois, tissus, boues d'épuration, etc.) et peut être utilisée pour de multiples usages :

- il peut être brûlé pour produire de la chaleur et de la vapeur, ou de l'électricité grâce à l'utilisation de chaudières, de moteurs et de turbines.
- Il peut également être utilisé pour produire de l'hydrogène et ses composés ou il peut être transformé en gaz naturel de synthèse ou utilisé pour produire divers produits chimiques industriels.
- peuvent être transformés en produits commerciaux de plus grande valeur tels que les carburants, les engrais, les produits chimiques et même pour remplacer le gaz naturel.

L'exploitation énergétique du gaz de synthèse peut s'effectuer de 2 manières différentes :

1. par combustion directe du gaz de synthèse tel que produit (ou après traitements légers) dans des systèmes de combustion conventionnels situés en aval du gazéifieur (conversion « thermique ») ;
2. l'utilisation du gaz de synthèse dans les installations non conventionnelles, comme les turbines à gaz et les moteurs à combustion interne, après traitement de purification (gazéification « électrique »).

Dans le premier cas, le gaz de synthèse produit est brûlé sans subir (ou peu) de traitements épurateurs visant à éliminer les poussières et autres polluants présents (acide chlorhydrique, hydrogène sulfuré, anhydride sulfureux, etc.), afin de générer de l'électricité par la production de vapeur. Bien entendu, les gaz

d'échappement doivent être traités en aval de la combustion, comme c'est le cas pour une installation d'incinération de déchets traditionnelle.

A la base, cette solution ne diffère pas de la combustion directe des déchets car il n'est pas possible de séparer physiquement la phase de gazéification de celle de la combustion finale du gaz dérivé et tout se déroule en deux phases successives, pratiquement, sans continuité. Le procédé est donc décrit comme une incinération et à ce titre, à juste titre, soumis à toutes les exigences et réglementations qui lui sont applicables.

Dans la gazéification « électrique », en revanche, les deux phases de production du gaz dérivé et son utilisation dans des turbines ou des moteurs à combustion interne pour produire de l'électricité sont bien distinctes.

C'est la solution qui, à l'heure actuelle, a le plus grand potentiel de développement. En effet, sur la base de ce qui a déjà été expérimenté avec le charbon et certaines biomasses, la production d'un combustible gazeux destiné à être utilisé dans une turbine permet l'adoption de cycles combinés pour la production d'électricité. A partir de la récupération d'énergie effectuée sur les gaz d'échappement de la turbine, il est possible de générer de la vapeur qui sera utilisée pour la production d'électricité par détente dans une turbine secondaire.

Cette solution offre la possibilité d'augmenter considérablement le rendement de conversion en électricité, avec de grands avantages économiques et environnementaux.

En définitive, les réacteurs à plasma ne déterminent pas la combustion des déchets mais la sublimation, la pyrolyse, la gazéification à très haute température de la matière organique (naturelle ou synthétique), la fusion des métaux et la fusion-vitrification des inertes ; ils sont conçus pour maximiser la conversion des déchets en gaz de synthèse et fonctionnent en légère dépression pour éviter les fuites de gaz incontrôlés.

Les autres caractéristiques du processus sont :

- les déchets sont exposés à des températures de 3000-4000°C du fait de l'intense énergie du jet de plasma et ces températures, supérieures aux points de fusion des cendres, particules et matériaux inertes, permettent la transformation des substances minérales (dont l'amiante et ses dérivés) en laitier vitreux ("obsidian-like"), qui s'avère être (étant un inerte) utilisable dans diverses utilisations dans le secteur de la construction (carrelage, dalles, sous-planchers routiers, granulation pour la production d'abrasifs ou pour le mélange avec des matériaux construction);
- aucune cendre ou imbrûlé n'est produit, tandis que les particules, poussières et boues issues de l'épuration du gaz de synthèse sont presque toujours réintroduites dans le réacteur et vitrifiées avec des campagnes de traitement spécifiques périodiques dans des conditions de procédé contrôlées;
- 1 tonne de DSM (déchets solides urbains), gazéifiés dans des réacteurs à plasma, produit entre 800 et 1200 Nm3 de gaz de synthèse (le volume/tonne varie selon la qualité des déchets et la technologie du réacteur);
- 1 tonne de MSW génère environ 180-190 kg de laitier de verre recyclable (avec un volume, s'il est compact et non traité, de seulement 0,085-0,095 m3 et une densité de 1,8-2,2 tonnes/m3) ;
- le gaz de synthèse est épuré à haute température puis soumis également à des « traitements de trempe » (baisse très rapide de la température) ; le gaz traité est utilisé pour la production d'électricité et de vapeur (combustion dans une turbine à gaz), et/ou pour la production de produits pour l'industrie chimique (méthanol, éthanol) et/ou pour la séparation de l'hydrogène. □
- l'hydrogène issu du gaz de synthèse peut être utilisé dans la pétrochimie, dans l'industrie agro-alimentaire, dans l'alimentation des bus et des voitures électriques à pile à hydrogène et dans les voitures

innovantes à hydrogène liquide ou hydrogène gazeux comprimé ; il peut également être utilisé dans des laboratoires de recherche et des applications industrielles;

- le CO₂ produit est si pur qu'il peut être compressé et réutilisé directement comme additif pour les boissons gazeuses, ou renvoyé dans la chambre de combustion;
- les émissions dans l'atmosphère, dues à la combustion éventuelle du gaz de synthèse dans la turbine ou la chaudière, sont très faibles car un gaz déjà très épuré est brûlé ;
- les coûts d'investissement vont de 1 550 € / (tonne de capacité annuelle) pour les petites unités mobiles (1 500 tonnes / a) à déplacer vers des sites à reconquérir, à 900 € / (tonne de capacité annuelle) pour les moyennes-petites unités fixes (30 000 tonnes/an), à 325 €/(tonnes de capacité annuelle) pour les centrales fixes de grande taille (650 000 tonnes/an) constituées de batteries moyennes-petites pour le réacteur;
- les systèmes se caractérisent par une flexibilité extrêmement élevée en ce qui concerne les matériaux de recharge.

3.3 Essais en laboratoire sur les plastiques

3.3.1 Résumé exécutif

Le projet « Impatti-NO », financé dans le cadre de la deuxième notice du Programme Interreg Italie France Maritime 2014-2020, met en œuvre des plans d'action communs pour la prévention, la réduction et le tri des déchets et des eaux usées dans les ports. Dans ce cadre, il vise à identifier les meilleures technologies de traitement des déchets et effluents en zone portuaire. À partir de la caractérisation des déchets présents dans les ports concernés, l'Université de Cagliari, à travers le projet "Impatti-NO", réalise une série de campagnes expérimentales sur des installations pilotes polyvalentes, pour le traitement des déchets et des eaux usées appartenant aux types indiqués par les ports d'essai, afin d'identifier les meilleures technologies à appliquer à chacun en considération des coûts du traitement et de la valeur économique finale du produit fabriqué.

Les types de déchets identifiés sont : a) issus de la collecte lors du nettoyage des plages b) issus de la collecte en mer (déchets marins) et des matières organiques apportées par les bateaux ; c) Les déchets portuaires, constitués d'emballages, de déchets secs des navires marchands non recyclables. Le traitement proposé pour ce type de déchets après différenciation des métaux et de ce qui est recyclable, est la technologie « gazéification assistée par torche plasma » comme traitement possible pour la valorisation des déchets eux-mêmes (Waste to Energy WtE et/ou Waste to) et dans une optique de "zéro déchet".

Le procédé de gazéification (procédé largement utilisé pour les déchets organiques), assisté d'une torche à plasma, combine l'utilisation de la gazéification de la partie organique (production de gaz de synthèse) avec l'utilisation ultérieure de plasma pour vitrifier la partie inorganique et nettoyer le produit de gaz de synthèse. La "gazéification assistée par plasma" opère au contraire une combustion partielle de la partie organique des déchets, avec de l'oxygène (inférieur à la concentration stoechiométrique), produisant un gaz de synthèse (syngaz) qui contient l'essentiel de l'énergie chimique et thermique des déchets d'origine et qui, une fois purifié, peut être utilisé pour générer de l'électricité (WtE) et/ou pour produire par exemple : de l'éthanol (WtP).

L'adoption de la technologie de la torche à plasma est le choix proposé pour l'abattement de la partie carbonée (char) et liquide (goudron) du gaz de synthèse. En effet, la haute intensité énergétique et les hautes températures pouvant être obtenues avec le plasma permettent la destruction des liaisons chimiques de molécules organiques complexes et la production de gaz de synthèse sans goudron ni composés carbonés

volatils.

L'augmentation qualitative du gaz de synthèse ainsi obtenu s'exprime par une composition de gaz avec des molécules de support simples de l'Université de Cagliari avec des caractérisations en laboratoire, des tests de gazéification et un traitement avec des torches à plasma sur des installations pilotes, pour déterminer les conditions optimales de la production et du nettoyage du gaz de synthèse, Afin d'identifier la consommation énergétique de l'installation industrielle, les coûts associés et l'estimation de la valeur économique finale ont été décrits.

En particulier, la caractérisation physico-chimique des déchets portuaires (différenciés et indifférenciés) des autorités portuaires de Cagliari, Gênes, Toulon et Hyères a été réalisée.

5 essais de gazéification ont été réalisés sur 5 types de déchets différents livrés au CSM. Les tests ont permis de déterminer la composition moyenne du gaz à utiliser dans le test ultérieur de traitement du gaz de synthèse brut avec une torche à plasma.

L'essai de traitement à la torche à plasma a permis de vérifier l'enrichissement du gaz de synthèse suite aux réactions des hydrocarbures contenus avec la vapeur (qui conduisent à un enrichissement en H₂ et CO).

Sur la base des résultats des caractérisations et des expérimentations, il a été possible d'évaluer les rendements en gaz de synthèse et la consommation d'énergie, sur la base desquels l'usine d'une capacité de 250 t/semaine a été préalablement dimensionnée. Les données de dimensionnement ont été utilisées pour effectuer une évaluation budgétaire des coûts de construction, des coûts d'exploitation et des revenus pouvant être tirés de l'exploitation de l'usine. L'exploitation de l'usine de 250 t/semaine permet de rembourser les coûts d'investissement et d'exploitation même si dans un délai relativement long, environ 13 ans avec une redevance d'élimination de 120 €/t. Pour des tarifs inférieurs, les délais sont plus longs, alors qu'en considérant des tarifs inférieurs à 86,25 €/t, l'investissement se traduit par une perte.

En considérant une taille plus importante, 1500 t/semaine, qui permet de traiter la totalité de la production de la Sardaigne, rapportée aux déchets plastiques, l'effet d'échelle est important et on obtient des temps d'amortissement entre 9 et 18 ans pour des tarifs d'élimination entre 120 et 70 € / t.

3.3.2 Remarque introductive

Le projet « Impatti-NO », financé dans le cadre de la deuxième notice du Programme Interreg Italie France Maritime 2014-2020, met en œuvre des plans d'action communs pour la prévention, la réduction et le tri des déchets et des eaux usées dans les ports. Dans ce cadre, il vise à identifier les meilleures technologies de traitement des déchets et effluents en zone portuaire. Partant de la caractérisation des déchets et des eaux usées présents dans les ports concernés, "Impatti-NO" réalise une série de campagnes expérimentales sur des installations pilotes polyvalentes, pour le traitement des déchets et des eaux usées appartenant aux types indiqués par les ports d'essai, en afin d'identifier les meilleures technologies à appliquer à chacun compte tenu du traitement et de la valeur économique finale du produit fabriqué.

Les types de déchets identifiés sont : a) les déchets collectés lors du nettoyage des plages b) les résidus collectés dans la mer (déchets marins) et les matières organiques apportées par les bateaux ; c) Les déchets portuaires, constitués d'emballages, de déchets secs des navires marchands non recyclables. Pour ces types de déchets, après différenciation des métaux et des éléments recyclables, la technologie « gazéification assistée par torche plasma » a été proposée comme un traitement possible pour la valorisation des déchets eux-mêmes (WtE et/ou Waste to Energy) et dans un mode « zéro déchet ».

Un procédé qui n'utilise que du plasma thermique pour gazéifier ces déchets et faire fondre la partie

inorganique n'est pas économiquement viable, par rapport à un WtE classique, car il nécessite une forte consommation d'énergie (environ 0,8 MWh/tonne d'électricité). Le procédé de gazéification (très utilisé pour les déchets organiques), assisté d'une torche à plasma, combine l'utilisation de la gazéification de la partie

organique (production de gaz de synthèse) avec l'utilisation ultérieure de plasma pour vitrifier la partie inorganique et nettoyer le gaz de synthèse produit. .

La « gazéification assistée par plasma » opère une combustion partielle de la partie organique des déchets, avec de l'oxygène (concentration inférieure à la stoechiométrique), produisant un gaz de synthèse (syngas) qui contient l'essentiel de l'énergie chimique et thermique des déchets d'origine et qui , une fois purifié, il peut être utilisé dans un moteur à combustion interne (par exemple une turbine à gaz) pour générer de l'électricité (WtE) et/ou pour produire par exemple de l'éthanol (WtP).

L'adoption de la technologie de la torche à plasma est le bon choix pour l'abatement de la partie carbonée (char) et liquide (goudron) du gaz de synthèse. En effet, la haute intensité énergétique et les hautes températures pouvant être obtenues avec le plasma permettent la destruction des liaisons chimiques de molécules organiques complexes et la production de gaz de synthèse sans goudron ni composés carbonés volatils.

L'augmentation qualitative du gaz de synthèse ainsi obtenu se traduit par une composition gazeuse à molécules simples à forte teneur en monoxyde de carbone (CO) et en hydrogène (H₂), un prétraitement adéquat assure l'élimination des gaz acides agressifs (HCl, H₂S) . Ce gaz de synthèse peut être utilisé pour la valorisation énergétique (WtE) ou pour fabriquer des produits chimiques (WtP).

Les températures élevées du procédé plasma minimisent le risque de recombinaison des molécules simples obtenues lors du traitement et donc de formation de composés aromatiques à fort potentiel toxique.

L'utilisation de l'énergie et les températures élevées pouvant être obtenues avec le plasma, la fraction inorganique des déchets est transformée en un laitier vitreux qui, étant complètement inerte, peut être considéré comme un sous-produit (par exemple comme matériau de remplissage dans le secteur de la construction) ou il peut être utilisé pour extraire, par des transformations ultérieures, des produits à haute valeur ajoutée (WtP). De cette façon, plus aucun résidu n'est créé pour être éliminé dans les décharges (zéro déchet).

L'extrême polyvalence de ce procédé lui permet de traiter tous les déchets (à l'exception des déchets nucléaires), puisque la seule variable est la quantité d'électricité nécessaire à la fusion des déchets.

Dans le cadre du traitement des déchets portuaires, constitués des emballages livrés par les bateaux et des résidus collectés en mer (déchets marins), une évaluation des coûts et bénéfices du traitement est également requise en réalisant des campagnes d'essais expérimentaux sur des stations pilotes dédiées.

Les partenaires du projet ont envoyé dix échantillons des différents types de déchets au CSM, pour les activités de laboratoire de gazéification et de traitement plasma du gaz de synthèse produit.

L'activité du CSM a été divisée en différentes phases comme précisé ci-dessous.

- Phase 1 - Analyse physico-chimique en laboratoire sur le matériel sélectionné,
- Phase 2 - Essais de gazéification en laboratoire.
- Phase 3 - Purification du gaz de synthèse avec la technologie de la torche à plasma,
- Phase 4 - Evaluation technico-économique du procédé.

3.3.3 Objet du document

L'objectif de l'activité du CSM est de soutenir l'Université de Cagliari dans la phase de laboratoire expérimental, dans les tests de gazéification et le traitement avec des torches à plasma sur des installations pilotes. Sur la base des résultats expérimentaux, les conditions optimales du processus de production et de nettoyage du gaz de synthèse seront déterminées, dans le but d'identifier la consommation d'énergie

qu'aurait une installation industrielle, les coûts associés et une estimation de la valeur économique finale.

3.3.4 Analyse chimique/physique du matériau sélectionné pour l'expérimentation

Les partenaires du projet ont envoyé des échantillons des matériaux appartenant aux différents types de déchets au CSM pour expérimentation

3.3.4.1 Description des types de matériel affectés au CSM

Des échantillons des matériaux envoyés au CSM sont présentés dans les figures 3-6. Dans cette figure 3-6, le numéro de séquence de l'échantillon est indiqué dans la commande, la description fournie par la personne qui a envoyé l'échantillon, le type d'appartenance, l'origine d'expédition de l'échantillon, le contenu, le poids (réel) de l'échantillon envoyé, et ceux indiqués, le code d'identification du laboratoire. L'aspect des échantillons tels qu'ils ont été reçus par le CSM est présenté dans les images présentées dans la figure 3-7.

3.3.4.1.1 Préparation du matériel et analyse

Sur la base des types de déchets indiqués en annexe 1, nous avons procédé à l'attribution de type dans les cas où aucun n'était indiqué. De plus, les échantillons ont été pesés de manière fractionnée afin de vérifier la correspondance avec les quantités indiquées dans les types de chaque tableau.

Pour les échantillons dans lesquels certaines catégories de matériaux étaient insuffisantes et / ou manquantes, l'intégration a été faite avec le matériel approprié, avec l'approbation spécifique du client. Par la suite, tous les échantillons ont été coupés à des tailles inférieures à 50 mm. A partir des échantillons homogènes, obtenus après l'opération de quartage, des portions adaptées aux analyses chimiques, aux mesures thermo-gravimétriques et aux essais de gazéification ont été prélevées et pesées. L'annexe 2 présente les fiches matières telles qu'envoyées et après réduction à 50 mm et phase de meulage fin.

3.3.4.1.2 Caractérisation chimique

Les analyses de caractérisation chimique effectuées sur tous les échantillons sont présentées dans les Figures 3-8 Figure 3-9 Figure 3-10. En particulier, la figure 3-8 montre le pouvoir calorifique supérieur et inférieur (PCS et PCI) et l'analyse élémentaire en termes de C, H, N, Cl et S. La figure 3-9 indique l'analyse immédiate : humidité, cendres, volatil matière et carbone fixe. Enfin, les figures 3 à 10 rapportent l'analyse quantitative des cendres effectuée par voie humide avec la spectrométrie d'émission optique (ICP-OES).

Campione n.	Descrizione Fornita	Tipologia attribuita	Origine	Contenuto	Peso campione	Peso indicato nella spedizione	Sigla campioni preparati
1	Rifiuti misti spiaggiati - spiaggia litorale Multedo (LI)	A	Italia Genova (Livorno)	Macinato <5 mm	5 Kg		LI1_A
5	Port de Toulon	A	Francia (Port de Toulon)	Materiali misti: moquette, sigarette, tubo in plastica, cartone sporco alimenti, ventola in plastica, rete, cartoni ed altro	4,2Kg	7,1Kg	Tu_A
6	Port D'Hyeres B1	B (ma con vetro e metallo)	Francia (Port D'Hyeres)	Materiali misti: Cassette di plastica, pinna da sub, calamari in gomma, corda piastra metallica e altro	4,5 Kg	7,7 Kg	Hy_B1
8	Genova Plastica _circa 4,5Kg Plastica con materiale organico (mitili) adesivo ~ 1,5Kg materiale organico (mitili, alghe) ~ 1,5 Kg Vetro ~ 2Kg; lattine meno di 1 etto; catrame ~ 2 etti	B	Italia (Genova)	Materiali misti: Plastica _bottiglie, copertura, pluriball, bicchieri, locci, ecc; Sacchi separati: Plastica con adesivo materiale organico (mitili) _lacci, ecc; Materiale organico (mitili, alghe) _noce di cocco, carta sporca di alimenti, ecc; Vetro _bottiglie; Metallo _1 lattina di birra; Catrame	10 Kg	10Kg	GE_B
7	Port D'Hyeres B2	B2	Francia (Port D'Hyeres)	Materiali misti: Tubazioni antincendio, stracci e pezzi di metallo	5 Kg	8 Kg	HY_B
2	Reti natanti indifferenziato rifiuto mare (LI)	C1	Italia Genova (Livorno)	Macinato <5 mm	5 Kg		LI2_C1
4	Veolia La Seyne sur mer	C1	Francia (Veolia La Seyne sur mer)	Materiale misto: Plastica (Bottiglie, vassoio, pezzi in plastica, guanti); Metallo (cilindro); Vetro (Bottiglia); Cartone / tetrapack (contenitori latte)	1,8Kg	4,8 Kg	HY_VE_B
3	Reti natanti differenziato plastica rifiuto mare (LI)	C2	Italia Genova (Livorno)	Macinato <5 mm	5 Kg		LI3_C2
9	Campione preparato da rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operino la raccolta differenziata: rifiuto secco non riciclabile tal quale (T.Q.)	C1	Italia (Cagliari)	Pezzatura 20 +50 mm con qualche pezzo fino a 150 mm		5 Kg	CA_C1
10	Campione preparato da rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operino la raccolta differenziata: campione di plastica non riciclabile presente nel rifiuto secco	C2	Italia (Cagliari)	Pezzatura 20 +50 mm con qualche pezzo fino a 150 mm		5 Kg	Ca_C2

A. N° 1 campione preparato da materiale proveniente da spiaggia/litorale (beach litter).

B. N° 2 campioni preparati dal materiale raccolto dai pescatori durante le normali attività di pesca e conferito in "cassoni scarrabili" (o altri mezzi/contenitori per la raccolta dei rifiuti) messi a disposizione nei porti dall'Autorità Portuale.

B1 N° 1 campione privo di metallo e vetro (riciclabili) ma con tutte le plastiche.

B2 N° 1 campione privo di metallo e vetro e delle plastiche riciclabili.

C. N° 2 campioni preparati da rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operino la raccolta differenziata così rispettivamente costituiti:

C1 N° 1 campione rappresentativo del rifiuto secco non riciclabile tal quale (T.Q.).

C2 N° 1 campione costituito solo dalla plastica non riciclabile presente nel rifiuto secco non riciclabile.

Figure 3-6. Échantillons des matériaux envoyés au CSM selon les types (indiqués dans la note de bas de page)

Campione n.	Descrizione Fornita / Tipologia / Origine / Sigla	Aspetto del campione Ricevuti	Campione n.	Descrizione Fornita / Tipologia / Origine / Sigla	Aspetto del campione Ricevuti
1	Rifiuti misti spiaggiati - spiaggia litorale Multedo (LI) Tipologia attribuita: A Origine: Italia Genova (Livorno) Sigla: LI1_A		8	Genova Tipologia attribuita B (con vetro e metallo) Origine: Italia Genova Sigla: GE_B	
5	Port de Toulon Tipologia attribuita A Origine: Francia Port de Toulon		7	Port D'Hyeres B2 Tipologia attribuita B2 (con vetro e metallo) Origine: Francia Port D'Hyeres Sigla: HY_B	
6	Port D'Hyeres B1 Tipologia attribuita B (con vetro e metallo) Origine: Francia Port D'Hyeres Sigla: Hy_B1		2	Reti natanti indifferenziato rifiuto mare (LI) Tipologia attribuita C1 Origine: Italia Genova (Livorno) Sigla: LI2_C1	

4	Veolia La Seyne sur mer Tipologia attribuita C1 Origine Francia (Veolia La Seyne sur mer) Sigla: HY_VE_B		9	Rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operino la raccolta differenziata: rifiuto secco non riciclabile tal quale (T.Q.) Tipologia attribuita C1 Origine: Italia Cagliari Sigla: CA_C1	
3	Reti natanti differenziato plastica rifiuto mare (LI) Tipologia attribuita C2 Origine: Italia Genova (Livorno) Sigla: LI3_C2		10	Rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operino la raccolta differenziata: campione di plastica non riciclabile presente nel rifiuto secco. Tipologia attribuita C2 Origine: Italia Cagliari Sigla: Ca_C2	

Figure 3-7. Aspect des échantillons reçus des différents types

Tipologia	Campione	Sigla	PCS (MJ/Kg)	PCI (MJ/Kg)	Ceneri a 600°C (% ss)	C (% ss)	H (% ss)	N (% ss)	Cl (% ss)	S (% ss)	*O (% ss)
A	Rifiuti misti spiaggiati_A	LI_1_A	24,73 ± 0,36	22,99 ± 0,34	9,43 ± 0,19	65,92 ± 6,41	8,44 ± 0,54	3,2 ± 0,41	1,38 ± 0,14	0,04 ± 0,002	12,97
	CSM_Port de TOULON_A	TU_A	29,89 ± 0,44	28,49 ± 0,42	10,08 ± 0,20	46,75 ± 4,54	6,82 ± 0,44	1,05 ± 0,14	5,37 ± 0,54	0,048 ± 0,004	35,25
B	CSM_Genova_B	GE_B	26,41 ± 0,39	24,46 ± 0,36	9,08 ± 0,18	57,85 ± 5,62	9,45 ± 0,61	1,33 ± 0,17	0,51 ± 0,05	0,029 ± 0,002	22,25
	CSM_Port d'Hyeres_B	HY_B	30,37 ± 0,44	28,20 ± 0,41	17,11 ± 0,34	67,5 ± 6,56	10,53 ± 0,68	0,91 ± 0,12	1,70 ± 0,17	0,29 ± 0,03	3,66
B1	CSM_Port d'Hyeres_B1	HY_B1	24,29 ± 0,36	22,59 ± 0,33	12,48 ± 0,25	52,05 ± 5,06	8,28 ± 0,53	6,74 ± 0,87	1,83 ± 0,18	0,054 ± 0,005	20,39
	CSM_Port d'Hyeres e Veolia_B1	HY-VE_B1	24,56 ± 0,36	23,00 ± 0,34	9,65 ± 0,19	50,27 ± 4,88	7,61 ± 0,49	4,05 ± 0,52	0,99 ± 0,10	0,029 ± 0,003	28,38
C1	Reti natanti indifferenziato _ mare_C1	LI_2_C1	23,38 ± 0,34	21,47 ± 0,31	12,75 ± 0,25	60,86 ± 5,91	9,28 ± 0,60	2,16 ± 0,28	2,38 ± 0,24	0,04 ± 0,003	14,91
	Cagliari_C1	CA_C1	24,89 ± 0,36	23,28 ± 0,34	11,68 ± 0,23	51,57 ± 5,01	7,85 ± 0,50	1,79 ± 0,23	0,27 ± 0,03	0,051 ± 0,004	27,07
C2	Reti natanti differenziato _ mare_C2	LI_3_C2	31,24 ± 0,46	28,94 ± 0,42	9,33 ± 0,19	78,12 ± 7,59	11,14 ± 0,72	2,34 ± 0,30	3,53 ± 0,35	0,036 ± 0,003	<2
	Cagliari_C2	CA_C2	39,86 ± 0,58	37,26 ± 0,55	2,87 ± 0,06	74,02 ± 7,19	12,60 ± 0,81	0,71 ± 0,09	0,23 ± 0,02	0,010 ± 0,001	19,8

Figure 3-8 Pouvoir calorifique supérieur et inférieur (PCS et PCI) Analyse élémentaire (C, H, N, Cl, S)

Figure 3-9 Analyse immédiate (humidité, cendres, MV, C fixe)

Tipologia	Campione	Sigla campione	Al (%)	Ca (%)	Cr (%)	Cu (%)	Ni (%)	Zn (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Pb (%)	Ti (%)	Si (%)	S (%)	Sc (%)
A	Rifiuti misti spiaggiati_A	LI_1	9,10	10,8	0,07	2,20	<0,05	2,26	3,20	0,04	4,21	0,76	1,31	0,40	1,35			
	CSM_Port de TOULON_A	TU_A	1,38	30,6	0,02	0,37	<0,05	0,83	1,91	0,05	0,74	0,61	1,20	0,01				
B	CSM_Genova_B	GE_B	3,16	30,8	0,24	0,20	3,42	0,58	3,32	0,11	0,89	0,68						
	CSM_Port d'Hyeres_B	HY_B	7,80	19,6	0,02	0,20	<0,05	2,37	1,71	0,05	1,01							
B1	CSM_Port d'Hyeres_B1	HY_B1	1,98	20,5	0,02	0,52	<0,05	1,18	2,73									
	CSM Port d'Hyeres e Veolia_B1	HY_VE_B1	3,62	18,7	0,02	0,53	<0,05											
C1	Reti natanti indifferenziato _ mare_C1	LI_2	3,09	12,8	0,71													
	Cagliari_C1	C_C1	7,76															
C2	Reti natanti differenziato _ mare_C2	LI_3																
	Cagliari_C2	C_C2																

(*) Le ceneri
circa il 5%

Figure 3-10 Analyse quantitative des cendres avec la technique de spectrométrie d'émission optique (ICP-OES)

3.3.4.2 Caractérisation thermogravimétrique

Les tests de thermo-gravimétrie ont été réalisés sur cinq échantillons de types différents afin d'évaluer la perte de poids en fonction de la température (jusqu'à environ 1000°C), dans l'atmosphère à la fois d'air et d'azote. Les résultats des tests sont présentés à l'annexe 3. Le tableau 3-2 résume les résultats de la TGA.

