Interreg
MARITTIMO–IT FR–MARITIME
Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

IMPATTI·NO

[Data]

Impatti No

Service d'identification d'un navire pour des analyses de laboratoire et des activités de traitement des déchets Projet ImpattiNo - Interreg It-Fr Maritime 1420

Nombre Négociation	1738424 Attribution directe (art. 36, c. 2, lett. A, D.Lgs. 50/2016)	Type de négociation	
CIG	Z5032177D3	CUP	F51G17000080006

Doc. No. 2021-402/R – 12 Novembre 2021

Rev.	1
Description	Rapport final
Préparé par	F. Macci, G. Puppo
Vérifié par	F. Cirilli
Approuvé par	R. Sorci
Date	12 Novembre 2021

Service d'identification d'un navire pour l'analyse en laboratoire et le traitement des déchets traitement des déchets Projet ImpattiNo - Interreg It-Fr Maritime 1420

Nombre Négociation 1738424 Attribution directe (art. 36, c. 2, lett. A, D.Lgs. Type de négociation 50/2016) CIG Z5032177D3 CUP F51G17000080006

Rev.	Description	Préparé par	Contrôlé par	Approuvé par	Date
0		F. Macci, G. Puppo	F. Cirilli	R. Sorci	12 Novembre 2021

Tous droits, y compris de traduction, réservés. Aucune partie de ce document ne peut être divulguée à des tiers, à des fins autres que l'original, sans l'autorisation écrite de RINA Consulting - Centro Sviluppo Materiali S.p.A

INDICE

Résumé

INDEX 3
2. Résumé exécutif 4
3. NOTE D'INTRODUCTION 5
1.1 OBJET DU DOCUMENT....6
4. DÉFINITION LARGE DU NAVIRE 6
5. INDICATION DE LA DISPOSITION DU NAVIRE AVEC INDICATION DES INSTALLATIONS 9
6. ESTIMATION DU COÛT DE CONSTRUCTION....13
7. ESTIMATION DU COÛT D'EXPLOITATION DU NAVIRE....13
8. CONCLUSIONS....16
9. ANNEX - ELECTROLYSER SYSTEM 17

Résumé exécutif

Dans l'activité réalisée précédemment en faveur de l'Université de Cagliari, une installation pour l'élimination des plastiques avec une installation terrestre a été proposée.

Ici, l'idée d'installer le même système à bord d'un navire qui collecte les matériaux dans les différents ports et les traite à bord du même navire a été étudiée, indépendamment de la **législation MARPOL qui, dans son état actuel, refuse une telle application.**

En particulier, deux cas ont été comparés : le navire est propulsé de manière autonome avec un moteur diesel marin normal (option 1) ; la deuxième hypothèse formulée est celle d'un navire utilisant une partie de l'énergie produite pour la propulsion (option 2) et toujours un moteur lorsque l'énergie n'est pas disponible.

Pour les deux solutions, on a supposé que l'excédent d'énergie électrique disponible était utilisé pour la production d'hydrogène au moyen d'un électrolyseur.

Le système de l'usine embarquée figure toujours dans le bilan économique au même tarif d'entrée que les plastiques traités. La seule condition est de garantir un traitement des plastiques d'au moins 500 tonnes/semaine.

1. NOTE D'INTRODUCTION

Le projet "Impatti-NO", financé dans le cadre du *2e appel du programme Interreg Italie France Maritime 2014-2020*, met en œuvre des plans d'action conjoints pour la prévention, la réduction et le tri des déchets et des eaux usées dans les ports. Dans ce contexte, l'objectif est d'identifier les meilleures technologies pour le traitement des déchets et des eaux usées dans les zones portuaires. En partant de la caractérisation des déchets et des eaux usées 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 tests, afin d'identifier les meilleures technologies à appliquer à chacun d'eux en tenant compte des coûts de traitement et de la valeur économique finale du produit obtenu.

En particulier, Rina Consulting - Centro Sviluppo Materiali S.p.A. (ci-après dénommée simplement Rina) a déjà réalisé une activité de caractérisation des différents types de déchets du point de vue chimico-physique et une activité expérimentale visant à la "gazéification assistée par torche à plasma" de ces déchets. Ceci a été fait dans le but d'exploiter les déchets eux-mêmes (*Waste to Energy).WtE)* et zéro déchet. Le rapport Rina Doc. No. 2021-109/R - 30 mars 2021 décrit l'ensemble des activités menées sur cette question. En particulier, la figure 14 du présent rapport montre le schéma proposé pour l'installation de traitement des déchets, qui, pour la commodité du lecteur, est présenté ici en figure 1.