Campione	Sigla	ARIA		Gas inerte (Azoto)	
		<500°C	>500°C	<500°C	>500°C
CSM_Portb de TOULON_A	TU_A	78	93	64	81
CSM_Genova_B	GE_B	74	88	76	82
CSM_Port d'Hyeres_B1	HY_B1	71	91	71	79
Livorno_C1	LI2_C1	69	87	72	79
Cagliari_C2	CA_C2	75	96	76	93
Media		73.4	91	71.8	82.8
Dev. ST		3.5	3.7	4.9	5.8

Tableau 3-2 Résultats des TGA dans l'air et l'azote en pourcentage de la diminution de poids d'origine

Du tableau 3-2 il ressort que les TGA des échantillons présentent un comportement similaire dans les mêmes conditions. Pour des températures jusqu'à 500°C la diminution de poids est de : • 73,4 % dans l'air avec un écart type de 3,5 %, • 71,8 % dans l'azote avec un écart type de 4,9 %, légèrement supérieur. Pour les températures

avec un écart-type de 5,8 %. La différence de perte de poids constatée lors d'un fonctionnement dans l'air et l'azote au-dessus de 500°C est due à la combustion partielle ou totale de composés, non volatils à ces températures, en présence d'oxygène. Le choix des conditions opératoires pour le traitement du matériau dépend de plusieurs facteurs. En effet, du point de vue de l'élimination des déchets, une réduction de poids d'environ 90 % est certainement préférable car il y a moins de cendres à gérer. Au contraire, du point de vue du débit de gaz à épurer, une plus grande quantité est générée avec le traitement à l'air.

3.3.5 Essais de gazéification en laboratoire

Les matériaux utilisés dans les tests de gazéification sont les mêmes échantillons utilisés dans les analyses TGA. La figure 3-11 illustre l'aspect des échantillons soumis au traitement de gazéification ainsi que leurs principales caractéristiques en termes de pouvoir calorifique supérieur et inférieur, quantité de cendres à 600°C, analyse élémentaire (C, H, O, N, Cl, S) humidité, matières volatiles, carbone fixé.

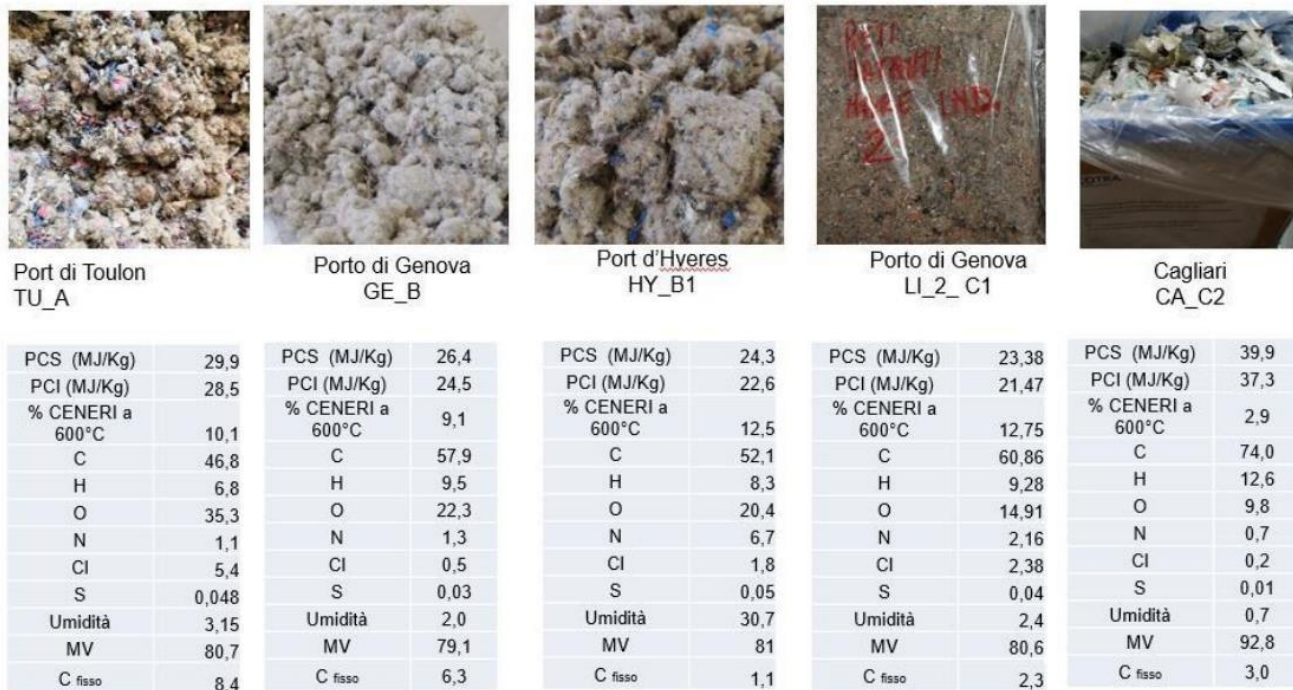


Figure 3-11 Matériaux utilisés dans les essais de gazéification

3.3.5.1 Description des essais effectués

Le schéma de l'installation pilote utilisée pour l'exécution des essais de gazéification est illustré aux figures 3-12. La partie centrale de l'installation est le tambour rotatif, à l'intérieur duquel est placé l'échantillon à traiter. Le matériel est chauffé de l'extérieur par 4 brûleurs alimentés au GPL. Il n'y a aucune possibilité d'interaction entre les gaz générés par les brûleurs externes avec les gaz de synthèse développés à l'intérieur du réacteur.

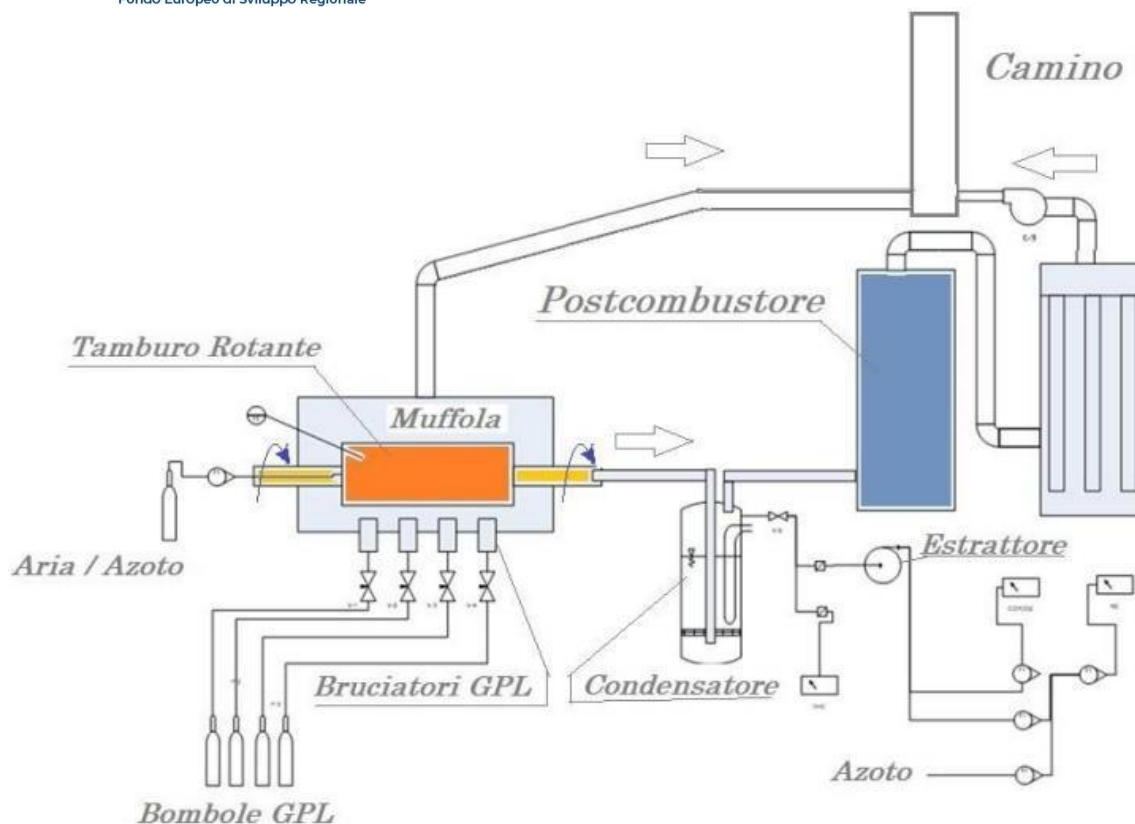


Figure 3-12 Schéma du gazogène

Le tambour rotatif, d'un volume d'environ 50 litres, est alimenté en air ou en gaz inerte (ex : azote), régulé par un débitmètre. Les gaz produits, sortant du réacteur, sont refroidis dans un condenseur à une température de -2°C . Une partie de ces gaz est prélevée pour analyse, le reste est envoyé vers une postcombustion pour l'abattement des composés dangereux. Tant les gaz générés par les brûleurs externes que ceux sortant de la post-combustion sont purifiés avant d'être envoyés dans la cheminée puis rejetés dans l'environnement. Le refroidissement des gaz est nécessaire pour séparer les TAR, liquides nocifs pour les plantes composés d'hydrocarbures, de nanoparticules et de composés de chlore et de soufre, du gaz produit par le processus de gazéification. En particulier, les TAR sont piégés dans une solution à base d'acétone. Les gaz purifiés par le TAR, aspirés avec une pompe à vide, sont collectés dans des sacs de prélèvement pour analyse chimique. Les sacs ont été conservés à $T = 10^{\circ}\text{C}$ et analysés dans les 24 heures suivant le test. Les essais de gazéification consistaient à introduire une quantité d'environ 500 g dans le tambour rotatif, à chauffer la matière avec une vitesse de $60 \div 75^{\circ}\text{C}/\text{min}$ jusqu'à une température d'environ 900°C , à introduire un débit d'air sous-stoechiométrique de 10 l/min, attendre égal à 5 minutes pour permettre l'atteinte d'un régime permanent pour le lavage de la chambre, phase de captage des gaz. Les figures 3-13 et 3-14 montrent l'équipement utilisé lors des essais de gazéification.



Figure 3-14. Usine pilote pour essais de gazéification. Sur la photo de gauche, vous pouvez voir le moteur électrique pour la rotation du tambour avec une vitesse réglable entre 0,5 et 2 tr/min, la menuiserie qui délimite le moufle (voir figure 2), les brûleurs pour chauffer le tambour, et sur le côté droit le condenseur de gaz de synthèse et le système de purge et la pompe d'aspiration. Sur la photo de droite, vous pouvez voir le détail du réacteur avec les 4 brûleurs allumés alimentés au GPL

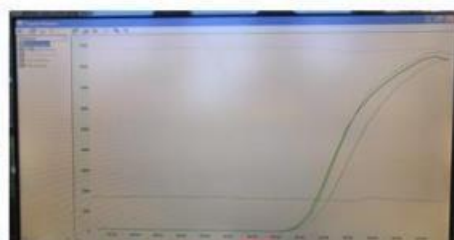
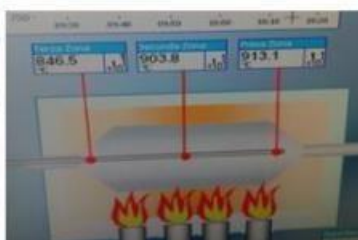


Figure 3-13. Écrans du système de contrôle de processus du processus de gazéification. A gauche : l'écran de contrôle de toutes les températures ; au centre : les températures mesurées avec trois sondes de température à l'intérieur de la chambre à tambour rotatif pour le contrôle des différentes zones ; à droite : la rampe de montée en température jusqu'à la température d'essai (900°C réalisé en 12 min)

3.3.5.2 Discussion des résultats

Les principaux composants du gaz de synthèse et de la fraction liquide obtenus lors des essais de gazéification dans l'air sont reportés, en pourcentage massique, dans le tableau 3-3. La composition du gaz de synthèse exprimée en pourcentage volumique est reportée dans le tableau 3-4.

Temperatura prelievo (°C)	840-860	780-880	650-900	750-904	858-932			
Composizione % (p/p)	LI_2	TU_A	CA_C2	GE_B	HY_B1	Media	Min	Max
H ₂	0,71	1,08	0,68	0,66	0,42	0,7	0,4	1,1
O ₂	0,12	<0,1	0,14	0,12	<0,1	0,1	0,1	0,1
N ₂	64,7	55,0	69,0	55,4	72,8	63,4	55,0	72,8
CH ₄	1,4	2,5	3,2	2,3	8,6	3,6	1,4	8,6
CO ₂	15,5	18,8	9,8	14,3	0,81	11,8	0,8	18,8
CO	11,9	11,6	8,5	14,0	8,8	11,0	8,5	14,0
C ₂ H ₆ - etano	0,62	0,03	1,4	0,38	0,08	0,5	0,0	1,4
C ₃ H ₈ - propano	0,91	<0,1	<0,1	<0,1	0,19	0,6	0,2	0,9
C ₄ H ₁₀ - butano e isomeri	1,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,3	1,3	1,3
C ₅ H ₁₂ - pentano	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C ₆ H ₁₄ - esano e isomeri	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C ₂ H ₄ - etilene	0,97	0,19	2,8	0,70	0,03	0,9	0,0	2,8
C ₂ H ₂ - acetilene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Alifatici C ₅ -C ₈	0,84	4,7	2,9	<0,1	<0,1	2,8	0,8	4,7
Aromatici C ₉ -C ₁₀	0,32	<0,1	<0,1	<0,1	1,7	1,0	0,3	1,7
Alifatici C ₉ -C ₁₈	0,12	1,4	0,38	1,8	0,91	0,9	0,1	1,8
Alifatici C ₁₉ -C ₃₈	0,35	2,5	0,73	5,9	2,2	2,3	0,3	5,9
Aromatici C ₁₁ -C ₂₂	0,21	2,3	0,50	4,1	3,3	2,1	0,2	4,1

Tableau 3-4 Composition du gaz de synthèse (pourcentage en volume)

En se référant aux données du Tableau 3-3 :

- l'hydrogène à l'état moléculaire est en moyenne de 0,7 % en poids
- hors CO et CO₂, les produits carbonés restants constituent 16 % en poids. Si l'on suppose que ces composés sont constitués d'environ 80 à 88 % de carbone et de 12 à 20 % d'hydrogène, on peut estimer qu'environ 2,5 % en poids de H₂ sont présents dans les gaz.

Ainsi, l'hydrogène total des produits de gazéification se situe à une valeur égale à environ 3 % en poids. Si au lieu d'effectuer les essais de gazéification sous air, on avait opéré avec de l'oxygène pur (avec un débit égal à celui relatif à l'oxygène de l'air injecté seul), la composition en pourcentage du gaz aurait été celle reportée dans le Tableau 3- 5, calculé à partir des données du tableau 3-4.

Tableau 3-5 Composition calculée du gaz de synthèse en supposant une gazéification conduite dans l'oxygène (pourcentage en volume)

28%	21%	30%	17%	3%	1%
------------	------------	------------	------------	-----------	-----------

De même, en considérant également les condensables, sur la base des données du tableau 3-3, la composition moyenne aurait été (en poids) :

H ₂	O ₂	CH ₄	CO ₂	CO	C ₂ H ₆ - etano	C ₃ H ₈ - propano
1.8%	0.3%	9.1%	29.8%	27.8%	1.3%	1.5%
C ₄ H ₁₀ - butano e isomeri	C ₂ H ₄ - etilene	Alifatici C ₅ -C ₈	Aromatici C ₉ -C ₁₀	Alifatici C ₉ -C ₁₈	Alifatici C ₁₉ -C ₃₆	Aromatici C ₁₁ -C ₂₂
3.3%	2.3%	7.1%	2.5%	2.3%	5.8%	5.3%

Tableau 3-5 Composition calculée du gaz de synthèse en supposant une gazéification conduite dans l'oxygène (pourcentage en volume)

3.3.6 Essais de purification de gaz de synthèse avec la technologie de la torche à plasma

D'après les données expérimentales, il a été constaté que la teneur en hydrogène à l'état moléculaire représente environ le quart de celle disponible dans le gaz de synthèse brut. En fait, la majeure partie de l'hydrogène est liée au carbone dans les composés organiques. Pour libérer tout l'hydrogène et en même temps purifier le gaz de synthèse brut des composés aromatiques, il est possible d'exploiter les hautes températures atteintes à l'intérieur du plasma, capables de casser les liaisons chimiques C-H. Il est connu que l'ajout de vapeur d'eau dans les fumées de combustion/pyrolyse augmente le dégagement d'hydrogène. En fait il y a la réaction $C_xH_y + x H_2O \rightarrow x CO + (y/2 + x) H_2$ dans laquelle les molécules organiques se dissocient pour former du monoxyde de carbone (ou dioxyde de carbone) et de l'hydrogène. À cette fin, il a été décidé de mener une activité expérimentale visant à quantifier la dissociation moléculaire des composés organiques et l'augmentation associée de l'hydrogène dans le gaz de synthèse. Compte tenu de la faible quantité de déchets traités dans l'usine pilote, il n'y avait pas un volume de gaz de synthèse brut suffisant pour les tests de dissociation du plasma.

Nous avons donc procédé à recréer un gaz de synthèse artificiel composé d'hydrocarbures, de gaz inerte (porteur) et d'eau. Il a été décidé de ne pas ajouter les gaz présents à l'état moléculaire (H₂, CO, CO₂, ...) car ils n'apporteraient aucun avantage au processus de dissociation avec le plasma.

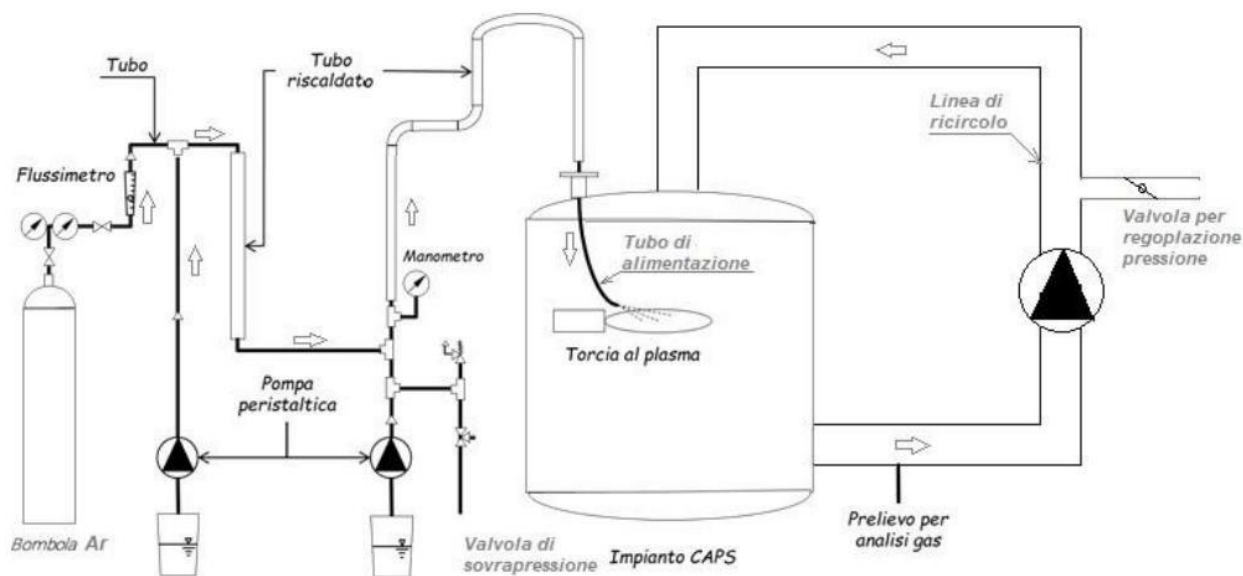


Figure 3-15. Schéma de la station de traitement du gaz de synthèse



Figure 3-16. Usine CAPS avec modifications pour le traitement du gaz de synthèse

Le gaz de synthèse artificiel utilisé est un mélange d'hydrocarbures de formule brute C_xH_y contenant 40% de pentane, 30% de n-heptane et 30% de décane.

L'argon a été utilisé comme gaz vecteur. Les hydrocarbures sélectionnés ont une température d'ébullition de respectivement 36,1°C pour le pentane C_5H_{12} , 94,4°C pour le n-heptane C_7H_{16} et 174,1°C pour le décane $C_{10}H_{22}$. Etant à l'état liquide à température ambiante, pour les utiliser en mélange homogène avec le gaz vecteur il est nécessaire de les vaporiser. Ceci a été réalisé en introduisant un débit contrôlé (125 ml/h) dans un tube chauffant, réglé à 196°C. Pour achever rapidement la transition d'état et l'homogénéisation dans le mélange gazeux et maintenir la température de consigne, les hydrocarbures ont été frappés par un flux d'argon à 196°C.

Toujours sur la conduite de gaz vecteur (Ar), mais en position précédant la conduite de réchauffage des hydrocarbures, une dérivation a été ajoutée pour l'introduction d'eau. De cette façon, l'eau introduite peut se vaporiser en traversant le tube chauffant lui-même.

Après mélange, vaporisation et atteinte de la température souhaitée, le gaz de synthèse artificiel arrive dans la chambre avec la torche à plasma. Le plasma est alimenté en gaz plasmogène Argon à un débit de 50 l/min, ce qui garantit un taux d'efflux du même à environ 3 Mach et avec une température supérieure à 5000°C.

L'atmosphère de la chambre est composée d'argon et maintenue à la pression souhaitée par un système de contrôle de pression précis avec circuit de recirculation.

Le gaz en excès est évacué vers l'extérieur avec une autre pompe. Avant de commencer les essais, le système a été mis en dépression, atteignant la valeur minimale de 0,8 mbar absolu puis rempli de gaz inerte, en répétant l'opération plusieurs fois pour éliminer au maximum l'air initialement présent.

Pour les tests de traitement du gaz de synthèse, la valeur de pression a été définie sur 500 mbar absolus, comme indiqué par l'écran du panneau de commande de l'écran du panneau de commande lors du test de dissociation du gaz de synthèse (Figure 3-17).