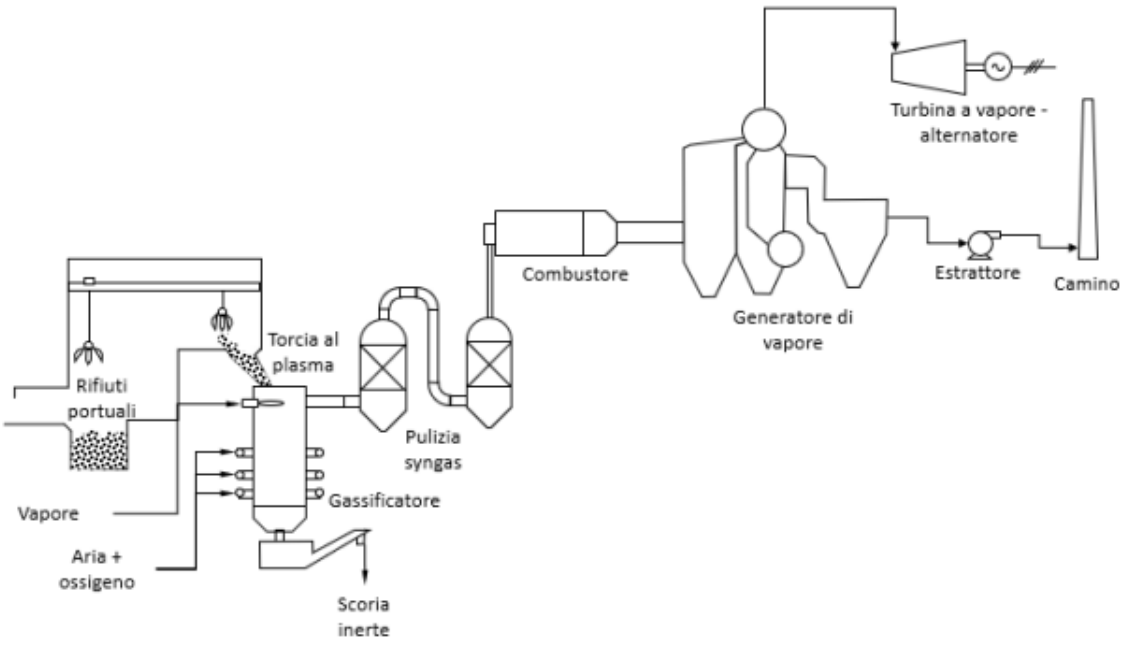


Figure 1 - Schéma de l'installation avec la machine motrice de la turbine à vapeur (TV)

La section 5.2 du rapport décrit en détail les principaux composants de l'installation permettant de traiter 250 à 500 t/semaine de matériaux. Une telle installation est capable de fournir une puissance utilisable à d'autres fins d'environ 550 kW pour l'installation de 250 t, tandis qu'une installation ayant une capacité de traitement double (500 t) grâce à des optimisations d'échelle est estimée avoir une puissance disponible de même 1200 kW.

Par la suite, l'Université de Cagliari a demandé à Rina un service d'identification d'un navire pour les activités de laboratoire d'analyse et de traitement des déchets pour abriter l'installation de traitement dimensionnée pour traiter 250 à 500 tonnes/semaine de déchets, qui devrait être accompagnée d'un réservoir pour le gaz de synthèse libéré dans les ports.

La demande comprenait également les points suivants:Définition des spécifications fonctionnelles du navire en termes de type, de dimensions hors tout, de tirant d'eau, de capacité de cale, etc.

- Indication au moyen d'un schéma de principe du positionnement à bord des installations, des systèmes de chargement/aspiration de la matière à traiter à partir des dépôts à quai des ports, du stockage à bord de la matière broyée, de l'affectation éventuelle en ligne d'une installation de broyage, etc ;

- Estimation du coût de la construction d'un navire présentant ces caractéristiques, y compris le surcoût éventuel de l'installation elle-même par rapport à l'estimation figurant dans le rapport final pour l'expérience de la solution à terre ;

- Définition des coûts d'exploitation du navire en termes de consommation, d'entretien et de personnel, à l'exclusion de celui de l'installation, qui est déjà dimensionné. En particulier, en ce qui concerne la consommation, il nous serait très utile d'indiquer si des turbines à gaz seraient utilisées pour faire avancer le navire, c'est-à-dire si elles seraient avantageuses compte tenu des conditions d'exploitation spécifiques dans lesquelles le gaz est déjà disponible à bord.

Le présent rapport vise à répondre à cette demande.

1.1 OBJET DU DOCUMENT

L'objectif de l'activité CSM est de soutenir l'Université de Cagliari dans l'identification du navire qui accueillera l'usine de traitement des déchets plastiques, de définir les spécifications fonctionnelles du navire, un plan d'implantation de l'usine, une estimation des coûts de construction, la définition des coûts d'exploitation du navire.

2. DÉFINITION LARGE DU NAVIRE

L'examen du schéma de l'installation proposée pour le traitement de 500 tonnes/semaine de matières plastiques montre que les dimensions du pont destiné à abriter les composants devraient être d'environ 1,5 mètre carré.500 m². Cette valeur comprend tous les composants de l'installation, à l'exclusion de la zone de réception des matières plastiques, du stockage d'un stock de matériaux, du stockage des cendres inertes, des emballages de bouteilles vides pour le stockage du gaz manufacturé dans le cadre des services auxiliaires.

Les plans conceptuels des différents ponts du navire et l'emplacement de certains services auxiliaires sont présentés dans la section 3 ci-dessous.

Quant au bateau, il est de type à coque à déplacement avec une coque ronde afin d'avoir la plus grande surface de travail possible pour les différents ponts, y compris sous le pont.

Les dimensions du navire sont d'environ 60 m de long pour une largeur de 14 m environ.

Le navire dispose de trois ponts de travail complets (740 m²), plus trois ponts à surface réduite (140 m²) pour le logement de l'équipage et du personnel d'exploitation et la salle de contrôle.

La hauteur des ponts dans la phase de conception est respectivement

pont 1: 5,5 m;

pont 2 hauteur: 8 m,

pont 3 : c'est le niveau du pont, à l'exclusion de la partie réservée aux ponts 4, 5 et 6 de la tour dont les équipages mesurent 2,4 m chacun.

Avec ces chiffres, on calcule que le pont 1, qui contient les moteurs de propulsion, les réservoirs de carburant, d'eau potable et d'eau dessalée, l'atelier et l'entrepôt de pièces détachées, et

d'autres services, a un volume de stockage brut de 4000 m³.Le pont 2 est situé au niveau du quai du port et est dédié à la réception des plastiques, au compactage, à l'arrimage des balles de plastiques, des cendres inertes, à l'arrimage des bouteilles vides. Pendant les opérations portuaires, les emballages de bouteilles de gaz remplies sont déchargés et les emballages vides sont chargés. Ce pont a un volume brut de 5920 m³.

Le pont 3 abrite l'usine de traitement des déchets, de la gazéification à la production d'électricité, et l'usine d'électrolyse pour la production d'hydrogène et d'oxygène. L'oxygène est utilisé dans le processus de transformation des déchets, tandis que l'hydrogène est conditionné pour être déchargé aux postes d'amarrage. A côté de l'électrolyseur se trouve l'installation de compression de l'électrolyseur (30 bar) à l'installation d'imbibition (300 bar). Les bouteilles d'hydrogène sont stockées sur ce pont et ne sont amenées sur le pont 2 qu'à proximité des ports pour le chargement/déchargement.

Le tirant d'eau du navire est de 4,1 m par rapport au déplacement maximal. Elle est réduite de 0,135 m pour chaque tranche de 100 tonnes de marchandises en moins.

Le déplacement du navire est de 3000 tonnes. Dont environ 1 200 t correspondent au poids propre du navire, y compris le carburant, les huiles de graissage et l'équipement de navigation, mais à l'exclusion des composants de la station d'épuration et de ses auxiliaires, estimés à environ 250 t.

La charge maximale des plastiques arrimables est de 350 tonnes.

Le nombre maximum de packs de bouteilles de stockage d'hydrogène est de 125, avec un total de 2000 bouteilles de 50 litres chacune à 300 bars. La capacité de stockage de l'hydrogène est de 1,33 kg/cylindre ou 15 Nm³ chacun. Au total, un maximum de 2670 kg d'hydrogène, soit l'équivalent de 30 000 Nm³, sera stocké à bord du navire. Si les cylindres sont tous présents en même temps, ils donneront une charge d'environ 230 tonnes.

La propulsion est assurée par deux moteurs diesel de 700 kW (950 ch). Ceux-ci peuvent également être couplés à des générateurs électriques avec des hélices avec des moteurs électriques.

La consommation du navire à différentes vitesses est indiquée dans le tableau 1. Par exemple, à une vitesse de croisière de 10 nœuds (16 km/h), une puissance de 350 kW est nécessaire et la consommation est de 80 litres de diesel par heure, avec la nécessité de remplir le réservoir d'au moins 30 m³ pour assurer deux semaines de navigation (y compris le bonus de sécurité de 30 %). Comme on peut le voir dans le tableau 1, en augmentant la vitesse de croisière à 14 nœuds, la puissance requise triple ainsi que la consommation de diesel.

Tableau 1 - Consommation pour la propulsion du navire à différentes vitesses de navigation

Vitesse de la navigation	RTS	Puissance requise	Consommation de diesel	Capacité du réservoir pour 2 semaines de la navigation
kn	[kN]	[kW]	l/h	m³
5	23	60	10	3.7
6	30	90	20	7.5
7	**38**	**140**	**30**	**11.2**
8	47	190	40	15
9	57	260	60	22.5
10	**68**	**350**	**80**	**30**
11	80	450	100	37.4
12	93	570	130	48.7
13	117	790	180	67.4
14	**154**	**1110**	**250**	**93.6**

A la consommation pour la propulsion, il faut ajouter la consommation électrique pour tous les

services à bord, qui peut être estimée à environ 200 kW, nécessitant 40 litres de gazole supplémentaires par heure. Ces peut être réduite d'environ 10% en équipant le navire d'un système photovoltaïque plus éolien. Le système photovoltaïque situé sur le toit de 140 m² du tablier du pont permet l'installation d'environ 24 kWp, avec une capacité de production de 31200 kWh/an. En outre, jusqu'à 5 éoliennes à axe vertical[1] d'une puissance de 5kW peuvent être installées sur le toit du pont pour produire jusqu'à 11000 kWh par an d'énergie électrique.