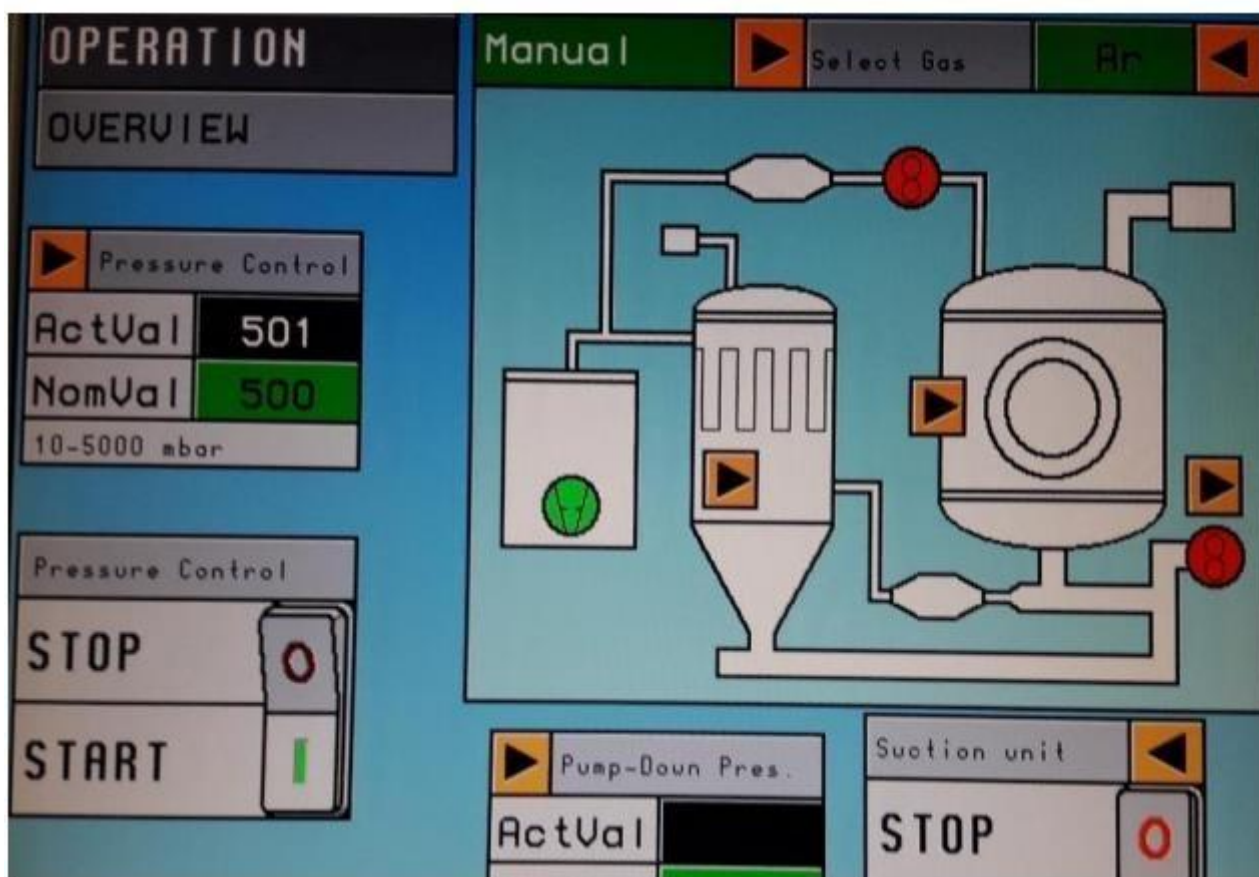


Figure 3-17. Écran du panneau de contrôle pendant le test de dissociation du gaz de synthèse

Le système d'approvisionnement en eau et en hydrocarbures est illustré aux figures 3-18. Au premier plan, légèrement à droite, le gobelet à eau est visible avec sa pompe péristaltique (bleu). Sur la gauche, vous pouvez voir le bécier d'hydrocarbure placé sur un agitateur électromagnétique à ancre pour maintenir un mélange constant. La pompe péristaltique relative (rouge) est visible sur l'étagère supérieure. Deux sections du tube chauffant sont également visibles: à droite celle du gaz porteur et de l'eau, à gauche la dernière pour la vaporisation des hydrocarbures



Figure 3-18. Détails du système d'approvisionnement en eau et en hydrocarbures

Le dard plasma lors de l'injection du gaz de synthèse à traiter est représenté sur les figures 3-19. Le gaz de synthèse est envoyé sur la surface du dard de manière orthogonale à une vitesse d'environ 20-30 m/s, donc 2 ordres de grandeur inférieure à la vitesse du gaz plasmogène. Cela garantit une excellente stabilité de la fléchette. La puissance du plasma a été ajustée à 18 kW qui, pour un débit de gaz plasmogène de 50 NI/min, produit une fléchette longue de $50 \div 80$ mm et d'un diamètre de $8 \div 10$ mm.



Figure 3-19. Apparition du dard - plasma lors de l'injection du gaz de synthèse artificiel.

Le temps de contact du gaz de synthèse avec le dard est de l'ordre du dixième millièm de seconde (0,0001 s), suffisant pour que la dissociation des molécules organiques et des molécules d'eau se produise. En effet, au point de prélèvement des gaz pour les analyses réalisées avec le chromatographe en phase gazeuse, aucune trace des molécules des composés organiques introduites dès le départ ou de l'eau n'a été enregistrée (voir paragraphe suivant).

Notez que le système d'essai est un système semi-fermé, dans lequel tous les gaz présents dans la chambre sont extraits par une pompe de recirculation et une partie de ceux-ci est rejetée dans l'environnement pour maintenir la pression à une valeur constante.

Cela signifie que lorsque le processus d'introduction du gaz de synthèse sur la torche commence, la concentration des produits de dissociation augmente progressivement, tendant à atteindre une valeur limite, qui dépend des quantités de gaz de synthèse, de gaz plasmogène introduit, et de gaz inerte présent.

3.3.6.2 Discussion des résultats

Le test de traitement des produits de gazéification ou de dissociation des molécules organiques a été réalisé suivant le procédé illustré au paragraphe précédent. La figure 3-20 montre l'évolution des quantités introduites dans le système (débits d'eau et mélange de gaz de synthèse simulant les hydrocarbures), et des produits et composés de dissociation (oxydes d'azote NO_x, méthane CH₄, dioxyde de carbone CO₂, hydrogène H₂, monoxyde de carbone CO). Le graphique n'indique pas la quantité constante du test :

- débit de gaz porteur Ar du gaz de synthèse : 10 NL/min,
- débit de gaz plasmogène : 50 NL/min. Le volume de la chambre CAPS et des conduits de recirculation est d'environ 7000 NL et la pression de travail a été maintenue à 500 mbar absolus.

Prova di dissociazione del gas di gassificazione a syngas

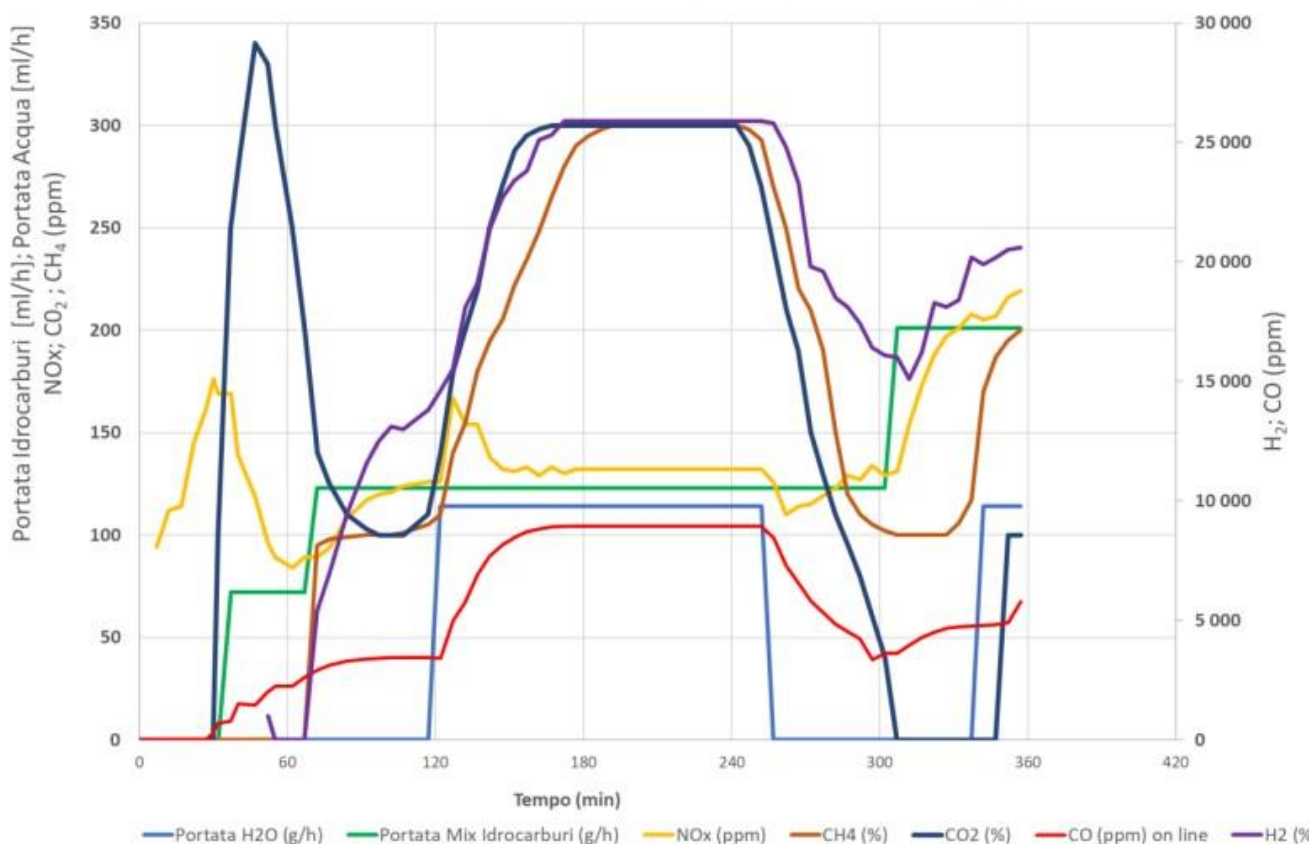


Figure 3-20. Evolution des débits d'eau, d'hydrocarbures introduits et des concentrations instantanées des produits de dissociation. Le débit du gaz porteur inerte (Ar) est constant et est égal à 10 NL/min. Le débit du gaz plasmogène est également constant et égal à 50 NL/min.

L'essai a commencé après avoir fait le vide et introduit de l'argon dans l'enceinte à une pression absolue de 500 mbar, puis la torche a été allumée. Au bout de 30 minutes à compter de l'allumage de la torche, le gaz de synthèse a commencé à être introduit avec le débit d'hydrocarbures à environ 75 mL/h, augmenté par la suite à 125 mL/h : il y a une première phase de stabilisation des valeurs mesurées, due à résidus des gaz précédents le long de la ligne de soutirage (ex. CO₂). La présence d'oxydes d'azote est due à la présence de quantités modestes d'azote (et d'oxygène) dans le gaz industriel inerte utilisé.

Dans la première phase, jusqu'à 120 minutes, c'est-à-dire avant l'introduction de la vapeur d'eau, on note la formation d'hydrogène et de CH₄, de plus, grâce à l'oxygène présent, la formation de CO, CO₂ est rendue possible.

Ensuite, à partir de la minute 120, suite à l'addition d'eau avec le gaz de synthèse, suite à sa dissociation, il y a une augmentation significative des niveaux de monoxyde de carbone et d'hydrogène à des niveaux de points de pourcentage dans la composition des produits analysés. Le méthane et le dioxyde de carbone augmentent, même s'ils restent au niveau de centaines de ppm.

A la minute 250, l'introduction d'eau a été interrompue et il y a eu un effondrement du CO₂, une diminution du méthane, ainsi que de l'hydrogène (H₂) et du monoxyde de carbone (CO).

A la minute 300, la quantité d'hydrocarbures injectée a encore été augmentée, les portant à 200 mL/h, mais comme on peut le voir sur les graphiques il n'a pas été possible d'atteindre un nouvel équilibre, et l'ajout

d'eau s'est fait trop longtemps période de temps courte.

Les informations qui peuvent être obtenues à partir des essais effectués sont suffisantes pour confirmer la faisabilité technique du procédé technologique de « gazéification assistée par torche plasma ».

Ce procédé permet la valorisation des déchets grâce à la production d'un gaz de synthèse pour la gazéification et la purification ultérieure avec des torches à plasma.

L'importance de l'ajout de vapeur d'eau a également été démontrée. En effet, d'une part, l'eau rend disponible des quantités appréciables d'oxygène qui, en se liant avec le carbone pour former CO/CO₂, favorise la dissociation des molécules organiques et, d'autre part, libère de l'hydrogène.

Par conséquent, le gaz de synthèse souhaité est formé, faisant disparaître tous les autres composés présents également à l'état de traces. Le gaz de synthèse obtenu a un pouvoir calorifique autour de 20 MJ/kg.

D'autre part, l'attention est attirée sur la formation de NO_x générés lorsque les températures dépassent 1500 ÷ 2000 °C.

Avec la technologie plasma, atteindre des températures très élevées signifie que de faibles pourcentages d'azote dans le gaz de synthèse sont suffisants pour générer des quantités importantes de NO_x.

Par conséquent, l'utilisation de l'air comme gaz de procédé dans la gazéification et le traitement au plasma ultérieur doit être limitée autant que possible pour éviter la formation de tels composés.

3.3.7 Evaluation technico-économique du procédé

3.3.7.1 Généralités

Compte tenu de la faisabilité technique de la gazéification assistée par le procédé plasma pour le traitement des déchets marins, afin de passer aux évaluations économiques concernant la faisabilité industrielle, il est nécessaire d'indiquer à quelle taille d'usine il est fait référence. En effet, selon le volume annuel de déchets, il existe différentes solutions et schémas d'application

- taille minimale : moins de 1000 ÷ 2 000 t/a,
- taille intermédiaire : entre 1 000 ÷ 2 000 t/a et 15 000 ÷ 30 000 t/a,
- grande taille : supérieure à 30 000 ÷ 50 000 t/a.

Pour chaque calibre il est possible d'indiquer les quantités de gaz disponibles et donc leur contenu énergétique sous forme de potentiel d'énergie chimique convertible en énergie thermique et/ou électrique comme indiqué dans le tableau 3-7.

Taglia	Potenzialità nominale di trattamento rifiuti	Energia chimica disponibile (*)	Rendimento	Energia elettrica producibile lorda	Potenze
	[t/a]	[MWh/a]	h	MWhel/a	kW
Piccola	1000 ÷ 2000	7200 ÷ 14400	0.21	1500 ÷ 3000	200 ÷ 400
Intermedia	15000 ÷ 30000	108000 ÷ 216000	0.25	27000 ÷ 54000	3800 ÷ 7500
Grande	50000 ÷ 200000	360000 ÷ 1440000	0.32	115200 ÷ 460800	16000 ÷ 64000

Tableau 3-7.

Ce tableau a été obtenu sous la condition suivante : pouvoir calorifique moyen des déchets marins de 26

MJ/kg (valeur moyenne obtenue à partir des échantillons de déchets analysés). Cette valeur a été utilisée pour le calcul de l'énergie chimique disponible. L'efficacité de conversion augmente à mesure que la taille augmente car à mesure que la taille du système augmente, les performances des systèmes augmentent et la

dispersion des différents composants diminue en pourcentage. L'électricité brute pouvant être produite à l'arbre de l'alternateur ne tient pas compte de l'autoconsommation de la centrale elle-même. La puissance du système générateur est la valeur calculée sur la base d'un fonctionnement continu pendant 300 jours par an pendant 24 heures, égale à 7200 h/a, ceci pour tenir compte de la maintenance et des arrêts de l'usine.

Taglia	Potenzialità nominale di trattamento rifiuti	Energia chimica disponibile (*)	Rendimento	Energia elettrica producibile lorda	Potenze
	[t/a]	[MWh/a]	h	MWhel/a	kW
Piccola	1000 ÷ 2000	7200 ÷ 14400	0.21	1500 ÷ 3000	200 ÷ 400
Intermedia	15000 ÷ 30000	108000 ÷ 216000	0.25	27000 ÷ 54000	3800 ÷ 7500
Grande	50000 ÷ 200000	360000 ÷ 1440000	0.32	115200 ÷ 460800	16000 ÷ 64000

Tableau 3-7 Tailles des installations, énergie disponible, électricité productible, puissance de l'installation

Quant aux machines motrices utilisables (puissances indiquées dans la dernière colonne du tableau 3-7), elles peuvent pratiquement être de tout type. Pensez aux moteurs à combustion interne (MCI), aux diesels adaptés qui peuvent être disponibles pour l'automobile (petite gamme) pour le transport ferroviaire et les bateaux de taille moyenne (gamme intermédiaire), les grands navires de transport (grande gamme). Il en va de même pour les turbines à gaz (TG) car il existe des applications allant des petits 2 MW aux grandes centaines de MW, couvrant les deux dernières tranches de machines en fonctionnement jusqu'à 1900 MW pour la production dans les grandes centrales. Considérant que le marché offre des solutions avec chaque type de machine d'entraînement, le schéma de système correspondant est cependant différent et est indiqué dans l'ordre de la Figure 3-21, Figure 3-22 et Figure 3-23.

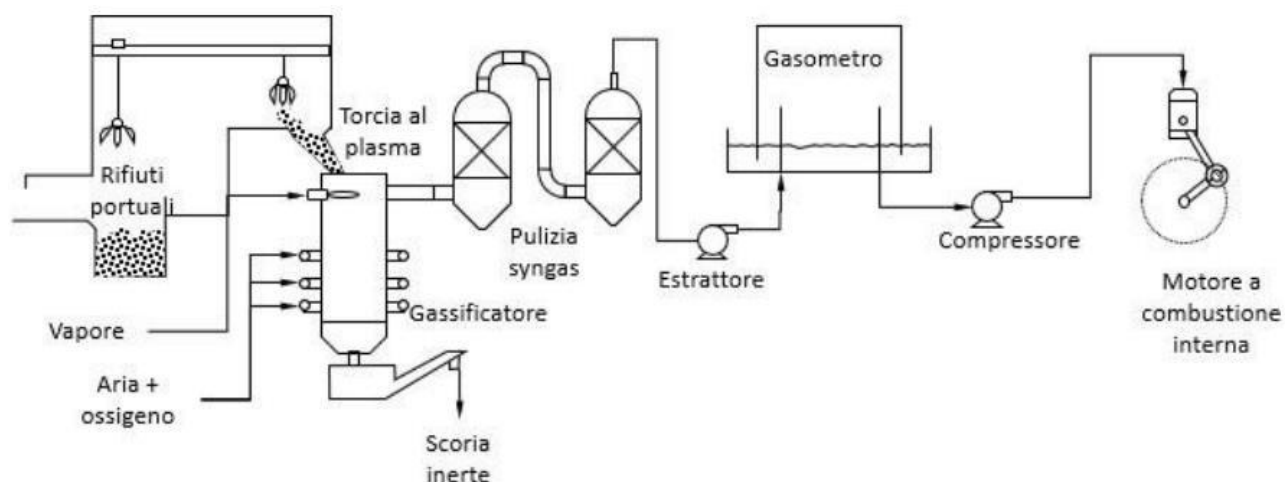


Figure 3-21 Schéma d'installation avec machine motrice à moteur à combustion interne (MCI)

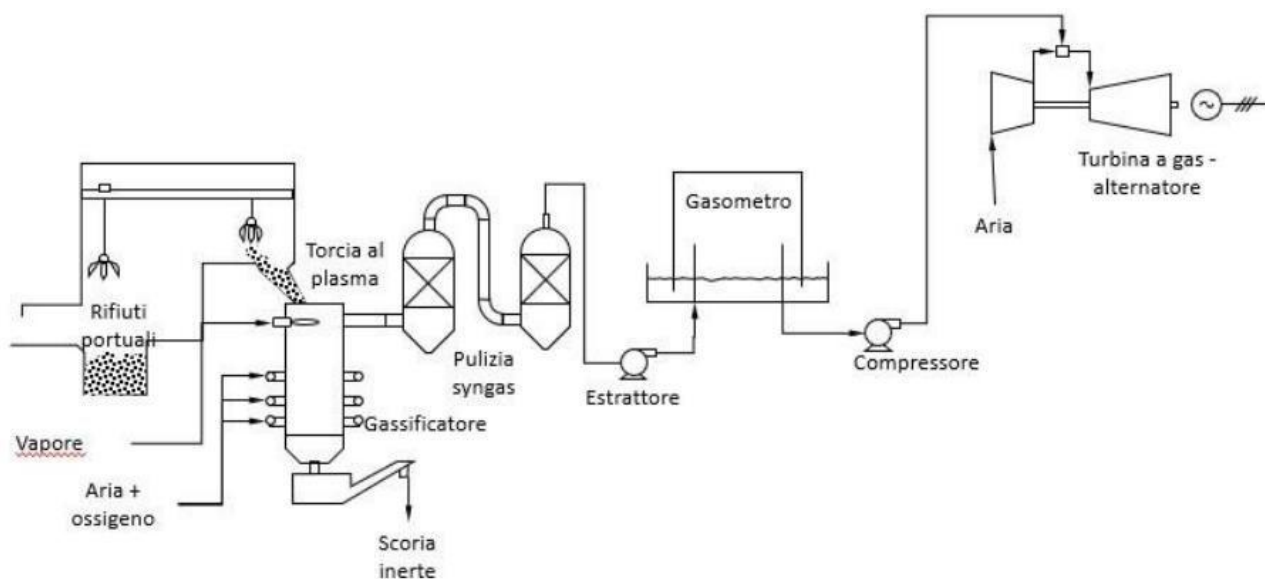


Figure 3-22 Schéma du système avec moteur à turbine à gaz (TG)

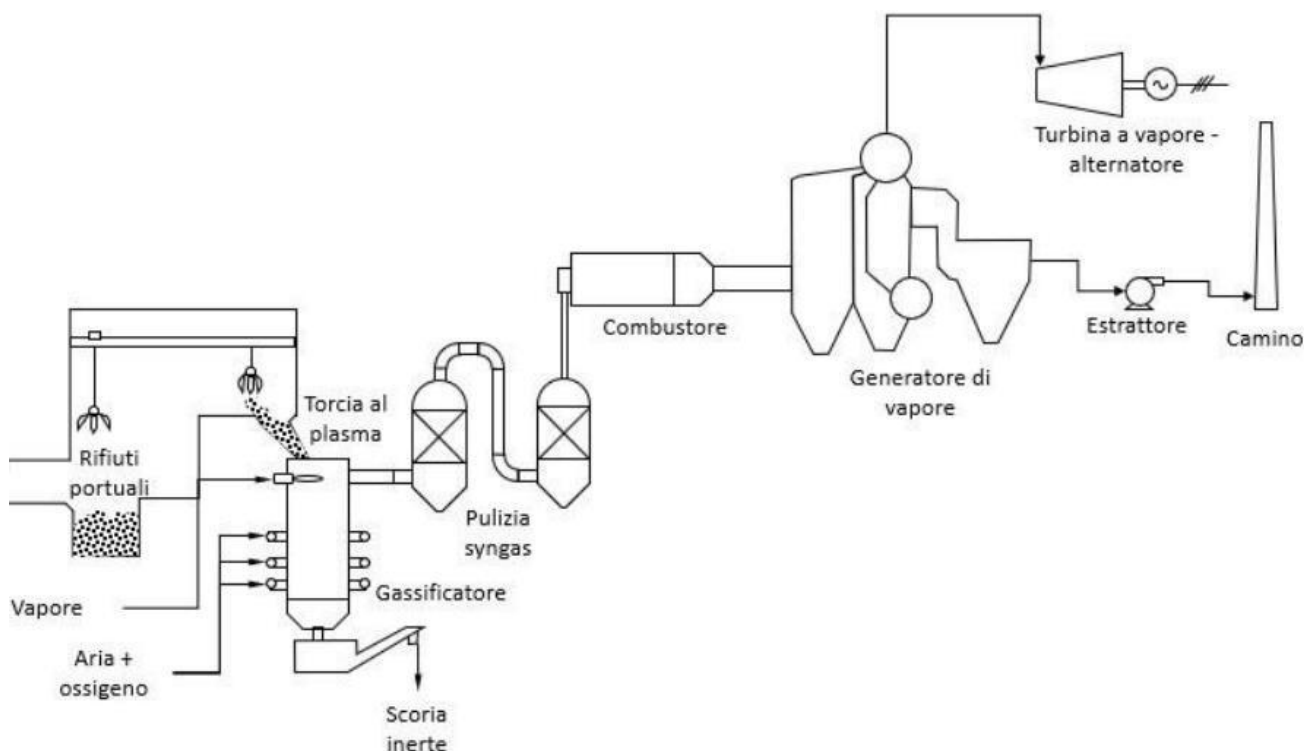


Figure 3-23 schéma de l'installation avec moteur à turbine à vapeur (TV)

La complexité de chaque usine augmente progressivement, passant de celle des machines d'entraînement MCI à TG et TV.

3.3.8 Description de la station de traitement des déchets marins jusqu'à la production de gaz de synthèse

Pour la description de l'usine, il sera fait référence dans ce document aux capacités suivantes de l'usine :

- 250 tonnes / semaine, capable de traiter actuellement les déchets plastiques provenant des ports de toute la Sardaigne et les déchets plastiques urbains provenant de la collecte des déchets municipaux différenciés et non triés de la zone métropolitaine de Cagliari ;
- 1500 tonnes / semaine, capables de traiter, en plus de tous les déchets d'origine plastique des ports de Sardaigne, tous les déchets plastiques urbains provenant de la collecte séparée des municipalités de toute l'île (soit environ 1065 tonnes / semaine).