Parmi les services de production d'électricité, il faut également considérer le système de démarrage de l'installation de traitement des déchets plastiques, avec une puissance de pointe d'environ 1,5 MW et un fonctionnement limité à 30 ÷ 60 minutes par démarrage. A la limite, l'utilisation des moteurs de propulsion principaux pourrait être envisagée si ceux-ci étaient de type générateur électrique. Dans ce cas, le navire reste immobile pendant la période de démarrage du processus, puisque l'énergie est absorbée presque entièrement pour les besoins de production de l'usine de traitement des plastiques. En effet, au démarrage, le gazéificateur alimenté par les matières plastiques doit être chauffé normalement avec des brûleurs, tandis que les gaz produits par le gazéificateur, produits en quantité réduite par rapport au fonctionnement normal, doivent être traités pour les purifier avec le système de torche à vapeur à plasma. A ce stade de démarrage, il n'y a pas encore de production d'énergie de l'unité turbine à vapeur-alternateur. Au moins un tiers de ces torches doivent être alimentées électriquement, ce qui absorbe environ 1,3 MW. Ensuite, au fur et à mesure que l'installation démarre et évolue vers un fonctionnement normal, avec l'alimentation de 3500 kg/h de matières plastiques, environ 6 ÷ 6,5 $MW_{électriques}$ sont produits. Environ 75% de cette puissance électrique, soit environ 4,5÷5 MW, est autoconsommée par l'usine de traitement (pour les torches à plasma, l'inertisation des cendres et d'autres utilisations de l'usine, y compris les services); le 1÷1,5 MW restant de puissance électrique reste disponible pour d'autres utilisations.

En ce qui concerne cette puissance électrique disponible, un scénario de double usage est possible. Bien entendu, avec toutes les solutions intermédiaires.

1) L'énergie électrique est entièrement utilisée pour la production d'hydrogène au moyen d'un électrolyseur à technologie PEM et la consommation de diesel pour la propulsion indiquée dans le tableau 1 est nécessaire.
2) L'énergie électrique est utilisée pour l'autosuffisance : ainsi, pour la propulsion du navire et les autres besoins énergétiques, estimés à environ 700-900 kW pendant la navigation et 200-300 kW lorsque le navire est à quai, le reste de l'énergie produite peut encore être utilisé pour la production d'hydrogène, bien que dans une moindre mesure que dans le cas 1.

Si confrontano brevemente i pro e i contro di ciascuna di queste due soluzioni.
Les avantages et les inconvénients de chacune de ces deux solutions sont brièvement comparés.

La solution 1, qui prévoit l'utilisation totale de l'énergie électrique pour l'électrolyseur, nécessite une consommation constante et continue de gazole pour la propulsion et les autres services et besoins à bord, avec le paiement conséquent d'accises sur le gazole acheté (120 l/h), et des niveaux non négligeables d'émissions de CO_2 estimés à environ 310 kg/h (pour une vitesse de 10 kN et 200 kW pour le générateur électrique des différents services à bord). La production d'hydrogène est maximale et peut être estimée à environ 18-25 kg/h. La propulsion à l'hélice n'est pas strictement nécessaire, mais une liaison mécanique par l'arbre entre les moteurs de propulsion et les hélices est possible. Dans ce cas, il faut ajouter un générateur électrique de 1,5÷2 MW pour démarrer l'installation de traitement des plastiques. En tout état de cause, le coût horaire du carburant, au prix actuel de 1,5 €/l, est de l'ordre de 180 €/h. L'oxygène produit par l'électrolyseur est de 162÷225 kg/h soit 115÷160 Nm³/h, dans ce cas aucune production supplémentaire d'oxygène n'est nécessaire[2].

[1] La société WINDUP commercialise des éoliennes à axe vertical d'un diamètre extérieur de 4,4 m et d'une hauteur de 5 m, fabriquées en alliage d'aluminium www.windup.eu.

[2] Le rapport RINA-CSM indique un besoin en oxygène de 300 Nm³/h d'oxygène pour l'installation de 250 tonnes/semaine. Ce chiffre double pour l'installation de 500 tonnes/semaine, mais pour une installation à bord d'un navire, une solution hybride air + oxygène, dite air enrichi, peut être utilisée. On dit que cela limite le besoin d'oxygène avec la nécessité de le produire et les coûts associés. Il est possible, par exemple, de le faire fonctionner uniquement avec l'oxygène produit par l'électrolyseur.

Avec la solution 2, qui prévoit l'autosuffisance des besoins énergétiques du navire pendant la navigation avec l'usine de traitement des plastiques à pleine capacité, à la fois en termes de capacité de production d'énergie et d'efficacité énergétique la propulsion et les services à bord, la propulsion de l'hélice doit se faire au moyen de moteurs électriques. Des moteurs diesel avec alternateurs seraient utilisés pour la station d'épuration non productive et le démarrage de la station d'épuration des plastiques. La production d'hydrogène est minime et probablement de l'ordre de 5÷10 kg/h, ce qui permet d'économiser sur le coût d'achat des carburants et en particulier sur le coût des accises, mais de renoncer au revenu de la vente d'hydrogène estimé à 7 €/kg. La baisse des recettes provenant de la vente d'hydrogène peut être estimée à 65÷105 €/h, mais 180 €/h sont économisés pour l'achat de gazole, ce qui donne un avantage économique de 75÷115 €/h. Sur une base annuelle de 5000 heures de fonctionnement en navigation, cela se traduit par une économie d'environ 325000÷575000 €/an.
Un autre avantage de cette solution est qu'en ayant moins d'électricité disponible, il faut produire moins d'hydrogène et donc moins de charges à manipuler.
Dans ce deuxième cas, l'installation d'électrolyse est plus petite et moins coûteuse que dans le cas 1. Il faut noter que l'oxygène produit avec cette solution est de l'ordre de 45÷90 kg/h soit 32÷65 Nm³/h ce qui est une fraction modeste de celle indiquée dans le rapport RINA-CSM pour l'installation de 500 kg/sett (voir note 2). Par conséquent, soit il faut le produire avec une usine supplémentaire, soit il est nécessaire de travailler en gazéification avec une usine d'air avec un enrichissement modéré par rapport à ce qui est indiqué dans l'option précédente.
Il faut souligner que ces arguments sont valables pour le traitement de 500 tonnes par semaine, alors que pour le cas du traitement de 250 tonnes par semaine, l'énergie électrique disponible étant inférieure à la moitié ne permettrait pas d'autosuffire le navire. En fait, bien qu'un peu plus petits en taille et, par conséquent, en déplacement, les besoins de propulsion ne seraient pas du tout réduits de moitié et cette deuxième hypothèse ne serait donc pas énergétiquement viable.

3. INDICATION DE LA DISPOSITION DU NAVIRE AVEC INDICATION DES INSTALLATIONS

Les figures 2 et 3 montrent les plans d'ensemble des ponts de travail 1, 2 et 3, puis ceux des logements (ponts 4 et 5) et de la salle de contrôle (pont 6), déjà décrits au point 2 ci-dessus.

Certains services ont été fournis sur le pont 1, d'autres services auxiliaires ont été omis tels que : le service de lutte contre l'incendie, les systèmes d'ancrage du navire, les canots de sauvetage, les équipements de manutention au niveau du pont, les ponts roulants et les bennes à conteneurs (pont 2), les potences pour le chargement et le déchargement par le côté, la cabine de gestion des installations sur le pont 3, les barrières de sécurité. En outre, les chariots de levage et de transport (chariots élévateurs à fourche) sur les trois ponts ne sont pas représentés.

Par rapport à la description de l'usine de traitement des déchets plastiques dans le rapport précédent, une usine d'électrolyse a été ajoutée, qui utilise l'énergie électrique produite pour produire de l'hydrogène avec un électrolyseur utilisant la technologie PEM. Des équipements permettant de produire de l'hydrogène par voie électrolytique sont disponibles sur le marché. Par exemple, celui de MCphy3, qui produit des électrolyseurs de classe "grande" d'une capacité nominale comprise entre 100 et 800 Nm³/h avec une puissance engagée de 0,5 à 4 MW à une pression de 30 bars. Celui qui convient pour l'application sur le navire avec une capacité de traitement de 250 t/semaine est l'électrolyseur de taille plus petite de 0,5 MW capable de produire 100 Nm³/h d'hydrogène, qui convient également dans le cas d'un navire avec une installation de traitement de 500 t/semaine, mais avec l'option 2. Dans le cas de l'installation de 500 t/semaine et de l'option 1), l'électrolyseur de taille 1 MW avec une capacité de production de 200 Nm³/h d'hydrogène peut être utilisé. Ceux-ci peuvent également produire l'oxygène nécessaire au processus de gazéification sans avoir besoin d'une autre usine pour produire l'oxygène, mais en travaillant dans des conditions d'air enrichi en oxygène dans la mesure de celui produit à bord avec l'électrolyseur.