Pour un dimensionnement approximatif, on peut supposer les sections suivantes de l'usine de production de gaz de synthèse : zone de stockage des déchets, gazéifieur, traitement au plasma pour obtenir le gaz de synthèse, rejet des cendres résiduelles et filtrage du gaz de synthèse. Entrepôt de stockage des déchets C'est le lieu de réception des matières à traiter. Deux hypothèses peuvent être envisagées :

- 1) les déchets n'ont pas été préalablement traités : dans ce cas, il est nécessaire de les soumettre à un criblage pour l'élimination des parties métalliques et verrières non traitables avec le système, broyage du produit final à des dimensions inférieures à 20 mm, séchage pour l'élimination de l'excès d'eau.
- 2) Le déchet a déjà été traité : dans ce cas il est considéré comme déjà déferritisé, et ne contient pas d'autres métaux et/ou verres et il est également considéré comme broyé. Le matériau doit être séché pour éliminer l'humidité résiduelle.

Dans les deux cas, la livraison doit avoir lieu avec des véhicules entrant dans l'entrepôt équipés de doubles portes en série à ouverture alternée pour empêcher les odeurs de s'échapper à l'extérieur de l'usine. A cet effet, l'entrepôt de réception des déchets doit être maintenu dans une légère dépression pour éviter les fuites d'air, mais uniquement les entrées possibles. Le volume de collecte doit être composé de deux réservoirs côte à côte d'environ 250 m³ avec des dimensions approximatives de 4 x 4 x 15 m. Avec une capacité d'environ 100 ÷ 120 t chacun. Les réservoirs séparés peuvent être entretenus et nettoyés indépendamment les uns des autres. Un système de manutention par pont roulant, équipé de pinces araignées, charge les déchets sur un tapis roulant pour les amener dans un tunnel de séchage. Alternativement, une trémie avec une tarière à l'intérieur d'un tube chauffé peut être utilisée. Le chauffage doit être effectué avec de l'eau chauffée provenant du système d'abaissement de la température du gaz de synthèse. Ce système est constitué d'un échangeur gaz-eau situé en aval du traitement plasma. Si l'état d'approvisionnement des déchets est celui de matériaux non préalablement traités, une section de broyage doit être prévue, éventuellement en plusieurs étapes, pour atteindre la taille finale maximale des morceaux de 20 mm. Une autre section est celle du déferrage et de l'élimination des autres métaux (ex. aluminium ou autre), du verre et de la porcelaine.

Gazogène

Une fois la matière arrivée au gazéifieur, la charge est renversée dans une trémie équipée d'une cellule rotative qui pèse la matière à introduire et aspire l'air du volume de charge. La matière entre dans le gazéifieur en tombant sur un support pour traitement thermique. Le temps de traitement du gazéifieur est de l'ordre d'une dizaine de minutes, ce qui garantit la gazéification complète de la masse de déchets, également grâce à l'introduction d'oxygène en quantités sous stoechiométriques. Cela permet d'utiliser une partie de l'énergie des déchets pour les chauffer jusqu'à la température de gazéification ($T = 850-950^{\circ}\text{C}$), sans utiliser d'autres sources d'énergie. Uniquement lors du démarrage, pour permettre le démarrage du processus, il est nécessaire d'utiliser un brûleur à gaz (GPL ou méthane) pour amener la température à l'intérieur du gazéificateur à des valeurs supérieures à $400 \div 500^{\circ}\text{C}$ de manière naturelle pour permettre l'allumage de la gazéification utilisant également l'introduction simultanée d'oxygène. Lorsque les conditions thermiques sont atteintes, le brûleur à gaz peut être éteint et abrité pour ne pas l'endommager.

Le processus de gazéification est énergétiquement et thermiquement autonome en contrôlant le débit d'oxygène introduit pour avoir une combustion partielle.

Les gaz produits avec ce procédé de gazéification (ou gaz de synthèse brut) doivent donc être traités pour la production du gaz de synthèse.

Les résidus solides du procédé (cendres) sont envoyés vers une installation de collecte au chalumeau pour les vitrifier, par la suite ils sont refroidis à l'eau, puis collectés dans 20 m³ démontable, pouvant contenir environ 44 t de cendres qui sont produites en 1,5 ÷ 2,5 semaines en été et 3 ÷ 4,5 semaines en hiver.

Les dimensions hors tout de cette plante sont telles qu'elle peut être transportée à l'intérieur d'un conteneur aux dimensions de 12,2 m de longueur, hauteur 2,9 m, largeur 2,45 m.

Il existe différents types de gazogènes sur le marché : lit fixe et lit fluidisé ; le premier type est généralement adapté aux centrales jusqu'à 20 MW thermiques, tandis que le second est plus adapté aux centrales plus grandes jusqu'à 100 MW thermiques. Le premier type est pris en considération, et en particulier celui à contre-courant, dont le schéma est illustré aux figures 3-24.

Le matériau est introduit par le haut et le tirage du gaz produit avec la gazéification est par le haut.

La matière à traiter procède par le haut en achevant d'abord le séchage, puis en descendant elle est soumise successivement aux phases de Pyrolyse, Réduction et Oxydation, les cendres sont recueillies au fond où elles sont vitrifiées au chalumeau (non représenté dans la figure).

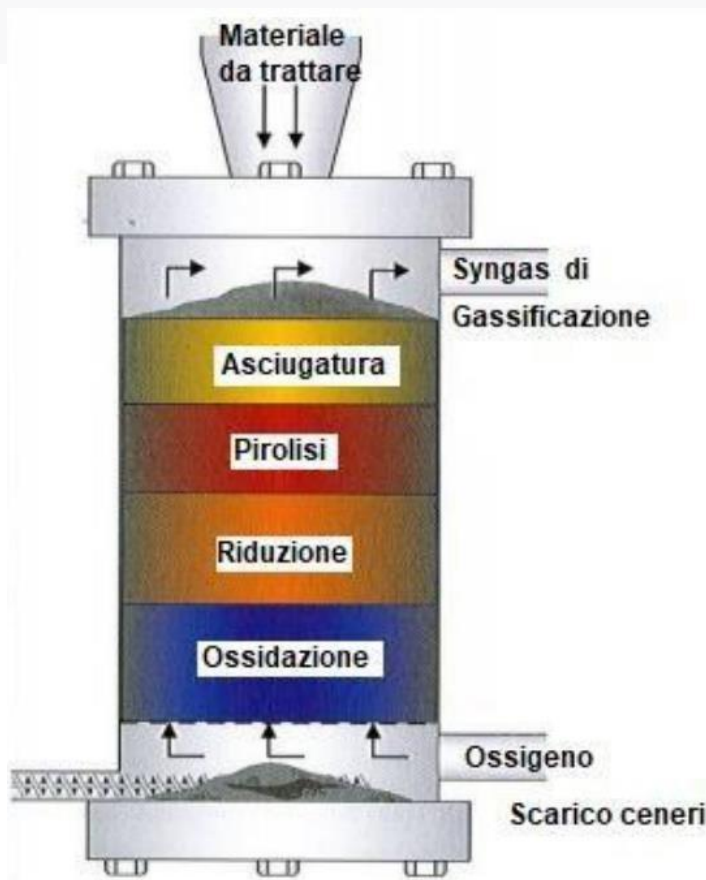


Figure 3-24. Schéma du gazéifieur à lit fixe à contre-courant (technologie Wellman Galusha) avec indication des zones de gazéification dans lesquelles se déroulent les différents types de réactions.

Un exemple de gazogène de ce type est celui proposé pour la centrale de démonstration de 5 MW thermiques de Sotacarbo (C. Frau, E. Loria, A. Madeddu, M. Fadda - RECHERCHE DU SYSTEME ELECTRIQUE - Etude technico-économique sur la applicabilité du procédé de cogazéification charbon et biomasse avec production d'électricité dans l'usine préexistante de gazéification Sotacarbo de 5 MWt - Rapport RdS/2012/206 - Développé avec l'accord programme MISE - ENEA, par la société SOTACARBO) qui est dimensionné pour un débit maximum débit de 700 kg/h, fonctionnant à volume de lit constant en régime permanent, fonctionnant à pression atmosphérique (1050 mbar nominal). L'usine est destinée au traitement du charbon et de la biomasse. Le schéma de construction de l'équipement est illustré au figure 3-25.

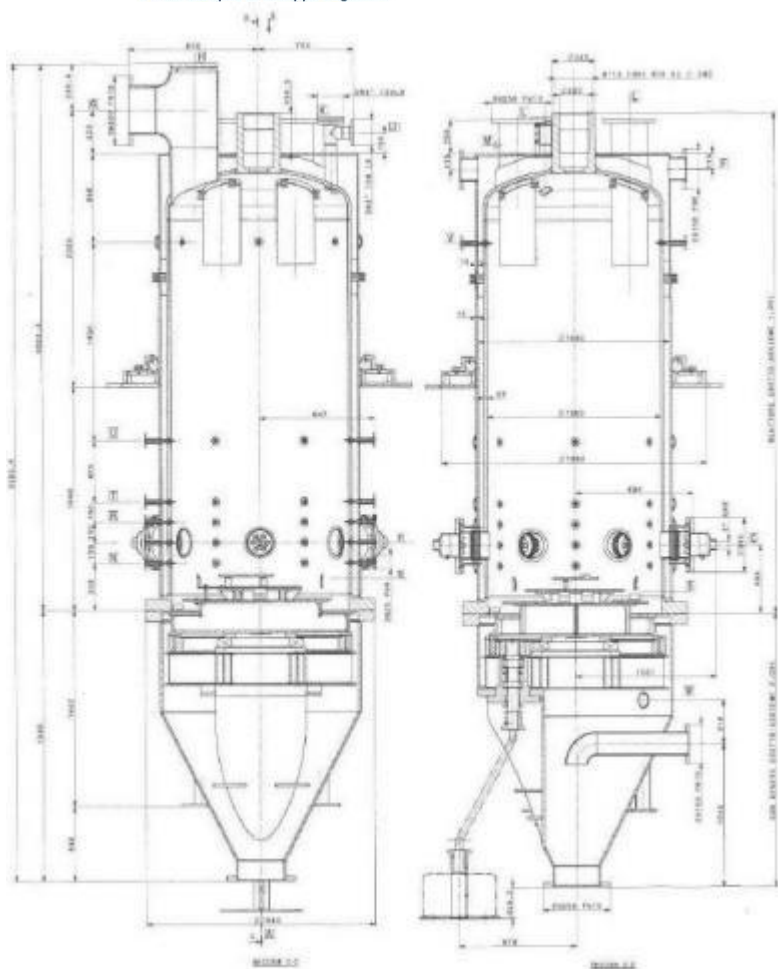


Figure 3-25. Schéma de construction du gazogène Sotacarbo

Traitement par dissociation au plasma Les gaz chauds du gazéifieur ayant une composition avec de multiples composés organiques, sont envoyés dans une section à très haute température obtenue avec des torches à plasma capables d'assurer que des températures d'environ $1500 \div 1800^\circ \text{C}$ sont atteintes. Cela nécessite une puissance élevée des torches et en nombre suffisant pour garantir le résultat. Les torches sont de type vapeur d'eau pour permettre la formation de CO suite à la décomposition de toutes les molécules organiques pour reproduire le processus vérifié en laboratoire. Le cheminement des gaz est conçu pour que les temps de séjour dans cette section à très haute température soient compris entre une et deux secondes. Ainsi toutes les molécules peuvent se dissocier et créer un gaz de synthèse composé d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Des installations de ce type sont disponibles sur le marché et installées dans des conteneurs de dimensions standard de 12 mètres et pesant moins de 10 t. Ci-dessous sont présentés, à titre d'exemple uniquement, des torches à vapeur commerciales fabriquées jusqu'à 350 kW en série et sur demande pour des puissances supérieures, appliquées à une station d'épuration (standard jusqu'à 1000 kg/h et sur demande pour des quantités supérieures). Ce type de systèmes est déjà pré-assemblé en usine et équipé de la certification CE (Plazarium, <http://www.plazarium.com/it/developments/industrial-plasma-torches/plazarium-tps/e>).



Figure 3-26. Torches à plasma à vapeur et installation complète pré-assemblées dans un conteneur (Plazarium)

Groupes électrogènes

Le marché des moteurs utilisant le gaz de synthèse offre de multiples solutions avec des moteurs alternatifs à combustion interne et des turbines à gaz de 4 MW d'origine aéronautique. Un exemple est le TG Siemens SGT-A05 (KB5S, <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:82efd37c-db81-45c0-972b-c5dc25365775/gas-turbines-siemens-interactive.pdf>), dont les caractéristiques se réfèrent à un fonctionnement avec du gaz naturel ou un combustible liquide, mais peuvent également être adaptées pour d'autres combustibles avec un PCI inférieur en mélange pour atteindre des rendements de conversion en électricité acceptables. Une solution alternative consiste à utiliser une centrale à cycle vapeur dans laquelle le gaz de synthèse peut être utilisé sans enrichissement avec des combustibles fossiles à haut pouvoir calorifique.

3.3.9 Débits massiques et énergie d'une installation de taille industrielle

En référence à une centrale de 253 t/semaine (les valeurs se référant à une centrale de 100 t/semaine sont indiquées entre parenthèses), le débit horaire est de 1,49 t/h (0,60 t/h) et la masse volatile instantanée est de 0,356 kg / s (0,141 kg / s), en supposant un pourcentage de masse volatile égal à 85% du matériau chargé. Le débit volumétrique des gaz qui se développent est de 356 NI/s avec une injection d'oxygène dans le gazogène de 84 NI/s (33NI/s). En supposant un gazéifieur à section cylindrique de diamètre intérieur 1,35 m et un taux de remplissage du volume intérieur de 6 %, on calcule qu'en sortie la vitesse des gaz est de 1,32 m/s (0,52 m/s) à la température de 900°C. La longueur du tunnel utile au procédé est de 7,30 m. Ceci permet un temps de séjour moyen du matériau dans le gazéifieur de 10 minutes, suffisant pour que la gazéification soit complète.

Dans la section de traitement plasma le cheminement des gaz est tel que le temps de traversée des gaz est compris entre 1 et 2 secondes. A l'extrémité supérieure, les gaz rencontrent dix torches à plasma à vapeur de 220 ÷ 250 kW chacune capables de chauffer et de dissocier les molécules du flux de gaz indiqué ci-dessus avec la vapeur d'eau dans la mesure de 0,174 kg / s (0,069 kg / s) (50% du débit massique volatil). Dans ces conditions, le gaz de synthèse obtenu est composé de 54,5% d'Hydrogène H₂, 43,2% de CO et 2,3% d'Oxygène O₂ (restant du modeste excès de vapeur d'eau introduit pour assurer la conversion complète des gaz d'entrée).

Le débit de gaz en sortie est de 0,530 kg/s (0,210 kg/s) correspondant à 0,880 Nm³/s (0,347 Nm³/s), soit en termes de production horaire à environ 1910 kg/h (750 kg/h) de gaz de synthèse, qui exprimé en volume sont de 3160 Nm³/h (1250 Nm³/h). Le pouvoir calorifique de ce gaz de synthèse, calculé à partir du pouvoir calorifique (PCI) des gaz constituant l'hydrogène et le monoxyde de carbone, est de 19,0 MJ/kg (11,5 MJ/Nm³) soit 5,29 kWh/kg. Par conséquent, la puissance calorifique disponible dans le système est de 10100 (3970) kW thermiques qui sont convertis soit avec un moteur à combustion interne pour le gaz de synthèse (<https://www.teasistemisrl.it/impiantiecologi/cogenerazione/vendita-assistenza-motori/>) soit avec de la vapeur système avec chaudière utilisant ce combustible, avec un total prévu de 25%, environ 2500 ÷ 2600 (950 ÷ 1000) kW d'électricité peuvent être produits, ainsi qu'environ 3500 ÷ 3800 (1300 ÷ 1400) kW thermiques sous forme d'énergie thermique énergie.

La puissance absorbée par les torches à plasma pour le traitement du gaz de synthèse brut est estimée à environ 1500 (600) kW.

En supposant un débit d'inerte à fondre égal à 15 % du débit de matière alimentée, la puissance de la torche de vitrification des cendres est égale à 200 kW.

On peut en déduire que l'électricité produite est suffisante pour maintenir en fonctionnement les torches à plasma et la plupart des autres services de l'usine tels que la manutention, les aspirateurs, les systèmes de filtrage et de recirculation, les systèmes de contrôle. L'énergie thermique peut être utilisée pour sécher le produit entrant et également pour le chauffer, afin de réduire les besoins en chaleur du gazogène.

La puissance utile nette disponible pour d'autres usages est estimée à 550 (400) kW ; soit une énergie annuelle produite utile de 3 600 000 kWh d'électricité.

En considérant une capacité annuelle de traitement de 8000 t/an de déchets, une production spécifique de 450 kWhélectrics/t est calculée. Dans un fonctionnement à démultiplication périodique dans lequel la disponibilité des déchets est réduite, l'efficacité de conversion du potentiel thermique en puissance effectivement utilisable est plus faible, car, bien qu'il soit possible de réduire l'utilisation des torches à plasma en fonctionnement, les pertes thermiques des les murs et les composants en général restent à peu près les mêmes, tout comme ceux de nombreux services qui ne peuvent pas être limités. Dans ce cas il faudra compenser par une plus grande utilisation d'énergie extérieure.

En ce qui concerne les besoins en gaz de procédé à fournir, ils sont :

- oxygène pour le gazogène, ceci comme mentionné ci-dessus pour l'usine fonctionnant à 250 t/semaine. 84 NL/s, soit égal à 300 Nm³/h ; ce qui nécessite une installation de production ayant une consommation de l'ordre de 0,38 ÷ 0,53 kWh/Nm³ ce qui correspond à une consommation maximale d'électricité de 150 kWh par heure de fonctionnement.
- pour le fonctionnement du plasma, la consommation de gaz plasmagène est supposée égale au besoin en vapeur d'eau nécessaire à la réalisation du procédé majoré de 10 %.

Dans le cas d'une usine plus importante, correspondant à l'ensemble de la disponibilité moyenne des plastiques issus de la collecte différenciée de l'ensemble de la Sardaigne d'environ 1065 t/semaine, les valeurs des flux exprimées ci-dessus doivent quadrupler par rapport au cas de pointe production d'environ 250 t/semaine, évidemment l'énergie disponible augmente dans le même rapport. Le schéma global de l'usine est à quatre modules de celui décrit ci-dessus de 250 t/semaine. La conversion en électricité peut se faire soit avec quatre unités soit avec une seule, dans ce dernier cas elle augmente et bénéficie d'un meilleur rendement de conversion jusqu'à 5÷10% et d'une plus grande quantité d'électricité disponible pour d'autres

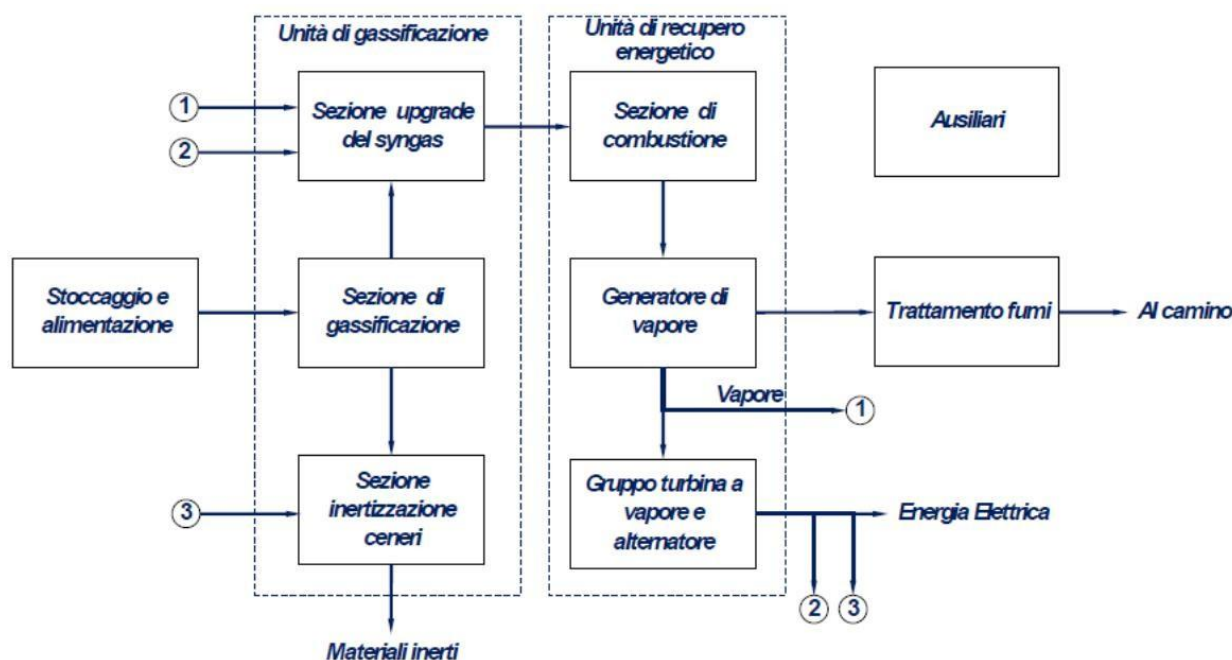
usages.

3.3.10 Evaluation des coûts d'usine et d'exploitation d'une usine de gazéification au plasma de 250 t/semaine de déchets (non triés/différenciés)

3.3.10.1 Évaluation des coûts de l'installation

L'usine de traitement de 250 t/semaine de déchets (aussi bien indifférenciés que différenciés) se compose des principales unités suivantes :

1. Unité de stockage, prétraitement et alimentation des déchets vers le réacteur
2. Unité de gazéification, composée des trois sections de :
 - a. Gazéification
 - b. Inertisation des cendres au moyen d'une torche à plasma
 - c. Section de traitement (upgrade) du gaz de synthèse au moyen d'une torche plasma vapeur
3. Unité de récupération d'énergie à son tour divisée en sections :
 - a. Combustion de gaz de synthèse
 - b. Génération de vapeur
 - c. Production d'électricité dans le groupe de turbines à vapeur
4. Unité de traitement des fumées (pour l'élimination des polluants tels que HCl, HF, SOx, NOx et poussières)
5. Les unités auxiliaires telles que l'unité de production d'oxygène (ASU), l'unité de production d'air comprimé, le système de lutte contre l'incendie, etc.



Les coûts d'acquisition des éléments constitutifs composants le système ont été estimés sur la base de l'expérience acquise par le CSM dans la conception de centrales similaires et des informations disponibles dans la littérature.

Les résultats de l'estimation des coûts d'achat de l'usine sont résumés dans le tableau

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Coûts d'investissement			
Description			Coût
1	Composants électromécaniques		
1	a	Unité de stockage, prétraitement et alimentation des déchets vers le réacteur	950.000,00 €
	b	Unité de gazéification, Inertisation des cendres, upgrade du gaz de synthèse	2.500.000,00 €
	c	Unité de récupération d'énergie	2.400.000,00 €
	d	Unité de traitement des fumées	1.500.000,00 €
	e	Unités auxiliaires	450.000,00 €
2	Autres coûts directs		
2	a	Matériaux en vrac, transport, construction	1.500.000,00 €
3	Coûts indirects		
3	a	Ingénierie, services d'approvisionnement, inspections et supervision	560.000,00
Coûts d'investissement totaux			9.860.000,00 €

Les coûts ci-dessus ne comprennent pas les coûts d'acquisition et toute remise en état du terrain sur lequel la centrale sera installée, et les éventuelles charges d'urbanisation telles que la construction de travaux routiers et de raccordements.

3.3.10.2 Évaluation des coûts et des revenus d'exploitation

Les éléments suivants ont été pris en compte pour l'évaluation des coûts de fonctionnement :

- **Personnel.** L'utilisation de personnel pour le fonctionnement de l'usine est prévue dans 12 unités à partir de la première année d'activité, avec un coût estimé à 390 mille euros par an.
- **Entretien.** Les éléments de coûts relatifs à l'entretien, déterminés par référence aux pièces de rechange et aux frais annexes nécessaires à l'entretien courant ainsi qu'aux provisions annuelles pour l'entretien extraordinaire, ont été évalués à 3,5 % de l'investissement total et égaux à environ 345 milliers d'euros par an. ;
- **Énergie et consommables.** Les dépenses d'énergie et de consommables, qui comprennent l'utilisation du carburant de réserve pour le démarrage, l'eau, les additifs chimiques, ont été estimées à 2,2 % de l'investissement total et égales à environ 220 mille euros par an. ;
- **Frais généraux.** Les poids généraux, c'est-à-dire ceux attribuables essentiellement aux assurances, aux conseils techniques, au nettoyage, etc., ont été estimés à 1,2 % de l'investissement total et donc égaux à environ 120 milliers d'euros ; A ces coûts s'ajoutent la charge d'amortissement qui dans l'hypothèse d'une durée d'amortissement de 20 ans est égale à 495 milliers d'euros et le poste charges financières d'environ 90 milliers d'euros (en supposant que l'investissement a été financé à hauteur de 65% de sa valeur aux taux d'intérêt actuels).

Le tableau suivant montre les coûts d'exploitation décrits ci-dessus.