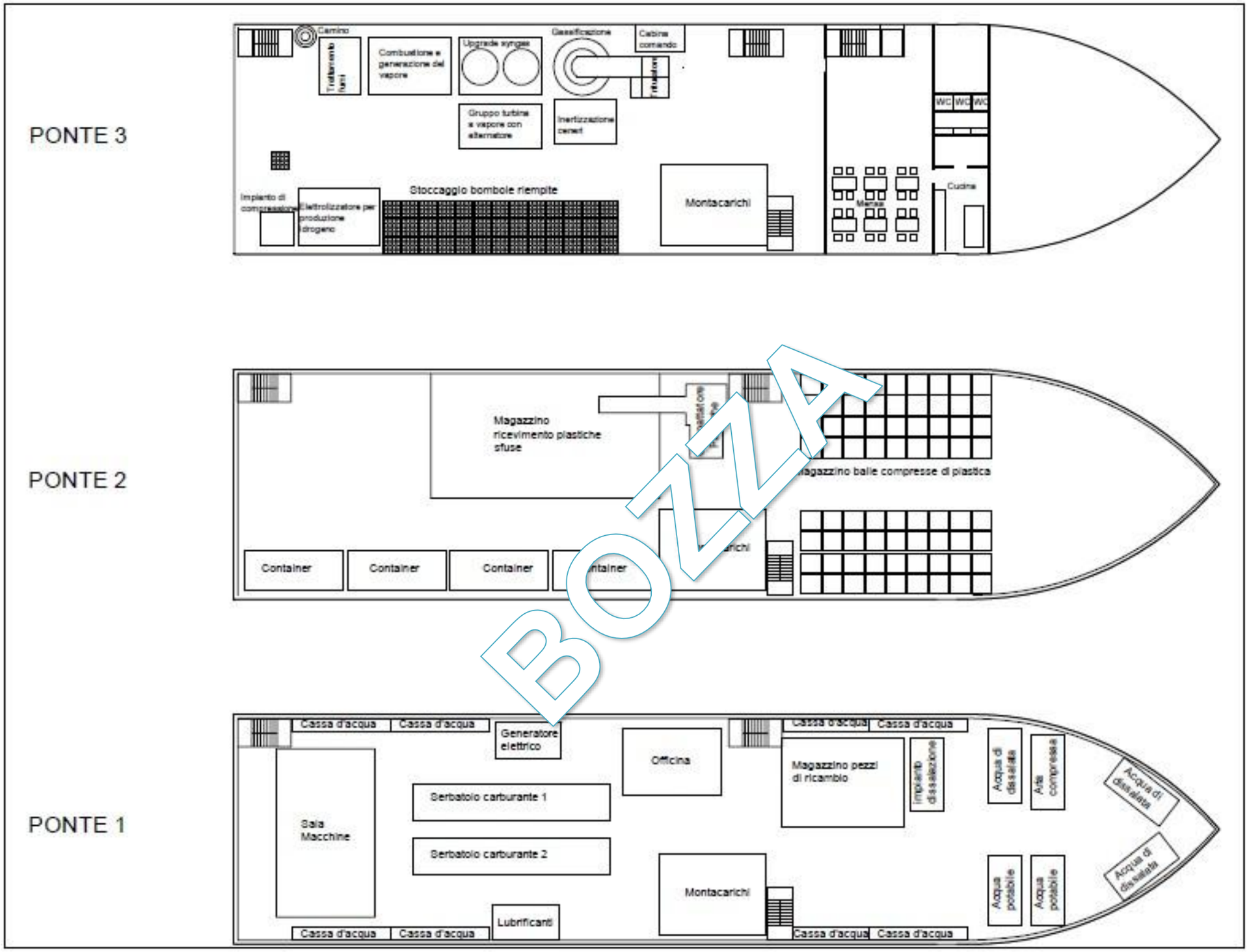
L'hydrogène produit doit être comprimé de 30 à 300 bars pour être imbibé. Cela signifie qu'en 24 heures, 4800 Nm³/h d'hydrogène peuvent être produits, ce qui équivaut à environ 427 kg (option 1

du paragraphe précédent concernant le mode de propulsion). Celle-ci peut être stockée dans 320 bouteilles standard de 50 litres à 300 bars et correspond à la capacité de stockage d'un wagon-citerne d'hydrogène. Il est donc nécessaire de les décharger une fois tous les 3 ÷ 6 jours, afin de ne pas avoir trop de bouteilles sur le navire.

La production d'hydrogène est réduite si l'option 2 avec la cuve autonome en énergie décrite ci-dessus est adoptée.