Coûts d'exploitation		
	Description	Coût
1	Personnel	390.000,00 €



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

2	Entretien	345.000,00 €
3	Énergie et consommables	220.000,00 €
4	Frais généraux	120.000,00 €



CCI
BASTIA
HAUTE
CORSE



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO

Autorità di Sistema Portuale del
Mar Tirreno Settentrionale
Porti di Livorno - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino



PORTS of
GENOA
VADO LIGURE • SAVONA • PRA • GENOVA

5	Dépréciation	495.000,00 €
6	Charges financières	90.000,00 €
Coûts d'exploitation totaux		1660.000,00

En ce qui concerne les revenus, les éléments suivants ont été pris en considération :

- **Frais d'entrée.** C'est le taux qui est payé au gestionnaire de l'usine pour l'élimination des déchets portuaires qui lui sont confiés. Dans les calculs, il est supposé égal au taux qui permet de couvrir les coûts d'exploitation, qui est égal à 86,25 € par tonne de déchet conféré.
- **Revenus de la vente de métal récupéré.** Le métal séparé du flux de matière entrant dans la section de prétraitement avant d'alimenter le réacteur de gazéification, est vendu comme ferraille au prix du marché (). On estime qu'environ 305 t de ferrailles peuvent être séparées en un an, ce qui à un prix de vente de 250 €/t correspond à environ 76 K€ par an ;
- **Revenus de la vente des scories produites.** Le contenu en matière inorganique présent dans les déchets (cendres, sable, etc.) est fondu par la torche à plasma placée dans la partie basse du réacteur de gazéification et prélevée du trou de coulée. Le laitier fondu ainsi obtenu est un produit non lixiviable qui, de par sa composition et ses modes de refroidissement, peut présenter des caractéristiques qui le rendent apte à sa réutilisation comme matière première dans la construction ou dans les fondations routières en remplacement du fond de carrière. Les granulats représentent en moyenne 15 % des déchets entrant dans l'usine ce qui, en considérant un prix de vente de 20 €/t, équivaut à 64 milliers d'euros par an ;
- **Revenus de la vente d'électricité.** L'électricité produite par l'alternateur est en partie réutilisée à l'intérieur de l'usine (pour l'alimentation des torches à plasma d'inertage des cendres et de valorisation du gaz de synthèse, pour la production d'oxygène dans l'unité ASU et pour l'alimentation des autres auxiliaires). L'énergie excédentaire, équivalente à environ 550 kWh par tonne de déchets portuaires équivalant à 3960000 kWh par an, qui à un prix de vente de 0,14 €/kWh conduit à un revenu d'environ 554 milliers d'euros par an ;
- **Revenus des certificats blancs :** la quantité d'électricité produite (vendue) sur une année est égale à 3960000 kWh par an, correspondant à 920 TEP qui au prix unitaire de 300 € conduit à un revenu annuel de 276 K€ par an. Les certificats blancs (ou certificats d'efficacité énergétique TEE) sont des titres négociables qui certifient la réalisation d'économies dans les utilisations finales de l'énergie grâce à des interventions et des projets visant à augmenter l'efficacité énergétique. Un certificat équivaut à économiser une tonne d'équivalent pétrole (TEP). Les prix auxquels il est possible d'échanger des Certificats d'Efficacité Energétique varient selon la logique du marché ; sur la base des tendances de ces dernières années on peut considérer qu'1 TEE vaut en moyenne 100 €. Le prix moyen du certificat blanc à la séance du 23 mars 2021 de 299,30 €/Tep.

Le tableau suivant montre les coûts d'exploitation décrits ci-dessus

Revenus		
Description		Revenu économique
1	Frais d'entrée	690.000,00 €
2	Revenus de la vente de métal récupéré	76.000,00 €



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

3	Revenus de la vente des scories produites	64.000,00 €
4	Revenus de la vente d'électricité	4 554.000,00 €



CCI
BASTIA
HAUTE
CORSE



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO

Autorità di Sistema Portuale del
Mar Tirreno Settentrionale
Porti di Livorno - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino



PORTS of
GENOA
VADO LIGURE • SAVONA • PRA • GENOVA

5	Revenus des certificats blancs	276.000,00 €
	Revenus totaux	1.660.000,00 €

L'évaluation économique de l'usine décrite a été effectuée sur la base des estimations des coûts de construction, des coûts d'exploitation et des revenus présentés au paragraphe précédent.

Sur la base de ces valeurs, les évolutions de la VAN (Net Present Value) ont été obtenues dans les deux cas, en supposant un taux d'intérêt de 1,42% et une durée de vie de 20 ans.

La VAN est définie comme la différence entre la somme des flux de trésorerie actualisés et l'investissement initial, l'indice mesure donc l'excédent de disponibilité par rapport à l'investissement permis par le fonctionnement de l'usine.

$$VAN = \sum_{k=0}^n \left[\frac{FC_k}{(1+i)^k} \right] - I_o$$

Où est-ce :

- FC_k est le flux domestique ou les bénéfices d'exploitation (BE_k) moins les coûts d'exploitation (CE_k)
- $FC_k = BE_k - CE_k$
- i est le taux d'intérêt
- I_o indique l'investissement initial
- n sont les années de vie (amortissement) de l'installation

Le graphique de la Figure 3-28 montre la VAN relative à l'usine 250 t/s, les courbes relatives aux différents tarifs d'élimination entre 70 et 120 €/t qui représentent la fourchette des fluctuations tarifaires pour ce type de déchets.

On note que pour des tarifs inférieurs à 86,25 €/t la valeur de la VAN reste toujours négative, c'est-à-dire que l'investissement n'est pas en mesure de s'amortir.

Pour des taux d'élimination supérieurs à 86,25 €/t, en revanche, l'investissement devient rentable, c'est-à-dire qu'à la fin de sa vie, l'usine est capable de produire un profit, cependant le temps de retour apparaît élevé égal à environ 16 ans dans le cas d'une redevance d'élimination de 100 €/t et d'environ 13 pour un tarif de 120 €/t.

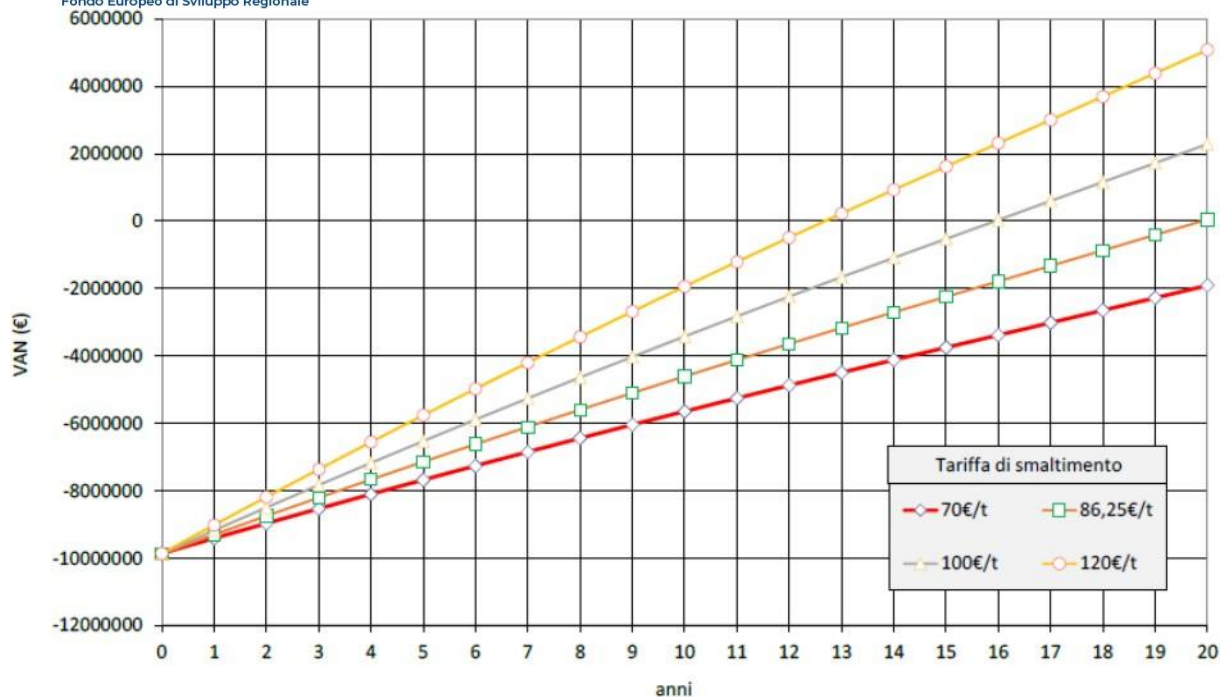


Figure 3-28. Tendence de la VAN au fil des ans pour différentes valeurs du tarif d'élimination pour une usine de 250 t/semaine

Pour évaluer l'effet d'échelle, on considère maintenant une usine capable de traiter une quantité de déchets égale à 1500 tonnes/semaine, ce qui en considérant un fonctionnement annuel de l'usine de 7200 heures équivaut à environ 64000 tonnes de déchets traités annuellement.

Les performances du système sont résumées dans le tableau :

Déchets traités annuellement	64 000 t
Métaux récupérés	2 440 t
Laitier produit	9 600 t
Électricité produite	31 680 000 kWh
Certifiés blancs produits	7 369 TEP

Les tableaux ci-dessous montrent plutôt les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et les revenus relatifs à l'usine de 1500 t / s.

Coûts d'investissement			
Description			Coût
1	Composants électromécaniques		
a	Unité de stockage, prétraitement et alimentation des déchets vers le réacteur		4.560.000,00 €
b	Unité de gazéification, Inertisation des cendres, upgrade du gaz de synthèse		15.000.000,00 €



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

1	c	Unité de récupération d'énergie	16.320.000,00
	d	Unité de traitement des fumées	9.000.000,00 €



CCI
BASTIA
HAUTE
CORSE



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO

Autorità di Sistema Portuale del
Mar Tirreno Settentrionale
Porti di Livorno - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino - Portofino



CCI VAR

PORTS of
GENOA
VADO LIGURE • SAVONA • PRA • GENOVA

e	Unités auxiliaires	2.520.000,00 €
2	Autres coûts directs	
2	a Matériaux en vrac, transport, construction	8.400.000,00 €
3	Coûts indirects	
3	a Ingénierie, services d'approvisionnement, inspections et supervision	2.688.000,00 €
Coûts d'investissement totaux		58.488.000,00 €

Coûts d'exploitation		
	Description	Coût
1	Personnel	1.170.000,00 €
2	Entretien	2.070.000,00 €
3	Énergie et consommables	1.320.000,00
4	Frais généraux	480.000,00 €
5	Dépréciation	2.924.400,00 €
6	Charges financières	531.709,09 €
Coûts d'exploitation totaux		8.496.109,09 €
Revenus		
	Description	Revenu économique
1	Frais d'entrée	5.120.000,00 €
2	Revenus de la vente de métal récupéré	608.000,00 €
3	Revenus de la vente des scories produites	512.000,00 €
4	Revenus de la vente d'électricité	4.432.000,00 €
5	Revenus des certificats blancs	2.208.000,00 €
Revenus totaux		12.880.000,00 €

Avec les données ci-dessus, il est possible de construire des graphiques de la VAN de l'investissement pour des taux d'élimination compris entre 70 et 120 €/t (Figures 3-29). Le temps de retour sur investissement (ROI) varie entre un minimum de 9 ans, avec le taux le plus élevé, et un budget à l'équilibre atteint seulement la 20ème année dans le cas du taux le plus bas.

Ces valeurs se rapportent à un taux d'intérêt particulièrement bas de cette période, supposé être de 1,42 %. Pour évaluer l'effet du taux d'intérêt sur le temps de retour sur investissement, prenons le cas où le taux est fixé à 100 € / t, à partir des figures 3-29, on peut voir que le temps de retour est de 11 ans. En supposant différents scénarios : $i = 0\%$ (taux subventionné peut-être prévu pour des initiatives environnementales particulières ou en joint-venture pour des investisseurs institutionnels publics), alors $i = 5\%$ et $i = 7,75\%$ (taux bancaires), en plus du cas $i = 1,42\%$.

Le graphique des figures 3-30 illustre la situation correspondante, seulement si le taux d'intérêt est annulé ($i = 0\%$) il est possible de bénéficier d'une réduction du temps d'investissement d'un an, se positionnant à environ 10 ans.

Dans les deux autres cas, avec des taux bancaires, les délais sont encore plus longs, voire l'équilibre budgétaire est atteint à 20 ans avec $i = 7,75\%$.

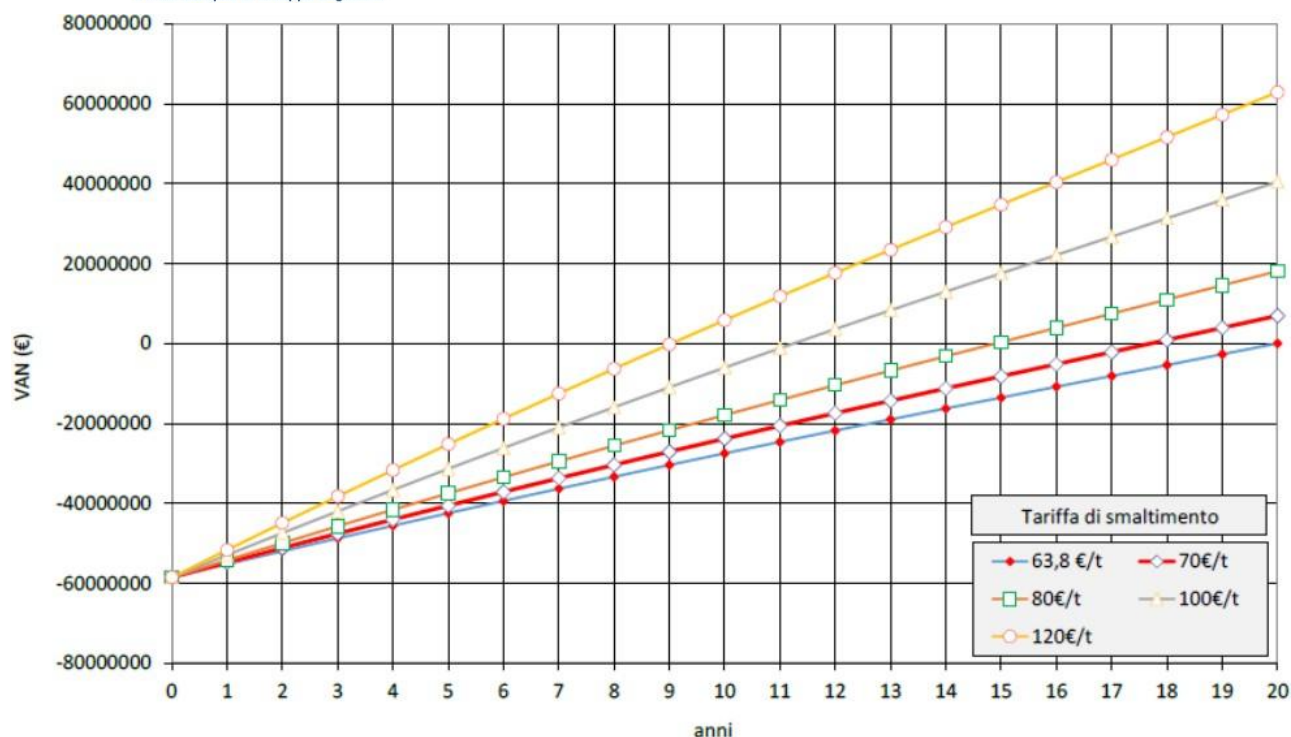


Figura 3-29. Andamento nel VAN negli anni per diversi valori della tariffa di smaltimento per un impianto da 1500 t/sett.

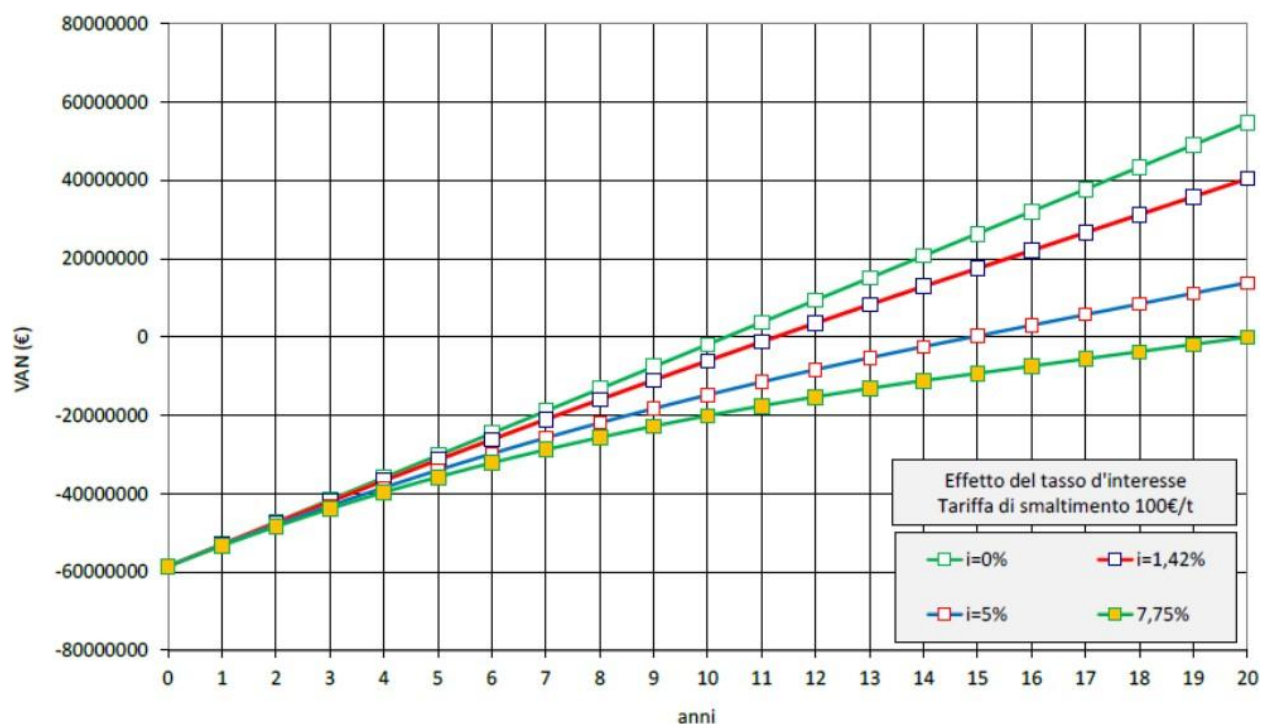


Figure 3-29. Tendence de la VAN au fil des ans pour différentes valeurs du tarif d'élimination pour une usine de 1500 t/semaine.

3.3.12 Conclusioni relative ai test di laboratorio sulle plastiche

L'attività svolta dal CSM del Rina a supporto dell'Università di Cagliari ha compreso test di laboratorio, prove di gassificazione e di trattamento con torce al plasma su impianti pilota, per determinare le condizioni ottimali del processo di produzione e pulizia del syngas. L'obiettivo principale è stato identificare i consumi energetici dell'impianto industriale, i relativi costi e la stima del valore economico finale. In particolare, è stata condotta la caratterizzazione chimico/fisica di rifiuti portuali (sia differenziati che indifferenziati) provenienti dalle autorità portuali di Cagliari, Genova, Toulon e Hyeres.

Sono state condotte 5 prove di gassificazione su 5 diverse tipologie di rifiuti conferiti al CSM. Le prove hanno permesso di determinare la composizione media del gas da utilizzare nella successiva prova di trattamento del syngas con torcia al plasma. La prova di trattamento con la torcia al plasma ha permesso di verificare l'arricchimento del syngas a seguito delle reazioni degli idrocarburi contenuti con il vapore (che portano ad un arricchimento in H₂ e CO). Sulla base dei risultati delle caratterizzazioni e sperimentazioni è stato possibile valutare le rese in syngas e i consumi energetici, sulla base dei quali è stato dimensionato in via preliminare l'impianto della capacità di 250 t/s.

3.3.12 Conclusions relatives aux essais en laboratoire sur les matières plastiques

L'activité menée par le Rina CSM en soutien à l'Université de Cagliari comprenait des tests en laboratoire, des tests de gazéification et un traitement avec des torches à plasma sur des installations pilotes, pour déterminer les conditions optimales du processus de production et de nettoyage du gaz de synthèse. L'objectif principal était d'identifier la consommation énergétique de l'installation industrielle, les coûts associés et l'estimation de la valeur économique finale. En particulier, la caractérisation physico-chimique des déchets portuaires (différenciés et indifférenciés) des autorités portuaires de Cagliari, Gênes, Toulon et Hyères a été réalisée.

Cinque essais de gazéification ont été réalisés sur 5 types de déchets différents livrés au CSM.

Les essais ont permis de déterminer la composition moyenne du gaz à utiliser lors de l'essai ultérieur de traitement du gaz de synthèse avec une torche à plasma. L'essai de traitement à la torche à plasma a permis de vérifier l'enrichissement du gaz de synthèse suite aux réactions des hydrocarbures contenus avec la vapeur (qui conduisent à un enrichissement en H₂ et CO).

Sur la base des résultats des caractérisations et des expérimentations, il a été possible d'évaluer les rendements en gaz de synthèse et la consommation d'énergie, sur la base desquels l'usine d'une capacité de 250 t/s a été préalablement dimensionnée.

I dati di dimensionamento sono serviti ad effettuare una valutazione dei costi di realizzazione, dei costi operativi e dei ricavi realizzabili dall'esercizio dell'impianto. L'esercizio dell'impianto da 250 t/s permette di ripagare i costi di investimento ed esercizio anche se in tempi relativamente lunghi, circa 13 anni con una tariffa di smaltimento di 120 €/t. Per tariffe più basse i tempi sono più lunghi, mentre considerando tariffe minori di 86,25 €/t l'investimento risulta in perdita. Considerando una taglia più grande, 1500 t/s, l'effetto di scala è sensibile e si ottengono tempi di ritorno dell'investimento fra 9 e 18 anni per tariffe di smaltimento comprese fra 120 e 70 €/t.

Les données de dimensionnement ont été utilisées pour évaluer les coûts de construction, les coûts d'exploitation et les revenus pouvant découler de l'exploitation de l'usine.

L'exploitation de l'usine de 250 t/s permet de rembourser les coûts d'investissement et d'exploitation même si dans un temps relativement long, environ 13 ans avec un taux d'élimination de 120 €/t.

Pour des tarifs inférieurs, les délais sont plus longs, alors qu'en considérant des tarifs inférieurs à 86,25 €/t l'investissement se traduit par une perte. En considérant une taille plus importante, 1500 t/s, l'effet d'échelle

est important et des temps de retour entre 9 et 18 ans sont obtenus pour des taux d'élimination compris entre 120 et 70 €/t.

3.3.13 Annexe 1 : Spécifications du produit

OBJET DE L'AVIS D'APPEL D'OFFRES PRÉPARATION D'ÉCHANTILLONS DE DÉCHETS MARINS ET DE DÉCHETS PRODUITS À BORD DES NAVIRES À SOUMETTRE AU TRAITEMENT SUIVANT DE GAZÉIFICATION ASSISTÉE AU PLASMA THERMIQUE PAR UNE ENTREPRISE DE RECHERCHE DÉJÀ IDENTIFIÉE.

Le Lauréat de l'Avis d'Appel d'Offres visé à l'Objet doit préparer 5 échantillons, de 5 kg chacun, de calibre n'excédant pas 50mm, à envoyer à la Société d'Etudes mentionnée ci-dessus, provenant de déchets ainsi diversifiés de Type A, B et C :

- N° 1 échantillon préparé à partir de matériel de la plage / côte (litière de plage).
- N° 2 échantillons préparés à partir du matériel collecté par les pêcheurs lors des activités normales de pêche et livrés dans des « conteneurs roll-off » (ou autres moyens/conteneurs pour la collecte des déchets) mis à disposition dans les ports par l'Autorité Portuaire :
 - 1) B1 N°1 échantillon exempt de métal et de verre (recyclable) mais avec tous les plastiques,
 - 2) B2 N°1 échantillon exempt de métal et de verre et de plastiques recyclables.
- N° 2 échantillons préparés à partir de déchets secs non recyclables provenant de navires marchands et civils qui opèrent la collecte sélective comme suit :
 - 1) C1 N°1 échantillon représentatif de déchets secs non recyclables en l'état (T.Q.),
 - 2) Echantillon C2 N°1 constitué uniquement de plastique non recyclable présent dans les déchets secs non recyclables.

Chacun de ces échantillons préparés doit être accompagné d'un certificat d'analyse, délivré par un laboratoire adapté et agréé (Institut de la Combustion ou similaire), qui atteste :

- Analyse fixe d'humidité, de cendres, de MV, de C ;
- Analyse élémentaire (C, H, O, N, Cl, S);
- Puissance de chauffe (PCS et PCI) ;
- Analyse des cendres.

TYPE A : PRÉPARATION D'ÉCHANTILLONS À PARTIR DU MATÉRIEL COLLECTÉ SUR LES PLAGES

Afin d'obtenir des résultats d'essais expérimentaux susceptibles d'être étendus à des considérations générales, il est nécessaire que les échantillons de déchets conditionnés à envoyer à l'institut de recherche pour des expérimentations ultérieures se rapprochent d'un matériau composé de catégories et de compositions respectant au plus près que possible celles d'un échantillon moyen représentatif de déchets collectés sur les plages. Dans le cadre de l'économie circulaire, seule la partie des déchets non recyclables doit être soumise au dispositif "Waste to Energy".

Le matériel à envoyer à la Société de Recherche doit avoir une composition du Tableau 3-8 obtenue en privant les déchets indifférenciés des articles d'éléments recyclables (métal, verre, plastique recyclable).

En ce qui concerne l'identification du plastique recyclable à partir du plastique total présent, il faudrait que tous les plastiques présents, une fois sélectionnés par sous-catégorie, les échantillons de ces sous-catégories soient envoyés à un centre de recyclage spécialisé pour évaluer leur recyclabilité.

Afin de faciliter l'échantillonnage, l'objet confié de ce service/contrat peut se référer aux dispositions des Communes de collecte sélective pour l'identification de la partie des déchets recyclables :

- **Plastique recyclable** : Bouteilles en plastique (eau et boissons), Contenants pour liquides (shampooing, détergents, etc.), Pots de yaourt, Barquettes et films alimentaires transparents, Polystyrène, Soucoupes, Couverts et gobelets en plastique, Bacs de toute taille, polystyrène pour l'emballage. Entre autres, Jouets, Bassins, Chaises ne sont pas recyclables.
- **Métal recyclable** : Canettes de boisson (bière, boissons gazeuses, etc.), Boîtes de conserve (pois, thon, tomates pelées, etc.), Câbles et fils métalliques. Les boîtes de conserve vides (mousse à raser, laque pour cheveux, spray déodorant, etc.), les ustensiles de cuisine divers et les couvercles avec présence de matériau non métallique (ex : téflon), les couverts qui ne sont pas uniquement métalliques ne sont pas recyclables.
- **Verre** : Bouteilles, Bocal, Bocal et Contenants. Les éclats de céramique et de porcelaine (d'assiettes

	Rifiuto ²		Rifiuto (privo di riciclabili)		Campione preparato per prove sperimentali
Categoria	%	Quantità (Kg)	%	Quantità (Kg)	Quantità (Kg)
1. Plastica	65.4	65.4	56.3 ¹	32.7 ¹	2.815
2. Mozziconi di sigaretta	6.8	6.8	11.7	6.8	0.585
3. Metallo	5.9	5.9	-	-	
4. Rifiuti sanitari	5.3	5.3	9.1	5.3	0.455
5. Carta	4.3	4.3	7.4	4.3	0.370
6. Materiale da costruzione	4.0	4.0	6.9	4.0	0.345
7. Vetro	3.3	3.3	-	-	-
8. Gomma	1.8	1.8	3.1	1.8	0.155
9. Tessili	1.7	1.7	2.9	1.7	0.145
10. Manufatti di legno	1.3	1.3	2.2	1.3	0.110
11. Altro	0.2	0.2	0.3	0.2	0.015
Totale		100		58.1	5 Kg

1 Le plastique non recyclable est supposé égal à 50 % du plastique total 2 Les données présentées dans la colonne proviennent d'une analyse moyenne des objets trouvés sur 62 plages en utilisant le tableau 3-9 et en réorganisant les mêmes catégories en éléments plus compacts

Tableau 3-8. Catégories de déchets et poids pour la préparation de l'échantillon TYPE A

Tableau 3-9. Catégories de déchets par échantillonnage

	Metallo
IT38	Bombolette spray
IT39	Tappi di bottiglie/coperchi/ lattine bevande/ barattoli o lattine alimentari/Vaschette e carta di alluminio (carta stagnola)
IT40	Apparecchi elettrici/ elettrodomestici/ batteria auto/ moto/ camion/ cavi
IT41	Piombi/pesi da pesca/ami
IT42	Rottami/scarti industriali
IT43	Fusti, bombole, barili, bidoni, latte di olio
IT44	Bidone, barattoli, latte di vernice
IT45	Filo, rete metallica, filo spinato
IT46	Batterie uso domestico
IT47	Altri pezzi/frammenti di metallo
	Vetro/ceramica
IT48	Bottiglie/ piatti e tazze/ barattoli
IT49	Lampadine/ tubi fluorescenti
IT50	Materiale da costruzione (calcinacci,mattoni)
IT51	Altri articoli/frammenti di vetro/ceramica

La figure 3-31 résume la procédure d'emballage de l'échantillon.

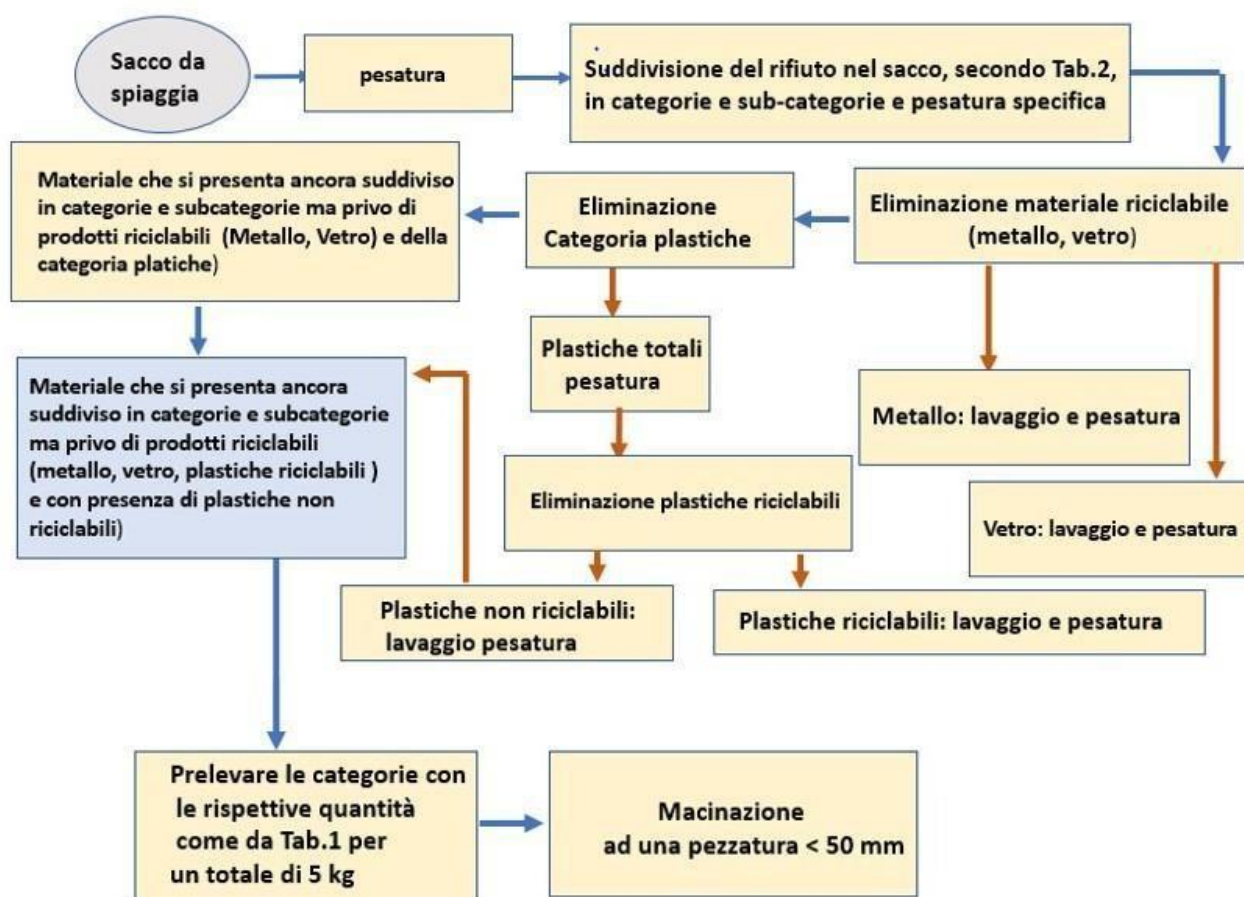


Figure 3-31. Flowsheet pour la préparation d'échantillons de 5 kg à partir du matériel collecté sur les plages à envoyer à la société de recherche

TYPE B : PRÉPARATION D'ÉCHANTILLONS PROVENANT DU MATÉRIEL COLLECTÉ PAR LES PÊCHEURS EN MER ET DÉCHARGÉS DANS DES CONTENEURS SPÉCIAUX MIS À DISPOSITION DANS LES PORTS PAR L'AUTORITÉ PORTUAIRE

Le terme déchet marin solide (déchet marin) définit tout matériau solide persistant (durable) produit par l'homme et abandonné dans le milieu marin. Les déchets arrivent en mer à la fois de sources terrestres (mauvaises habitudes individuelles, mauvaise gestion des déchets municipaux, manque de stations de

d'épuration, rejets illicites de déchets industriels, inondations, etc.) et de sources marines (rejet illégal de déchets produits par les navires à passagers, des navires marchands, des plates-formes).

La pêche commerciale, la mytiliculture et la pisciculture contribuent également à la production de déchets marins solides lorsque des engins de pêche (lignes, filets, casiers, etc.) sont accidentellement perdus ou jetés volontairement en mer.

Ces déchets solides (matériaux de fond), piégés accidentellement par les filets (notamment les chaluts) lors des activités normales de pêche, sont collectés par les pêcheurs dans des conteneurs spéciaux (par exemple une poubelle ou un big bag) placés à bord des bateaux (au moins ceux qui adhèrent à l'initiative de pêche aux déchets), et ensuite livrés à terre dans des structures spéciales (conteneurs roll-off) sans aucune charge économique pour le pêcheur.

Pour la préparation des échantillons à envoyer à la société de recherche pour leur traitement ultérieur, les résultats analytiques moyens des premières expériences obtenues à partir du "Projet expérimental de pêche aux déchets" sont pris.

Pour la "préparation d'échantillons à partir du matériel collecté par les pêcheurs en mer et déchargé dans des conteneurs roll-off mis à disposition dans les ports par l'Autorité Portuaire : Type B", il est fait référence aux produits des différentes catégories/types de la Figure 3 -32.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

SCHEDA RIFIUTI FONDALI

	Data:	Profondità:	Località:
	N° sacchetti conferiti:		
	Peso tot. rifiuti raccolti (Kg):		
	TIPOLOGIA DI RIFIUTO	Quantità (Kg)	Codice CER
L1 Plastica	a. Buste		
	b. Bottiglie		
	c. Imballaggi alimentari		
	d. Tessuti (tovaglie, tende, teli, ecc.)		
	e. Oggetti in plastica dura (contenitori, cassette, tubi, ecc.)		
	f. Reti da pesca		
	g. Palangari		
	h. Altri attrezzi di pesca		
	i. Cavi/cime		
L2 Gomme	j. Altro		
	a. Pneumatici		
L3 Metalli	b. Altro		
	a. Lattine		
	b. Altri contenitori alimentari		
	c. Contenitori di medie dimensioni (barattoli per pitture, oli, prodotti chimici)		
	d. Grandi oggetti metallici (pezzi di macchinari, barili, oggetti elettronici)		
	e. Cavi		
	f. Attrezzi di pesca (arni, ecc.)		
L4 Vetro/Ceramica/Calccestruzzo	g. Oggetti bellici		
	a. Bottiglie		
	b. Pezzi di vetro		
	c. Vasi di ceramica		
L5 Vestiti (tessuti, fibre naturali)	d. Grandi oggetti (specificare)		
	a. Prodotti tessili (vestiti, scarpe, abiti)		
	b. Grandi pezzi (tappeti, materassi, ecc.) specificare		
	c. Corde/Cime naturali		
L6 Legno lavorato (assi, cassette, ecc.)	d. Tessuto per uso sanitario (pannolini, cotton fioc, ecc.)		
L7 Carta e cartone			
L8 Rifiuti urbani non differenziati			
L8 Altro (specificare)			

Figure 3-32. Carte des déchets présents dans les fonds marins

"PREPARATION N°1 ECHANTILLON DE 5 Kg PROVENANT DE MATERIELS COLLECTES PAR LES PECHEURS EN MER ET DECHARGEES DANS DES MACHINES DE DECHARGEMENT APPROPRIEES MIS A DISPOSITION DANS LES PORTS PAR L'AUTORITE PORTUAIRE : TYPE B1" AVEC LA PRESENCE DE TOUTES CATEGORIES Y COMPRIS CELLES

Pour la préparation de l'échantillon de type B1 de 5 kg mentionné ci-dessus, l'entrepreneur doit prélever du conteneur de récupération ce qui est illustré à la figure 3-33 suivante en termes de types et de quantités.

TIPOLOGIA RIFIUTO	SUBCATEGORIA	Campione medio da raccolta (%)	QUANTITA' (g)
L1 Plastica	a Buste b Bottiglie	13.95	697.5
	c Imballaggi alimentari	12.35	617.5
	d Tessuti (tovaglie, tende, teli, ecc...) e Oggetti in plastica dura (contenitori, cassette, tubi, ecc...)	0.88	43.0
	f Reti di pesca g alangari h altri attrezzi da pesca	13.10	655.0
	i Cavi /cime I Altro		-
L2 Gomme	a Pneumatici b Cavi e Tubi c Altro	18.10	905.0
L3 Metalli	a Lattine		
	b Altri contenitori alimentari		
	c Contenitori di medie dimensioni (barattoli per pitture, oli, prodotti chimici, ecc.)		
	d Grandi oggetti metallici (pezzi di macchinari, barili, oggetti elettronici)	12.28	614.0
	e Cavi e Fili		-
	f Attrezzi da pesca (ami, ecc) g Oggetti bellici		-
L4 Vetro/Ceramica/ Calcestruzzo	a bottiglie	2.72	136.0
	b pezzi di vetro		-
	c vasi di ceramica		-
	d Grandi oggetti (specificare)		-
L5 Fibre Naturali (tessuti, fibre naturali))	a Prodotti tessili (vestiti, scarpe, abiti) b Grandi pezzi (tappeti, materassi, ecc.)		-
	c Corda/Cime naturali		
	d Stracci e corde in canapa e reti da cantiere e da pesca	25.48	1273.0
	e Tessuto per uso sanitario (pannolini, cotton fioc, ecc.)	0.88	43.0
L6 Legno lavorato (assi, cassette, ecc.)		0.12	6.0
L7 Carta e Cartone		0.20	10.0
L8 Rifiuti urbani non differenziati			-
L9 Altro (specificare)			-
Totale		100	5000 g

Figures 3-33. Classification du produit du type d'échantillon B1

L'échantillon avec la classification pondérale ainsi obtenue doit être broyé en morceaux inférieurs à 50 mm



Interreg



UNION EUROPEENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PREPARATION 2° ÉCHANTILLON DE 5 Kg PROVENANT DE MATÉRIEL COLLECTÉ PAR LES PÊCHEURS EN MER ET DÉCHARGÉS DANS DES CONTENEURS SPÉCIAUX MIS À DISPOSITION DANS LES PORTS PAR L'AUTORITÉ PORTUAIRE : TYPE B2 "PRIVÉ DES CATEGORIES RECYCLABLES"

TIPOLOGIA RIFIUTO	SUBCATEGORIA	QUANTITA' (g)
L1 Plastica	a Buste b Bottiglie c Imballaggi alimentari	485,6 429,6
	d Tessuti (tovaglie, tende, teli, ecc.)	59,7
	e Oggetti in plastica dura (contenitori, cassette, tubi, ecc.)	
	f Reti di pesca g Palangari h altri attrezzi da pesca	911,5
	i Cavi /cime l Altro	-
L2 Gomme	a Pneumatici b Cavi e Tubi c Altro	1259,3
L3 Metalli	a Lattine	-
	b Altri contenitori alimentari	
	c Contenitori di medie dimensioni (barattoli per pitture, oli, prodotti chimici, ecc.)	
	d Grandi oggetti metallici (pezzi di macchinari, barili, oggetti elettronici)	
	e Cavi e Fili	-
	f Attrezzi da pesca (ami, ecc) g Oggetti bellici	-
L4 Vetro/Ceramica/ Calcestruzzo	a bottiglie	-
	b pezzi di vetro	-
	c vasi di ceramica	-
	d Grandi oggetti (specificare)	-
L5 Fibre Naturali (tessuti, fibre naturali))	a Prodotti tessili (vestiti, scarpe, abiti) b Grandi pezzi (tappeti, materassi, ecc.)	-
	c Corda/Cime naturali	1771,8
	d Stracci e corde in canapa e reti da cantiere e da pesca	
	e Tessuto per uso sanitario (pannolini, cotton fioc, ecc.)	59,8
L6 Legno lavorato (assi, cassette, ecc.)		8,4
L7 Carta e Cartone		13,9
L8 Rifiuti urbani non differenziati		-
L9 Altro (specificare)		-
Totale		5000 g

1 Le plastique non recyclable est supposé égal à 50 % du plastique total

Figure 3-34. Classification des marchandises de l'échantillon Type B2

PRÉPARATION DE TYPE C D'ÉCHANTILLONS DE DÉCHETS SECS NON RECYCLABLES PROVENANT DE NAVIRES MARCHANDS ET À PASSAGERS QUI OPÉRENT LA COLLECTE SÉPARÉE

Les échantillons préparés à partir de la fraction des déchets secs non recyclables provenant des navires marchands et passagers opérant une collecte séparée sont constitués comme suit : le premier échantillon représentatif de déchets secs non recyclables en l'état (TQ), le deuxième échantillon constitué uniquement de déchets non recyclables -plastique recyclable présent dans les déchets secs non recyclables. Analyse du produit des déchets secs non recyclables Pour obtenir une analyse pratique du produit, il est nécessaire de prélever une quantité de déchets secs d'au moins 100 kg. Cette quantité est placée sur une surface de tamisage à mailles de 20 mm, afin de séparer les plus petits matériaux, qui sont collectés dans une feuille PE spéciale ci-dessous, et qui sont ensuite collectés dans le conteneur dédié. Le tri manuel des fractions de denrées identifiées dans la liste présentée dans le tableau 3-10 est ensuite effectué en les plaçant dans leurs conteneurs pré-calibrés respectifs. A l'issue de cette opération, les déchets appartenant aux différentes classes sont pesés, à l'aide d'un système de pesée adapté. Pour obvier à la différence de poids entre la somme des fractions individuelles et le poids global de la classe précédemment déterminée, due à l'évaporation du matériau lors du tri ou à la perte de petits matériaux, les pourcentages relatifs aux fractions individuelles sont référés à leur somme, une fois le tri effectué et non au poids initial. Par conséquent, le poids total (Ptot) de l'échantillon sera donné par : $P_{tot} = \Sigma$ (fractions de produits après tri)

Les catégories de produits dans lesquelles les déchets sont répartis sont différenciées de temps à autre en fonction du niveau de détail requis ; Vous trouverez ci-joint le schéma détaillé des différentes classes et fractions de produits par rapport auxquelles l'analyse des déchets doit être effectuée. Les résultats de l'analyse ainsi effectuée doivent être consignés dans le rapport d'analyse des produits (tableau 3-11).



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Primo Livello	Secondo Livello
Carta	Cartone
	Giornali
	Imballaggi
	Poliaaccoppiati (es. tetrapack)
	Salviette, Fazzoletti, Scottex
	Sacchetti
	Film
Plastica N.R.	Flaconi/Bottiglie/Vasetti
	Plastica rigida
	Polistirolo espanso
	Gomma
Metallo N.R.	Metalli ferrosi
	Alluminio
	Metalli non ferrosi (Cavi elettrici, Rame)
Organico	
Legno	
Vetro N.R.	
Tessile	Pelle e Cuoio
	Abbigliamento e Stracci
	Tessile sanitario (Pannolini, Cotone idrofilo, Assorbenti)
Rifiuti pericolosi	Pile, Batterie
	Medicinali scaduti, termometri
	Lampade
Inerti	Ceramica, Porcellana
	Lana di roccia, materiale isolante
	Pietre
	Gessi
	Mattoni, Cemento
Residuo	
Sottovaglio	
N.R. non riciclabile	

Tableau 3-10. Liste des fractions de marchandises sur les déchets secs non recyclables

Categoria	Quantità (Kg)	%	Plastica N.R. (Kg)
Carta			
Plastica N.R.			
Metallo N.R.			
Organico			
Legno			
Vetro N.R.			
Rifiuti Pericolosi			
Rifiuti Inerti			
Residuo			
Sottovaglio			
Totale			
N.R. non riciclabile			

Tableau 3-11. Rapport d'analyse du produit sur les déchets secs non recyclables (100 Kg)

L'échantillon de type C1 de 5 kg, dans lequel toutes les catégories sont présentes avec le % respectif contenu dans le TQ de déchets secs, est préparé en tenant compte de ce qui est rapporté dans le rapport d'analyse des produits (tableau 3-11).

La préparation de l'échantillon de type C2 de 5 kg, dans lequel seuls des plastiques non recyclables sont présents, est préparée en prenant cette quantité (5 kg) de la catégorie plastique comme indiqué dans le même tableau 3-11. Les deux échantillons doivent être broyés à une taille ne dépassant pas 50 mm.

Pour chacun des cinq échantillons, l'Entrepreneur, après avoir contacté l'Institut de Combustion ou Analogue, devra collecter une quantité supplémentaire de déchets, de composition et de poids similaires à ceux des cinq échantillons, pour l'acquisition du certificat d'analyse mentionné ci-dessus.

3.3.14 Annexe 2 : fiches des matériaux envoyés



I 3 campioni LI1_A; LI2_C1; LI3_C2 sono stati inviati macinati finiti.



Porto di Genova_campioni LI1_A; LI2_C1; LI3_C2

Porto di Genova _ LI1_A

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	24,73	0,36	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	22,99	0,34	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15400:2011	9,43	0,19	%
Cloro	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	1,38	0,14	%
Zolfo	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,04	0,00	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	9,44	0,34	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	5,20	0,41	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	65,92	6,41	%
Ossigeno*	da calcolo	12,97	---	%

Porto di Genova _ LI2_C1

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	23,38	0,34	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	21,47	0,31	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15400:2011	12,75	0,25	%
Cloro	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	2,38	0,24	%
Zolfo	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,040	0,003	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	9,28	0,60	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	2,16	0,28	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	60,86	5,91	%
Ossigeno*	da calcolo	14,91	---	%

Porto di Genova _ LI3_C2

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	31,24	0,46	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	28,94	0,42	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15400:2011	9,33	0,19	%
Cloro	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	3,83	0,38	%
Zolfo	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,036	0,003	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	11,14	0,72	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	2,34	0,30	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	78,12	7,39	%
Ossigeno*	da calcolo	< 2	---	%

Porto di Genova _ GE_B

Porto di Genova (GE_B) Materiale	Classificazione rifiuto B esclusi vetri e metalli	Preparazione CSM (2 kg)	
	[%]	[g]	[%]
Plastica	47,4	810	48
Plastica non riciclabile	23,7	550	71
Plastica riciclabile	23,7	260	29
Gomma	21,3	360	21
Fibre naturali	31	530	31
Legno lavorato	0,1	0	
Carta e cartone	0,2	0	
Altro	0	0	
Totale	100	1700	100

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	26,41	0,39	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	24,46	0,36	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15400:2011	9,08	0,18	%
Cloro	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,51	0,05	%
Zolfo	UNI EN 15400:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,029	0,002	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	9,45	0,61	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	1,33	0,17	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	57,85	5,62	%
Ossigeno*	da calcolo	22,25	---	%



GE_B_Porto di Genova B_tal quale



GE_B_Porto di Genova B_< 50 mm



GE_B_Porto di Genova B_macinato fine

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Port d'Hyères B1 (HY_B1) Materiale	Classificazione rifiuto B1 esclusi vetri e metalli	Preparazione CSM (2 kg)	
	[%]	[g]	[%]
Plastica	47,4	805	47
Plastica non riciclabile	23,7	765	95
Plastica riciclabile	23,7	40	5
Gomma	21,3	362	22
Fibre naturali	31	517	30
Legno lavorato	0,1		
Carta e cartone	0,2	12	1
Altro	0		
Totale	91	1696	100



(HY_B)_Port d'Hyères B1 _ tal quale



(HY_B)_Port d'Hyères B1 _ <50 mm



(HY_B)_Port d'Hyères B1 _ macinato fine

Port d'Hyères _ HY_B1

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	24,29	0,36	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	22,59	0,33	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15403:2011	12,48	0,25	%
Cloro	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	1,83	0,18	%
Zolfo	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,054	0,005	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	8,28	0,53	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	6,74	0,87	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	52,05	5,06	%
Ossigeno*	da calcolo	20,39	---	%

Port d'Hyères B (HY_B) Materiale	Classificazione rifiuto B esclusi vetri e metalli	Preparazione CSM (2 kg)	
	[%]	[g]	[%]
Plastica	47,4	805	46,9
Plastica non riciclabile			
Plastica riciclabile			
Gomma	21,3	360	21,0
Fibre naturali	31	530	30,9
Legno lavorato	0,1		
Carta e cartone	0,2	20	1,1
Altro			
Totale	100	1715	100



(HY_B)_Port d'Hyères B _Tal quale



(HY_B)_Port d'Hyères B _ macinato fine

Port d'Hyères _ HY_B

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	30,37	0,44	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	28,20	0,41	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15403:2011	17,11	0,34	%
Cloro	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	1,70	0,17	%
Zolfo	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,29	0,03	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	10,53	0,68	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	0,91	0,12	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	67,50	6,56	%
Ossigeno*	da calcolo	3,66	---	%

Port de Toulon (TU_A) Materiale	Classificazione rifiuto A	Preparazione CSM (2 kg)	
	[%]	[g]	[%]
Plastica	65,4	1383	68
Plastica non riciclabile	32,7	983	68
Plastica riciclabile	32,7	400	32
Mozziconi di sigaretta	6,8	288	14
Mozziconi di sigaretta in sostituzione cartone		22	
in sostituzione gomme		48	
in sostituzione legno		144	
		74	
Carta	4,3	182	9
Gomma	1,8	76	4
Tessili	1,7	72	4
Materiale da costruzione	4		0
Rifiuti sanitari	5,3		0
Manufatti di legno	1,3	26	1
Altro	0,2		0
Totale	91	2000	100

Port de Toulon_TU_A

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	29,89	0,44	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	28,49	0,42	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15403:2011	10,08	0,20	%
Cloro	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	5,37	0,54	%
Zolfo	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,048	0,004	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	6,82	0,44	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	1,05	0,14	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	46,75	4,54	%
Ossigeno*	da calcolo	35,25	---	%



TU_A_Port du Toulon_ tal quale



TU_A_Port du Toulon_ < 50 mm



TU_A_Port du Toulon_ macinato fine

Port d'Hyeres e Veolia (HY-VE_B) Materiale	Classificazione rifiuto B esclusi vetri e metalli	Preparazione CSM (2 kg)	
	[%]	[g]	[%]
Plastica	47,4	840	46,9
Plastica non riciclabile			
Plastica riciclabile			
Gomma	21,3	380	21,3
Fibre naturali	31	550	30,8
Legno lavorato	0,1		
Carta e cartone	0,2	15	1,8
Altro			
Totale	100	1785	100

Port d'Hyeres e Veolia _ HY-VE_B

Parametri	Metodi	Valori rilevati Media	Incertezza estesa di misura	Unità di misura
P.C.S.	UNI EN 15400:2011	24,56	0,36	MJ/kg
P.C.I.	UNI EN 15400:2011	23,00	0,34	MJ/kg
Ceneri	UNI EN 15403:2011	9,65	0,19	%
Cloro	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,99	0,10	%
Zolfo	UNI EN 15408:2011 + UNI EN ISO 10304-1:2009	0,029	0,003	%
Idrogeno	UNI EN 15407:2011	7,61	0,49	%
Azoto	UNI EN 15407:2011	4,05	0,52	%
Carbonio	UNI EN 15407:2011	50,27	4,88	%
Ossigeno*	da calcolo	28,38	---	%

Il campione del Port Veolia la Seyne sur mer non è stato sufficiente per realizzare un campione di tipo B e quindi integrato con materiali provenienti dal Port d'Hyeres.