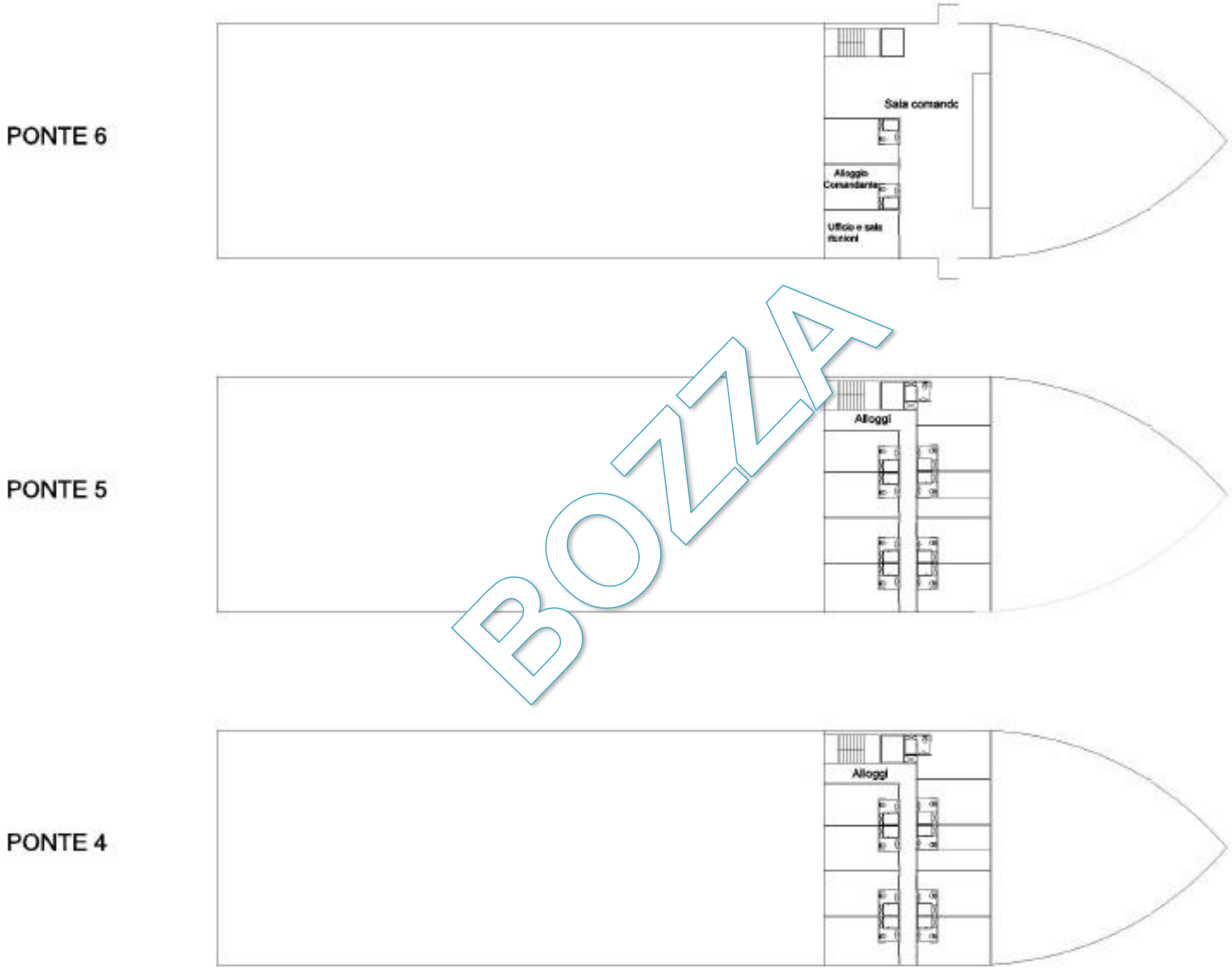
*****

[3] https://mcphy.com/it/apparecchiature-e-servizi/elettrolizzatori/large/ - voir annexe 1



BOZZA

Figure 2 - Ponts de travail 1, 2 et 3 du navire. Hauteur du pont 1 : 5,5 m ; hauteur du pont 2 : 8 m, hauteur du pont 3 : pont, mess et salle de récréation : 2,4 m - Surface des ponts 1 et 2 740 m², pont 460 m² + 130 m² + 140 m² (mess)



BOZZA

Figure 3 - Ponts d'hébergement 1, 2 et pont 3 pour la salle de commandement et de contrôle du navire. Hauteur des ponts 1, 2 et 3: 2,4 m - Surface du pont : 140 m²

4. ESTIMATION DU COÛT DE CONSTRUCTION

Le coût de construction du navire peut être estimé à un budget de **15 millions d'euros,** sans compter les coûts de la partie élimination du plastique. Toutefois, y compris tous les services et équipements nécessaires à la navigation. Il s'agit d'un navire destiné à accueillir l'usine de traitement de 500 tonnes par semaine. Pour le traitement de 250 tonnes par semaine, le coût de construction diminue de 2 millions d'euros au maximum.
Un tel navire peut être dirigé avec un équipage de 10 personnes pour l'usine de traitement des plastiques de 250 et 500 tonnes par semaine. Ce nombre **NE COMPREND PAS** le personnel chargé de l'exploitation de l'usine de transformation des matières plastiques

5. ESTIMATION DU COÛT D'EXPLOITATION DU NAVIRE

Les coûts d'exploitation du navire sont constitués des principaux postes suivants :
l'amortissement et les charges financières ; l'entretien de la partie du navire ; le coût de l'exploitation maritime (coûts d'accostage dans le port et autres services) ; les frais d'assurance ; l'équipage ; les frais de carburant.
L'estimation des coûts est présentée au tableau 2, calculée dans l'hypothèse de l'option 1 du paragraphe 2 (système de propulsion diesel), tandis que les coûts de l'installation de traitement des déchets sont présentés au tableau 3.

Tableau 2 - Navire Opex (option 1)

	OPEX			
1	coûts d'exploitation des navires			
2	coût de l'assurance bateau			100 000 €
3	équipage d'avion	70 000 €	10	700 000 €
4	depreciation and charges financière	15 000 000 €	5.80%	870 000 €
5	maintenance	15 000 000 €	1.50%	225 000 €
6	coûts du carburant	320 000 €	1.4	448 000 €
7	coût des opérations maritimes	200 000 €	1	200 000 €
	Total			2 543 000 €

Tableau 3 - Opex Usine de traitement des déchets (option 1)

OPEX Usine de traitement des déchets		
8	Frais d'exploitation Station d'épuration	
10	Personnel	390 000 €
11	Maintenance	345 000 €
12	Consommables	150 000 €
13	Frais généraux	120 000 €
14	Amortissement de l'électrolyseur	40 000 €
15	Amortissement	90 000 €
	Total	1 135 000 €

Globalement, les coûts d'exploitation s'élèvent à **4 464 000 €/an**.

Dans ce cas, l'équilibre est atteint avec un tarif d'entrée de 127,10 €/tonne et un prix de vente de l'hydrogène de 7 €/kg. Si le prix de vente de l'hydrogène devait être réduit, le prix d'entrée de la matière à traiter devrait être légèrement augmenté. Le tableau 4 montre les revenus du système.