Port Veolia la seyne sur mer_ Tal quale



HY-VE_B_Port d'Hyeres e Veolia _ < 50mm



HY-VE_B_Port d'Hyeres e Veolia _ macinato fine

Sono arrivati anche 5 campioni da Cagliari:
Saranno analizzati i campioni C1 e C2:

Campione preparato da rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operino la raccolta differenziata

C1_ rifiuto secco non riciclabile tal quale (T.Q.)



CA_C1 _ Cagliari Tal quale



Campione preparato da rifiuto secco non riciclabile proveniente da navi mercantili e civili che operano la raccolta differenziata

C2_ campione di plastica non riciclabile presente nel rifiuto secco

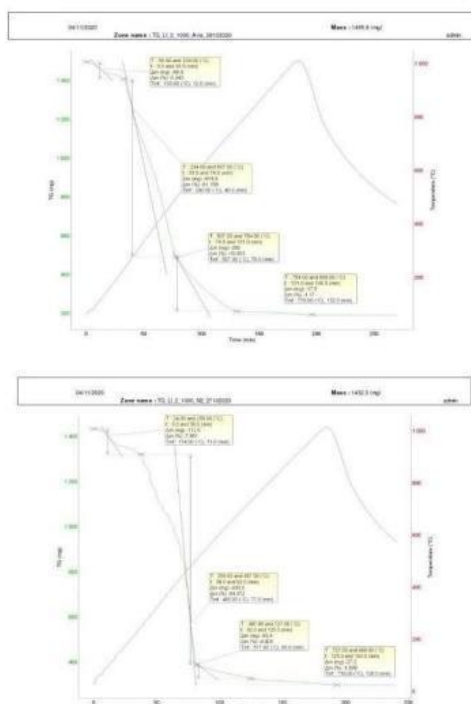


CA_C2 _ Cagliari _ tal quale

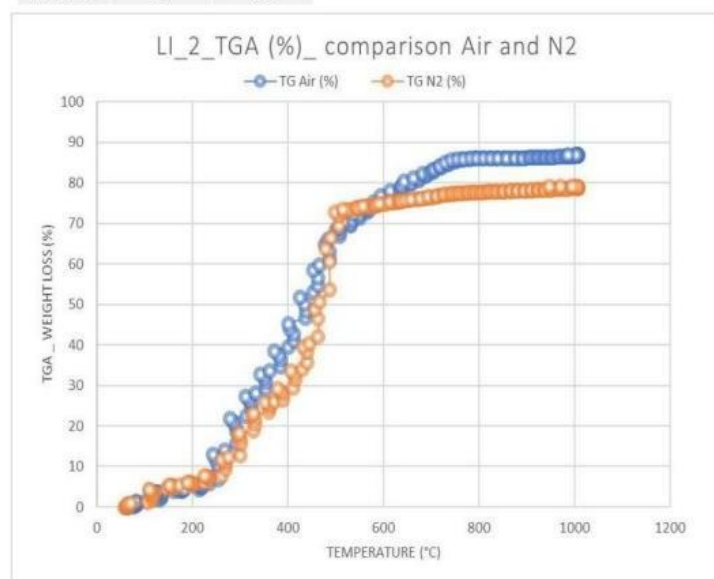


3.3.15 Annexe 3 : Analyse TGA de l'air et de l'azote

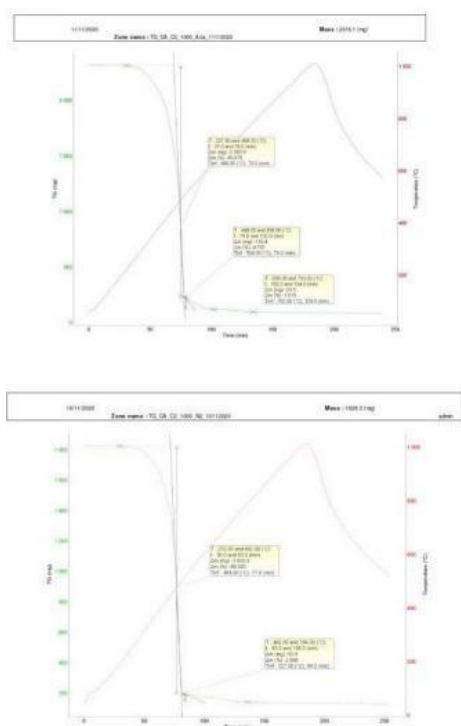
TGA LI_2_C1 in aria e in azoto



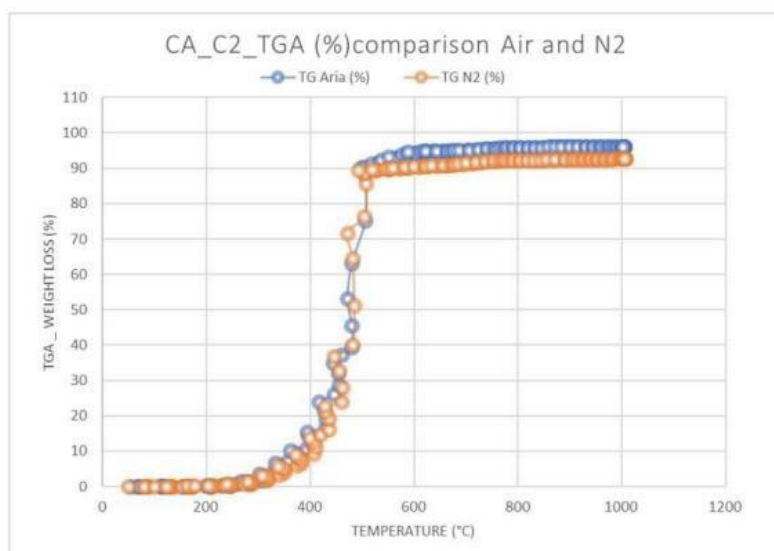
LI_2_C1	% Perdita in peso	
	Aria	Azoto
T < 500 °C	69	72
T > 500°C	87	79



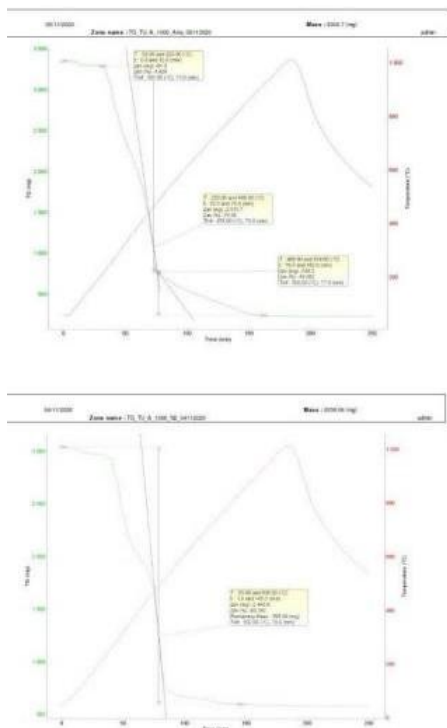
TGA CA_C2_ in aria e in azoto



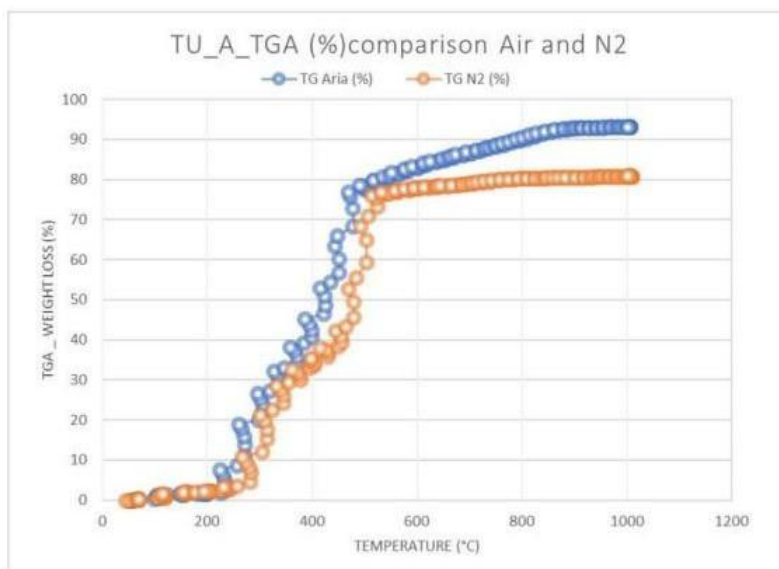
CA_C2	% Perdita in peso	
	Aria	Azoto
T < 500 °C	75	76
T > 500°C	96	93



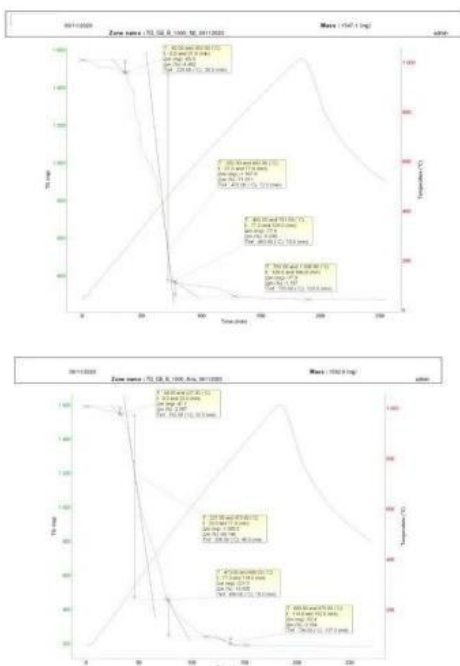
TGA TU_A_in aria e in azoto



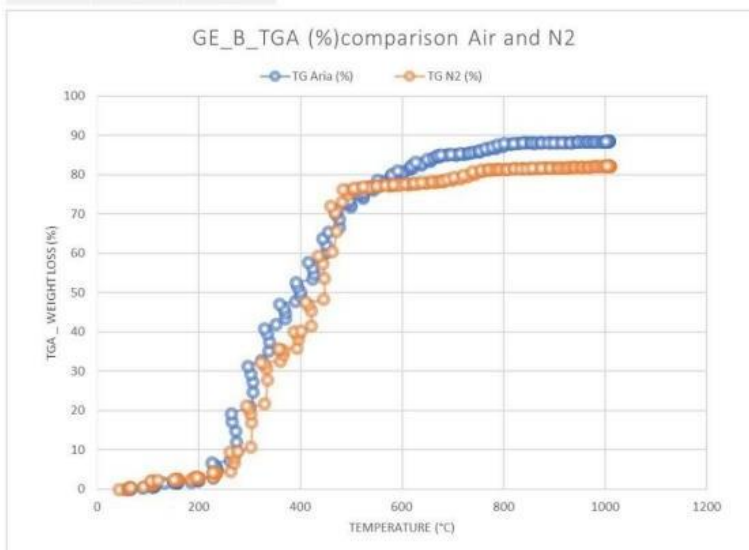
TU_A	% Perdita in peso	
	Aria	Azoto
T < 500 °C	78	64
T > 500°C	93	81



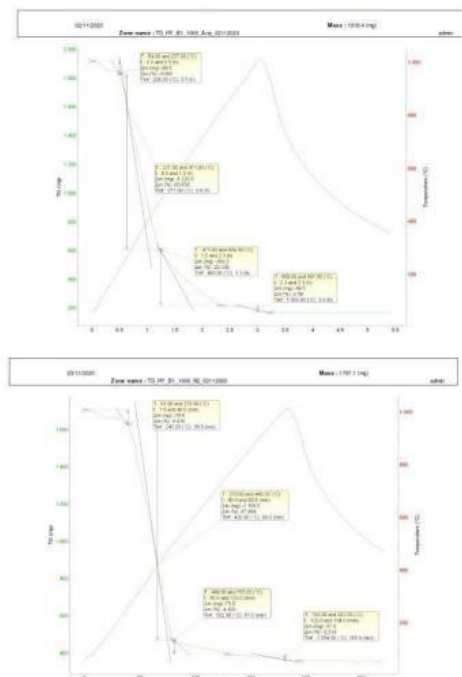
TGA GE_B in aria e in azoto



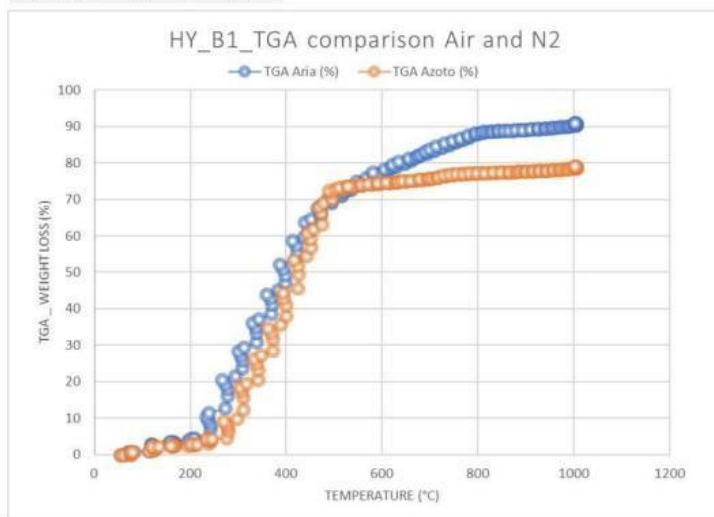
GE_B	% Perdita in peso	
	Aria	Azoto
T < 500 °C	74	76
T > 500°C	88	82



TGA HY_B1 in aria e in azoto



HY_B1	% Perdita in peso	
	Aria	Azoto
T < 500 °C	71	71
T > 500°C	91	79



4 SLOP

L'eau de lavage des citernes utilisées pour le transport des produits pétroliers est produite lors des opérations de nettoyage des réservoirs de carburant des pétroliers et des navires transportant des produits pétroliers, réalisées avec de l'eau à haute pression et occasionnellement avec des tensioactifs dégradables (n'étant plus autorisées par la réglementation relative à la protection du milieu marin). Le pourcentage et les caractéristiques des huiles présentes dans les eaux de lavage dépendent du type de produits transportés et du volume résiduel présent dans les cuves.

Ces eaux contiennent des résidus d'hydrocarbures et sont considérées comme des déchets huileux, même si la présence d'huiles traces est inférieure à 0,1 %.

En général, on trouve une fraction légère d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques et organochlorés provenant du processus de production de composés pétroliers. La fraction aromatique est constituée majoritairement de HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et est la plus toxique et persistante de la famille aliphatique (Reddy CM. Et al., 1999).

Les autres polluants peuvent être le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac, les phénols, le benzène, les cyanures et les solides en suspension contenant des métaux et des composés inorganiques (par exemple, halogénures, sulfates, phosphates, sulfures) (CONCAWE, 1999). Pour celles qui sont les eaux de lavage des réservoirs qui ont contenu de l'essence en plus des substances ci-dessus, il y a le MTBE (méthyl-tert-butyl éther). Le MTBE est un éther, de formule brute C₅H₁₂O, c'est-à-dire un composé organique synthétique dérivant du méthanol (ou alcool méthylique) et du 2-méthyl-2-propanol (ou alcool t-butylique) utilisé comme additif pour l'essence augmenter l'indice d'octane pour remplacer le plomb tétraéthyle et le benzène.

Ce qui le rend terrible, par rapport aux autres hydrocarbures contenus dans l'essence, c'est sa grande solubilité dans l'eau : la valeur moyenne de solubilité dans l'eau des hydrocarbures ne dépasse généralement pas 0,15 g/L, alors que la solubilité dans l'eau du MTBE est d'environ 50 g/L. Une fois qu'il atteint la mer, il se disperse facilement et y reste indéfiniment, car il est peu dégradable. La pollution produite est donc très grave. Le projet HASREP, 2005 a identifié le MTBE parmi les 15 produits chimiques dangereux et nocifs transportés le long des eaux européennes.

En ce qui concerne les eaux examinées, l'application du décret no. 182 de 2003 en a créé plusieurs difficultés rencontrées : d'une part, les ports non préparés, compte tenu des délais certainement pas courts pour la construction, l'essai et l'autorisation d'installations modernes de stockage, d'évacuation et de recyclage de ces eaux ; d'autre part, les armateurs et capitaines de navires qui ont dû faire face à de nouvelles charges dues au coût de la mise en décharge et au temps nécessaire pour obtenir les autorisations de décharge.

À l'heure actuelle, il existe peu de débarquements commerciaux où existent et exploitent des installations portuaires identifiées par le décret, bien qu'il existe de grandes réalités portuaires telles que Gênes, Livourne, Piombino, Tarente, Ravenne, La Spezia, Trieste, Gioia Tauro, etc., qui sans aucun doute devrait disposer de ces ressources matérielles, a fortiori dans tous ces petits ports qui, par rapport aux premiers, sont purement destinés au service des bateaux de pêche et de plaisance.

Il est donc clair qu'il convient de définir de nouvelles solutions technologiques qui limitent les coûts de la chaîne d'élimination et permettent un traitement adéquat pour un rejet en mer dans le plein respect du milieu marin ». (Rapport T1.2.2, CIREM, Projet Impatti-No)

4.1 Analyse des risques

Une analyse des risques est nécessaire liée à l'utilisation et au non-traitement toujours croissants du méthyl-tert-butyl-éther (MTBE).

Les principaux objectifs de ces études sont d'identifier les dangers potentiels et de s'assurer que les risques sont réduits aux niveaux souhaités de manière rentable, en protégeant les dangers pour la santé humaine, l'environnement marin et l'ensemble de l'écosystème en général, tout en utilisant efficacement les ressources, selon les paradigmes de l'économie circulaire.

Dans le domaine de l'environnement, l'une des méthodologies d'analyse des risques les plus utilisées est la RBCA (Risk Based Corrective Action) qui est une approche basée sur 3 niveaux d'évaluation et le passage aux niveaux suivants nécessite une évaluation de plus en plus précise du site, mais le degré la protection de la santé et de l'environnement ne varie pas entre les différents niveaux.

L'analyse des risques est un processus divisé en trois phases interconnectées :

- **Évaluation des risques (Risk assessment)**

L'évaluation peut être abordée de différentes manières, qui peuvent être classées en deux catégories :

- a) calcul de risque où les limites à respecter sont définies par un calcul spécifique des dommages éventuels. Parmi celles-ci, il y a certainement la méthodologie QSAR (Quantitative structure activity relation), qui est une relation mathématique qui exprime quantitativement l'activité biologique d'une substance en fonction de certaines caractéristiques chimiques-physiques ou structurales de la molécule ;
- b) les tables de concentrations limites, adoptées par nous pour les caractéristiques du contexte, dans lesquelles il y a une comparaison directe des concentrations présentes avec celles rapportées dans des tables spécifiques.

- **Gestion des risques (Risk management)**

Elle consiste à examiner les alternatives d'intervention en consultant les parties intéressées, en tenant compte de l'évaluation des risques et d'autres facteurs pertinents et, si nécessaire, en faisant des choix de prévention et de contrôle adéquats.

- **Communication sur les risques (Risk communication)**

Il concerne l'échange d'informations et d'opinions concernant les éléments de danger et de risque, l'explication des conclusions relatives à l'évaluation des risques et la base des décisions en matière de gestion des risques. Elle implique toutes les parties prenantes.

4.1.1 Évaluation des risques

Les critères utilisés pour l'évaluation des risques des substances dangereuses pour l'environnement sont basés sur les trois paramètres suivants [12] :

1. **Dégradabilité** : Un élément qui détermine la faible biodégradabilité est la solubilité limitée dans l'eau, qui dans le cas du MTBE est d'environ 50 g/L (la substance est considérée comme persistante). Le MTBE est peu dégradé : dans une expérience rapportée dans la publication "Solubility and Degradability of the Gasoline Additive MTBE, methyl-tert-butyl-ether, and Gasoline Compounds in Water" il est démontré qu'aucune dégradation de 10 mg/l libérée dans l'eau a été observée en 60 jours [13].
2. **Capacité de bioaccumulation ou de bioconcentration** : La bioconcentration (BCF, Bio Concentration Factor) est le rapport entre la concentration dans l'organisme et celle dans le milieu environnant :

$$BCF = \frac{k_1}{k_2}$$

Le BCF sera d'autant plus élevé que la constante d'absorption est élevée et que la constante de relargage est faible. Bien sûr, pour chaque donnée toxique, le BCF varie d'une espèce à l'autre, tandis qu'au sein de chaque espèce, le BCF est différent pour chaque substance différente absorbée. Une valeur de BCF (Bioconcentration Factor) du MTBE égale à 1,5 chez la carpe commune a été trouvée, en accord avec la

valeur de 1,31 calculée par le Syracuse Research Center (USA) à l'aide du logiciel SrcBCFWIN : ceci suggère que la bioconcentration dans les organismes aquatiques est faible [14].

3. Toxicité pour les espèces aquatiques [15] : Pour comprendre les risques du MTBE pour la vie aquatique, l'Environmental Protection Agency (EPA) a examiné les données de toxicité du MTBE pour déterminer quels niveaux seraient toxiques pour les espèces d'eau douce et salée. L'EPA a ensuite comparé ces concentrations avec les niveaux de MTBE présents dans les eaux. Pour être nocif, il faudrait qu'il se produise à court terme en eau douce (toxicité aiguë) à des concentrations égales ou supérieures à 151 mg/L. A long terme (toxicité chronique), le MTBE devrait être présent dans l'eau douce à une concentration égale ou supérieure à 51 mg/L. Pour les milieux salins, le MTBE devrait être supérieur à des concentrations de 53 mg/L à court terme et de 18 mg/L à long terme. Lorsque l'EPA a ensuite examiné la présence de MTBE dans les eaux de surface, elle a découvert que les concentrations environnementales de MTBE étaient 10 000 fois inférieures aux niveaux nocifs calculés. Ces déterminations et les méthodes utilisées ont été publiées dans la revue scientifique *Environmental Science and Technology* (2002, Volume 36, pages 125-129) dans un article intitulé : « MTBE Ambient Water Quality Criteria Development : A Public/Private Partnership ».

Les données disponibles suggèrent que les concentrations de fond de MTBE dans les eaux de surface de l'UE sont inférieures à 1 µg /L (rapport d'évaluation des risques pour les substances existantes MTBE, RAPPORT SPÉCIAL N.17, ECETOC, 2003). Bien que les niveaux de concentration de MTBE dans les eaux marines ne semblent pas actuellement particulièrement préoccupants pour la flore et la faune aquatiques ($C < CSC$, c'est-à-dire que la valeur de concentration actuelle C est inférieure à la valeur de concentration seuil de contamination CSC), ceci doit être pris en compte et analysé est qu'une fois introduit dans l'eau, précisément à cause de sa faible dégradabilité, le MTBE peut, en l'absence de processus d'élimination, y rester et s'y disperser facilement pendant des durées indéfinies. De plus, avec le temps et son absence d'élimination, la concentration dans le milieu dans lequel il est immergé augmentera de manière significative et inquiétante en raison du coefficient de diffusion élevé et de la faible dégradabilité et, par conséquent, de la très faible possibilité d'en cours de décomposition. Le risque potentiel de pollution produit est donc très grave et les dommages à long terme à l'écosystème sont importants et irréversibles.

4.2 Effets sur la santé humaine : toxicité et cancérogénicité

L'Environmental Protection Agency des États-Unis (US EPA) a classé le MTBE comme « cancérogène possible pour l'homme » en 1995. La conformité du MTBE pour les animaux et les humains est bien établie. Lorsqu'une substance est définie comme toxique, l'analyse de risque vise principalement à vérifier si le site est effectivement contaminé. En effet, on détermine les concentrations seuils dites de risque ou de contamination (CSR ou CSC) qui représentent la valeur de référence pour évaluer si le site est réellement contaminé, et qui représentent l'objectif de dépollution en cas de dépassement.

Voici quelques-uns des effets pour lesquels la nocivité du MTBE est documentée dans la bibliographie :

- L'inhalation de vapeurs de MTBE peut provoquer des maux de tête et des nausées chez les personnes à des concentrations variables (mg/L) [16]
- Un contact répété provoquant une peau sèche et craquelée, et des symptômes respiratoires, neurologues, cardiaques et allergiques associés à une exposition chronique et de faible niveau au MTBE ont été signalés [17]
- Le MTBE est dangereux pour les humains et les animaux et a vraisemblablement un effet cancérogène. Il peut provoquer des troubles neurologiques (maux de tête, anxiété, dépression, étourdissements, insomnie, dépression, incapacité à se confiner), des problèmes respiratoires (Essoufflement, bronchite, asthme et

divers problèmes respiratoires) et des maladies allergiques (problèmes respiratoires) problèmes nasaux et voies respiratoires supérieures) (Mehlman, 1995, 1998).

- Grâce à des études menées sur des souris et des rats, il a été établi que le MTBE est cancérigène pour les animaux [18]
- L'US EPA a classé le MTBE comme cancérigène humain possible à fortes doses [19]
- Le MTBE est considéré comme un cas limite entre non classable comme cancérigène et Carc. Cat. 3. (substances à considérer avec suspicion d'effets cancérigènes possibles chez l'homme sur la base d'observations dans des études adéquates à long terme réalisées sur des animaux et/ou de autres informations spécifiques) [19a]

Pour les contaminants cancérigènes, il n'existe pas de dose de référence en dessous de laquelle on peut supposer qu'il n'y a pas de risque sanitaire, mais on considère que toute exposition contribue à augmenter le risque de cancer lié à une exposition chronique au site contaminé.

Pour ce type de contaminants, le choix du niveau de risque acceptable n'est pas un choix objectif basé sur des critères scientifiques ou toxicologiques (comme dans le cas des substances toxiques non cancérigènes) mais c'est un choix politique concernant le risque incrémental de tumeurs lié à la présence d'un site contaminé, considéré comme acceptable d'une certaine manière, également par rapport à d'autres causes de risque.

.Au niveau national, avec le Décret législatif 04/08, la limite de risque acceptable pour la substance unique a été fixée à 10^{-6} ce qui est équivalent la probabilité qu'une personne sur 1 000 000 contracte une tumeur suite à une exposition chronique à la substance contaminée

Ce choix est très conservateur si on le compare aux valeurs couramment adoptées au niveau européen dans lesquelles une limite acceptable est généralement fixée égale à 10^{-5} et dans certains cas (ex. Hollande) égale à 10^{-4} [20].

Selon l'US EPA (1996) le potentiel cancérigène s'exprime plutôt à travers le CSF (Cancer slope factor) alors que selon l'OEHHA 1999 (California Office Of Environmental Health Hazard Assessment) le potentiel cancérigène pour l'indigestion du MTBE est estimé à $1,8 \cdot 10^{-3}$ (mg/kg/j) -1 ; tandis que l'EPA estime le potentiel cancérigène par inhalation à $9,1 \cdot 10^{-4}$ (mg/kg/j) -1 (tableau 4-1).

	UNITÀ	BENZENE	TOLUENE	NAFTALENE	BENZO[a]-PIRENE	MTBE	TRICLORO-ETILENE	ARSENICO	MERCURIO (a pH=4,9)
Peso molecolare	g/mol	78,1	92,1	128,2	252,3	88,2	131,4	74,9	200,6
Coefficiente di diffusione in aria	cm ² /s	0,088	0,087	0,059	0,043	0,079	0,079		0,031
Coefficiente di diffusione in acqua	cm ² /s	9,8·10 ⁻⁶	8,6·10 ⁻⁶	7,5·10 ⁻⁶	9,0·10 ⁻⁶	8,0·10 ⁻⁶	9,1·10 ⁻⁶		6,3·10 ⁻⁶
Solubilità in acqua	mg/l	1.800	530	31	1,6·10 ⁻³	4,8·10 ⁴	1.100		0,030
Costante di Henry	-	0,23	0,28	0,02	4,7·10 ⁻⁵	0,024	0,43		0,47
Tensione di vapore	Pa	1,3·10 ⁴	3.700	120	6,5·10 ⁻⁷	3,3·10 ⁴	5,4·10 ⁴		0,17
Coefficienti di partizione: K _{OC} , K _D	(g/g)/(g/cm ³)	66	141	1.600	9,6·10 ⁵	14	93	25	0,040
Reference dose per ingestione	mg/kg/d	3,0·10 ⁻³	0,2	0,02		0,01*	6,0·10 ^{-3**}	3,0·10 ⁻⁴	3,0·10 ⁻⁴ (per HgCl ₂)
Reference dose per inalazione	mg/kg/d	8,6·10 ⁻³	0,11	8,6·10 ⁻⁴		0,86			8,6·10 ⁻⁵
Potenziale cancerogeno per ingestione	(mg/kg/d) ⁻¹	0,055			7,3	1,8·10 ^{-3*}	0,011**	1,5	
Potenziale cancerogeno per inalazione	(mg/kg/d) ⁻¹	0,027			3,1**	9,1·10 ^{-4*}	6,0·10 ^{-3**}	15	

K_{OC}, K_D: coefficienti di partizione tra sostanza adsorbita al carbonio organico (per gli organici, K_{OC}) o al suolo (per gli inorganici, K_D) e sostanza disciolta in acqua; dati in g adsorbiti/g di carbonio o di suolo (K_{OC}), g di soluto/cm³ di acqua (K_D)

* OEHH (1999)

** EPA (2005b)

Tableau 4-1. Propriétés physico-chimiques et toxicologiques de certaines espèces représentatives de contaminants (TNRC 2005, EPA 2005)

Cependant, les informations disponibles sont encore insuffisantes pour établir avec certitude la limite de concentration au-delà de laquelle le MTBE devient nocif, et notamment cancérigène, pour l'homme.

4.3 L'analyse post-incident et le problème des dérogations

"L'analyse post-incident peut être définie comme une partie de l'enquête incidente, menée dans le but de déterminer les causes directes et indirectes d'un éventuel accident et d'identifier les mesures préventives nécessaires pour éviter un accident et la survenance ou la répétition d'événements similaires. Par ailleurs, puisque la prévention des accidents, quoique dans un contexte plus large, constitue la finalité fondamentale du Système de Management de la Sécurité, l'analyse post-accidentelle représente l'un de ses éléments fondamentaux » [21].

Une mesure préventive fondamentale pour la réduction de la pollution donnée par le MTBE doit être recherchée en référence au problème des dérogations relatives à l'obligation de remettre les déchets produits par le navire au capitaine du navire (décret législatif 182/2003).

Le navire peut en effet continuer vers l'escale suivante sans avoir effectué la cession, s'il dispose d'une capacité de stockage, sous réserve de l'autorisation de l'autorité maritime.

Aucune disposition ne permet de vérifier si le navire respecte l'obligation de livraison au prochain port d'arrivée.

Cela pourrait être considéré comme une incitation à des comportements illégaux de la part des capitaines de navires au mépris précisément de l'objectif du législateur qui est de « réduire les rejets en mer, notamment illégaux, de déchets et de résidus de cargaison produits par les navires qui utilisent ports situés sur le territoire de l'Etat » en imposant aux navires l'obligation de livrer ces substances aux installations de collecte à effectuer dans les ports par l'autorité portuaire ou, à défaut, par l'autorité maritime. Il est donc souligné la nécessité de prévoir des installations d'attribution et de traitement pour éviter l'éventuel "rejet à la mer" des navires, afin que les capitaines de ceux-ci aient la possibilité / l'obligation de livrer les eaux usées, en évitant le rejet à la mer de ces substances et notamment celles très polluantes comme le MTBE.

4.4 Le MTBE est-il comparable à un hydrocarbure ?

L'ISS (Istituto Superiore di Sanità) a assimilé le MTBE à un hydrocarbure avec la note no. 57058/IA12 du 06 février 2001, qui a ensuite été démentie par le même Institut avec un autre avis du 12 septembre 2006 dans lequel il était précisé que « l'assimilation originelle de la substance aux hydrocarbures totaux ne doit pas être tenue ferme, le MTBE n'étant pas définissable comme hydrocarbure, mais il appartient à la famille des éthers ». Le D.M. 31/2015 établit la limite pour le MTBE et l'ETBE dans les eaux à 40 µg/L.

Cependant, en assimilant le MTBE à un hydrocarbure, en nous plaçant dans un état sûr, selon le décret présidentiel 236/1988, nous pouvons lui attribuer une valeur de concentration seuil de contamination (CSC) dans l'eau égale à 10 µg/L, comme requis pour "hydrocarbures totaux".

Par exemple, la Californie a établi un niveau de contamination maximum pour le MTBE de 5 µg/L, basé sur des critères esthétiques (goût et odeur).

A cet égard, le procédé d'épuration pour le traitement des eaux usées à charge polluante doit, selon la législation en vigueur, prévoir l'élimination du Méthyl-T-Butyl Ether avec l'atteinte de la limite de rejet égale à 10 µg/L, afin d'éviter une situation de pollution irréversible de l'environnement qui, comme démontré, est à haut risque.

Grâce au processus de purification, une situation typique devra être atteinte : $C \leq CSC$ et donc dans notre cas $C \leq 10 \mu\text{g/L}$ (valeur plus prudente que les 40 µg/L établis par l'arrêté ministériel n.31/2015).

4.5 Les technologies d'élimination dans une perspective d'économie circulaire

Dans la perspective de l'économie circulaire, les nouvelles technologies doivent être évaluées au regard de leur efficacité d'élimination. Celles-ci incluent les technologies d'oxydation les plus avancées, capables de produire des radicaux OH hautement réactifs pour accélérer la dégradation des substances persistantes. Dans ce paragraphe nous allons comparer le potentiel d'élimination de l'irradiation UV et des procédés d'oxydation avancés, à savoir UV/peroxyde d'hydrogène et UV/ozone, pour le MTBE [22].

Des expériences d'irradiation UV ont été menées pour montrer la dégradabilité du MTBE par photooxydation UV. Le MTBE, mais aussi le TAME, ne montrent aucune absorbance dans le spectre UV.

Il n'y a eu qu'une légère baisse de concentration (23-26%), qui peut probablement être attribuée à la réaction des substances avec les radicaux formés lors de l'irradiation UV.

Afin d'améliorer l'efficacité d'élimination, un oxydant a été ajouté lors de l'irradiation UV.

Les oxydants utilisés sont le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou l'ozone (O_3).

L'introduction de H_2O_2 à une concentration de 4 mg/L dans le mélange réactionnel n'a induit qu'une légère amélioration de la dégradation. Par la suite, au lieu de H_2O_2 , O_3 a été ajouté. Contrairement au H_2O_2 , l'ozone a été consommé très rapidement ; en 5 minutes environ, la concentration d'ozone était nulle. Cela se reflète dans la diminution de la concentration de MTBE (voir Figure 4-1).

Une courbe de concentration très raide indique la formation rapide de radicaux OH par la destruction photolytique de l'ozone appliqué et la réaction non sélective subséquente des radicaux avec le MTBE.

Plus de 60 % du MTBE a été éliminé. L'extension de l'expérience s'est avérée inefficace, la concentration de MTBE n'a pas diminué davantage.

Cependant, avec un dosage constant d'ozone pendant l'expérience, une élimination complète des substances a pu être obtenue.

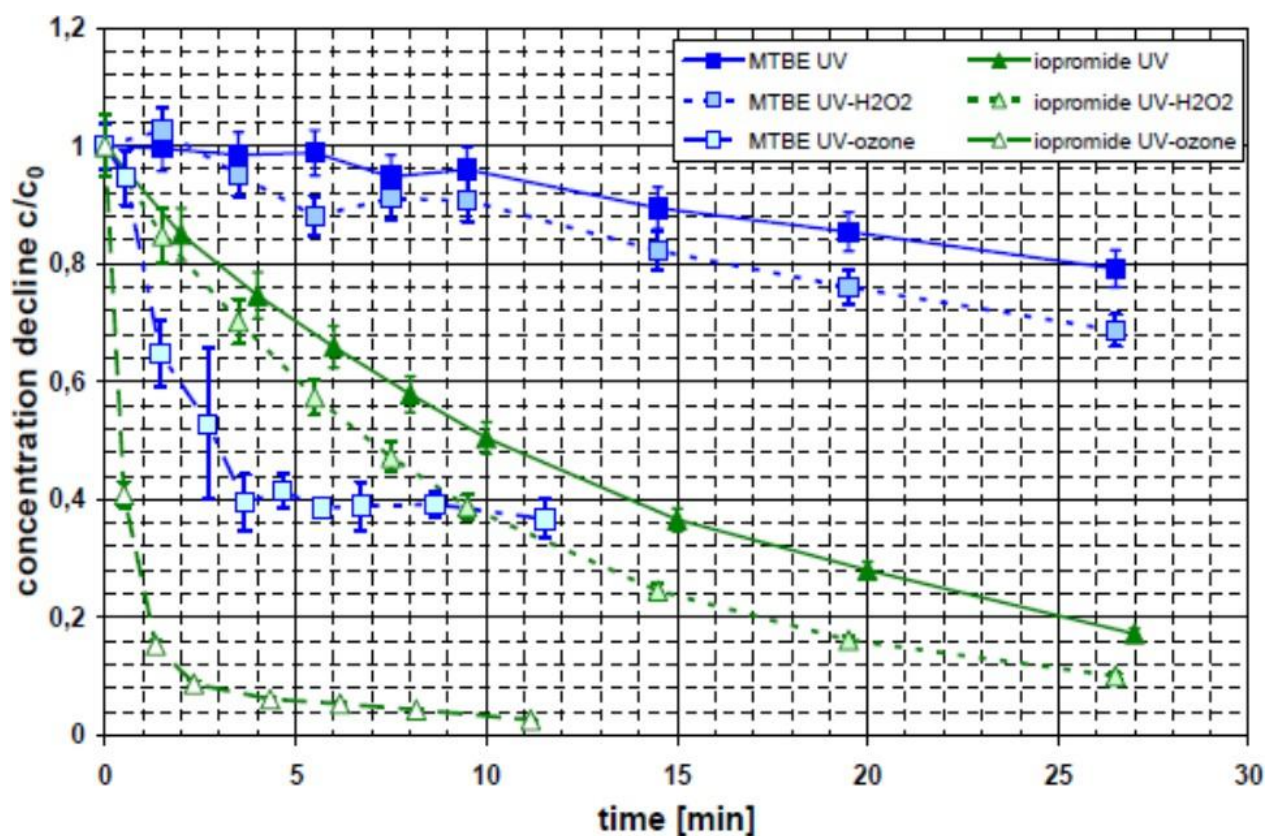


Figure 4-1. Comparaison entre le procédé UV/H₂O₂ et UV/O₃

Dans le but d'évaluer économiquement les processus et de les comparer entre eux, nous prenons en considération le rapport "électricité par ordre de grandeur" (EE / O), qui est un paramètre utilisé comme unité de mesure. Représente l'énergie électrique (kWh) nécessaire pour diminuer la concentration d'un polluant d'un ordre de grandeur dans 1 mètre cube (1000 L).

Afin de comparer les différents procédés d'oxydation avancée, l'EE/O a été calculé pour chacun d'eux. Les résultats, résumés dans le tableau, montrent que, pour les additifs essence MTBE et TAME, l'irradiation UV et la combinaison des UV avec le peroxyde d'hydrogène aux concentrations appliquées n'est pas une méthode d'élimination appropriée (comme le montre l'EE / O élevé).

Le MTBE est éliminé beaucoup plus efficacement par le procédé UV/ozone. Il est nécessaire que les processus d'oxydation avancés soient soumis à un suivi régulier et précis, afin d'éviter l'accumulation de produits de dégradation toxiques tels que le TBA, qui est plus nocif que la substance d'origine.

5 Analisi benefici costi del trattamento

5.1 Impianto di gassificazione al plasma

Sulla base dei risultati delle caratterizzazioni e sperimentazioni è stato possibile valutare le rese in syngas e i consumi energetici, sulla base dei quali è stato dimensionato in via preliminare l'impianto della capacità di 250 t/sett e successivamente l'impianto della capacità di 1500 tonn/sett. I dati di dimensionamento sono serviti ad effettuare una valutazione dei costi di realizzazione, dei costi operativi e dei ricavi realizzabili dall'esercizio dell'impianto. L'esercizio dell'impianto da 250 t/sett permette di ripagare i costi di investimento ed esercizio anche se in tempi relativamente lunghi, circa 13 anni con una tariffa di smaltimento di 120 €/t. Per tariffe più basse i tempi sono più lunghi, mentre considerando tariffe minori di 86,25 €/t l'investimento risulta in perdita.

5 Analyse des bénéfices et des coûts du traitement

5.1 Usine de gazéification au plasma

Sur la base des résultats des caractérisations et des expériences, il a été possible d'évaluer les rendements en gaz de synthèse et la consommation d'énergie, sur la base desquels l'usine d'une capacité de 250 t/semaine a été préalablement dimensionnée et ensuite l'usine d'une capacité de 1500 tonnes. / semaine. Les données de dimensionnement ont été utilisées pour évaluer les coûts de construction, les coûts d'exploitation et les revenus pouvant découler de l'exploitation de l'usine.

L'exploitation de l'usine de 250 t/semaine permet de rembourser les coûts d'investissement et d'exploitation même si dans un délai relativement long, environ 13 ans avec une redevance d'élimination de 120 €/t. Pour des tarifs inférieurs, les délais sont plus longs, alors qu'en considérant des tarifs inférieurs à 86,25 €/t l'investissement se traduit par une perte.

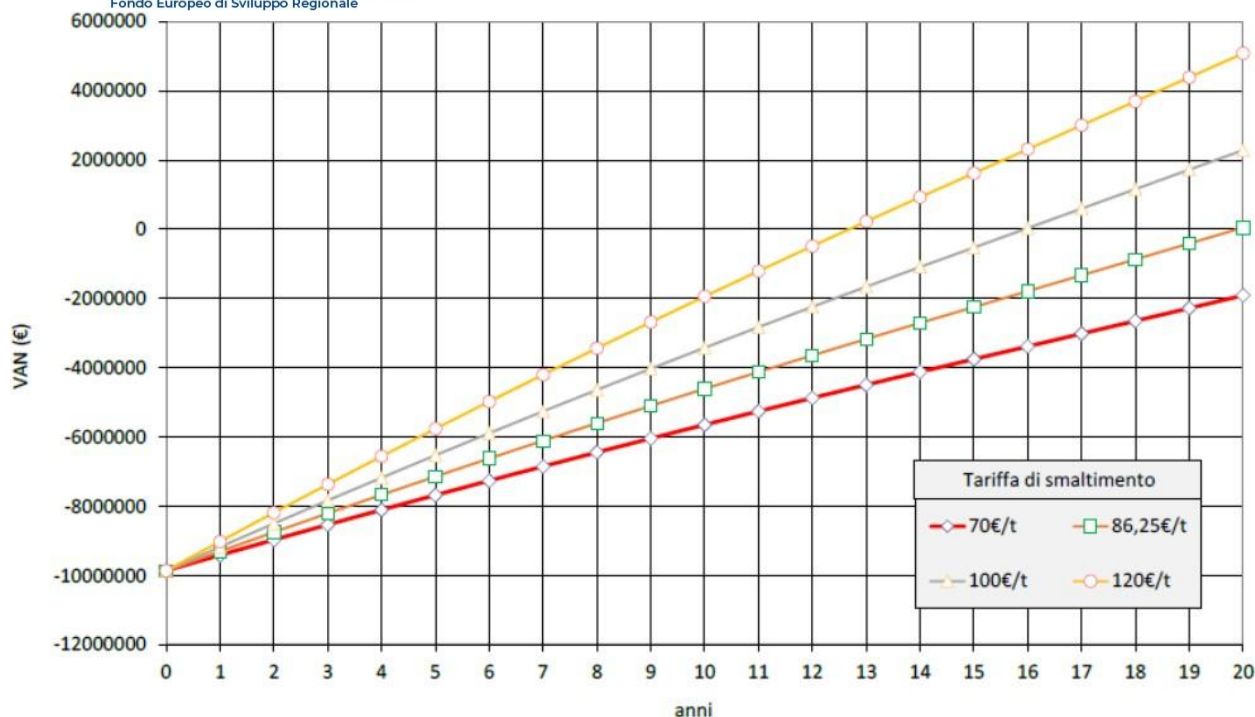


Figure 5-1. Tendence de la VAN au fil des ans pour différentes valeurs du tarif d'élimination pour une installation de 250 t/semaine

La figure 5-1 montre la VAN relative à l'usine de 250 t/s qui montre les courbes relatives à différents taux d'élimination entre 70 et 120 €/t.

On note que pour des tarifs inférieurs à 86,25 €/t la valeur de la VAN reste toujours négative, c'est-à-dire que l'investissement n'est pas en mesure de s'amortir. Pour des taux d'élimination supérieurs à 86,25 €/t, en revanche, l'investissement devient rentable, c'est-à-dire qu'en fin de vie l'usine est capable de dégager un profit, cependant le temps de retour semble être d'environ 16 ans dans le cas de redevance d'élimination à 100 €/t et environ 13 € pour le tarif de 120 €/t.

Lors de la définition de l'analyse, les coûts et revenus directs suivants (bénéfices) ont été pris en compte :

Coûts et revenus	€
Coût d'achat	1660000
Frais de fonctionnement annuels	1660000
Revenus annuels	1660000

Les revenus annuels varient en fonction du droit d'entrée qui est versé au gestionnaire de l'usine pour l'élimination des déchets portuaires qui lui sont confiés.

Dans les calculs dont est issu le tableau précédent, il est supposé égal au tarif permettant de couvrir les charges d'exploitation, qui est égal à 86,25 € par tonne de déchets conférés.

En considérant une taille plus importante, 1500 t/semaine, l'effet d'échelle est important et des temps d'amortissement compris entre 9 et 18 ans sont obtenus pour des taux d'élimination compris entre 120 et 70 €/t.

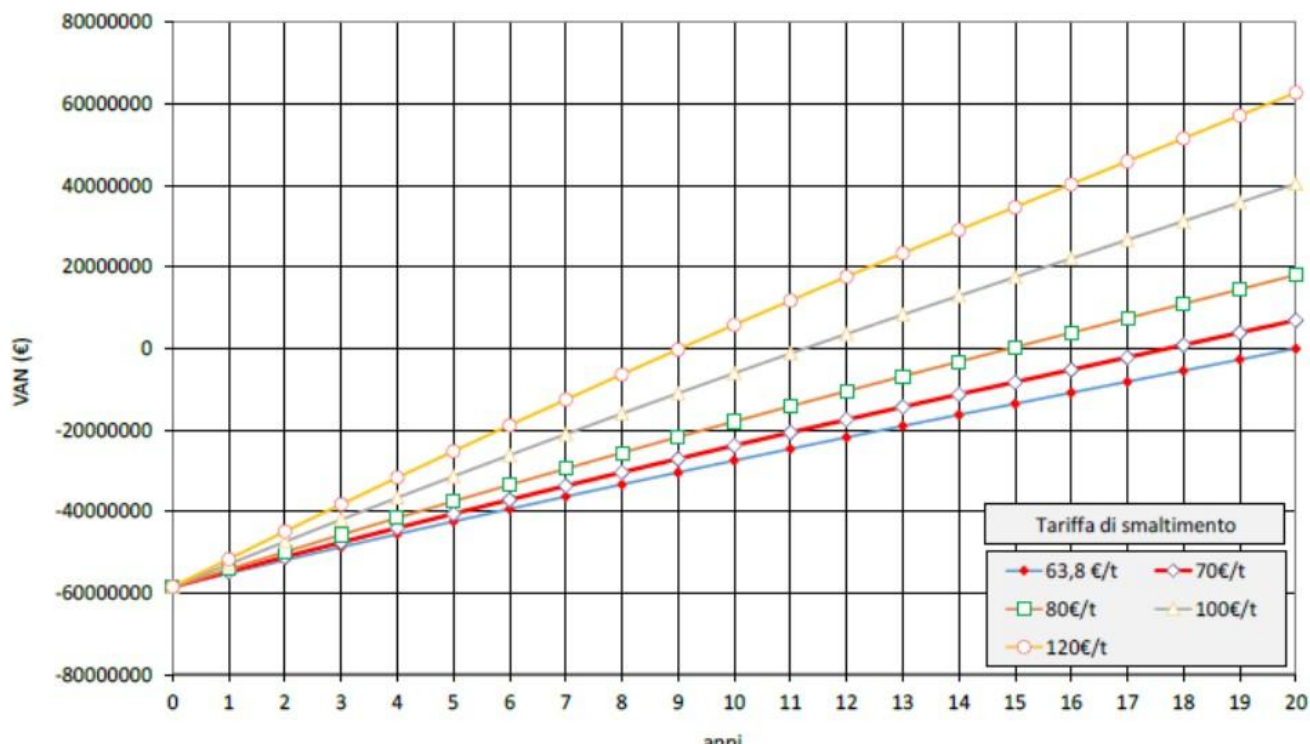


Figure 5-2. Tendence de la VAN au fil des ans pour différentes valeurs du tarif d'élimination pour une usine de 1500 t/semaine.

Le temps de retour sur investissement (ROI) varie entre un minimum de 9 ans, avec le tarif le plus élevé (120 €/t), et un budget à l'équilibre atteint seulement la vingtième année dans le cas du tarif le plus bas (63,8 €/t). Analysons les données relatives à une usine de 1500 tonnes/semaine :

Coûts et revenus	€
Coût d'achat	58.488.000
Frais de fonctionnement annuels	8496109
Revenus annuels	128800

Les revenus annuels, comme mentionné, varient avec la variation du droit d'entrée qui est payé au gestionnaire de l'usine pour l'élimination des déchets portuaires qui lui sont confiés. Dans les calculs dont est issu le tableau précédent, le tarif est supposé égal à 80,00 € par tonne de déchets conférés.

Outre-les coûts/revenus susmentionnés, il faut également considérer le bénéfice environnemental qui découlerait du traitement de ce type de déchets, sujet déjà traité au paragraphe 3.1.2.

7 Annexe 1 (Tests de laboratoire sur les SLOP)