Tableau 4 - Recettes de l'option 1

RICAVI			
1	matériel de saisie	500	t/sett
2	droit d'entrée du matériel	127.40	€/t
3	matériel d'entrée annuel	26 000	t/a
4	énergie annuelle produite	2 310 000	kWh
5	H2 pouvant être produit par an	525 000	Nm³/a
6	H2 pouvant être produit par an	46 725	kg/a
7	Prix de vente H2	7	€/kg
8	Prix de vente des cendres inertes	10	€/t
9	Frêne produit	3 900	t
10	Revenu des intrants	3 312 400 €	
11	Produits de la vente de H2	327 075 €	
12	vente de cendres inertes	39 000 €	
	Total des revenus	**3 678 475 €**	

Dans le cas où la deuxième option est retenue concernant la propulsion du navire, utiliser l'électricité pour la navigation pendant au moins 5 000 heures par an. Le poste 6 des opex du navire diminuerait à 320 000 €/an, et avec une diminution d'environ 30 000 € du poste 14 (amortissement de l'électrolyseur), les opex totales deviendraient **3 678 000 €/an.** Comme la production d'hydrogène diminuerait considérablement, le système serait encore sensiblement en équilibre avec le même tarif d'entrée, comme le présentent les deux tableaux 5 et 6 suivants.

Tableau 5 - Opex avec l'option 2

OPEX				
1	coûts d'exploitation des navires			
2	coût de l'assurance bateau			100 000 €
3	équipage d'avion	70 000 €	10	700 000 €
4	amortisation and financial charges	15 000 000 €	5.80%	870 000 €
5	maintenance	15 000 000 €	1.50%	225 000 €
6	coûts du carburant	320 000 €	1.4	448 000 €
7	coût des opérations maritimes	200 000 €	1	200 000 €
8	Total des coûts d'exploitation du navire			2 543 000 €

OPEX Usine de traitement des déchets		
10	Personnel	390 000 €
11	Maintenance	345 000 €
12	Consommables	150 000 €
13	Frais généraux	120 000 €
14	Amortissement de l'électrolyseur	40 000 €
15	Amortissement	90 000 €
16	Coûts totaux Usine de traitement des déchets	1 135 000 €
	Total OPEX (poste 8 + poste 16)	**3 678 000 €**

REVENU			
1	matériel de saisie	500	t/sett
2	droit d'entrée du matériel	127.40 €	€/kg
3	matériel d'entrée annuel	26 000	t/a
4	énergie annuelle produite	2310 000	kWh
5	H2 pouvant être produit par an	525 000	Nm^3/a
6	H2 pouvant être produit par an	46 725	kg/a
7	Prix de vente H2	7	€/kg
8	Prix de vente des cendres inertes	10	€/t
9	Frêne produit	3 900	t
10	Récupéré de . entrée	3 312 000 €	
11	Produits de la vente de H2	3 27 000 €	
12	vente de cendres inertes	39 000 €	
	Total des revenus	**3 678 000 €**	

6. CONCLUSIONS

Dans l'activité réalisée précédemment en faveur de l'Université de Cagliari, une installation pour l'élimination des plastiques avec une installation terrestre a été proposée.
Ici, l'idée d'installer le même système à bord d'un navire qui collecte les matériaux dans les différents ports et les traite à bord du même navire a été étudiée, indépendamment de la législation MARPOL qui, dans son état actuel, refuse une telle application.
En particulier, deux cas ont été comparés : le navire est propulsé de manière autonome avec un moteur diesel marin normal (option 1) ; la deuxième hypothèse formulée est celle d'un navire utilisant une partie de l'énergie produite pour la propulsion (option 2) et toujours un moteur lorsque l'énergie n'est pas disponible.
Pour les deux solutions, on a supposé que l'excédent d'énergie électrique disponible était utilisé pour la production d'hydrogène au moyen d'un électrolyseur.
Le système de l'usine embarquée figure toujours dans le bilan économique au même tarif d'entrée que les plastiques traités. La seule condition est de garantir un traitement des plastiques d'au moins 500 tonnes/semaine.

7. ANNEX - ELECTROLYSER SYSTEM

Électrolyseur MCphy

Modelli	Pressione (barg)	Portata nominale H2 (Nm3/h)	Classe di potenza	Consum. spec. DC a portata nominale (kWh/Nm3)
McLyzer 100-30	30	100	0,5 MW	4,5
McLyzer 200-30	30	200	1 MW	4,5
McLyzer 400-30	30	400	2 MW	4,5
McLyzer 800-30 (core-module Augmented McLyzer)	30	800	4 MW	4,5

Capacité de production d'un électrolyseur PEM(MCphy)

Nos équipements sont certifiés CE et sont conformes aux directives de l'Union européenne (directive sur les machines, basse tension, compatibilité électromagnétique, directive sur les équipements sous

pression). Conception conforme à la norme ISO 22734-1:2008.

RINA Consulting - Centro Sviluppo Materiali S.p.A.
Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA Consulting S.p.A.
Via di Castel Romano, 100 - 00128 Roma | P. +39 06 50551 | rinaconsulting@rinaconsulting.org | www.rinaconsulting.org
C.F. / R.I. Roma N. 00477510580 | P. IVA 00903541001 | Cap. Soc. € 1.050.000,00 i.v..