

PROJET
P.R.I.S.M.A.-MED
“PLAN DE GESTION DES DÉCHETS ET DES RÉSIDUS EN MER DE
PÊCHE, D'AQUACULTURE ET DE PLAISANCE EN MÉDITERRANÉE”

COMPOSANT T2.4 “ACTION PILOT FOCUS CONCHYLICULTURE
ÉCONOMIE CIRCULAIRE”

Produit T2.4.2 “Rapport final de caractérisation de la fraction inorganique”

Index

1. Prémisses.....	3
2. L'utilisation de coquilles de mollusques bivalves.....	3
Activités spécifiques	11
Utilisation des déchets à des fins techniques	13
3. Réflexions finales.....	17

1. Prémisse

Ce rapport met en évidence les caractéristiques de la fraction inorganique liée au traitement des déchets produits par les activités conchylocoles et leur potentielle utilisation alternative aux déchets actuels, permettant de nouvelles formes d'économie circulaire.

Dans le cadre du “**Action pilot focus conchyliculture - économie circulaire**”, l'objectif est d'assurer la valorisation de la fraction des déchets inorganiques des mollusques d'élevage (par exemple les moules) par leur réutilisation pour des productions innovantes.

2. L'utilisation de coquilles de mollusques bivalves

L'aquaculture est une source importante de protéines animales pour la consommation humaine, à travers les secteurs du poisson et des crustacés.

Dans le cadre de la conchyliculture, les espèces les plus utilisées dans le monde sont les moules (*Mytilus spp.*) et les huîtres (*Crassostrea spp.*).

La production mondiale de coquillages est concentrée dans quelques pays avec la Chine, à son tour, qui détient le record absolu (fig. 1)

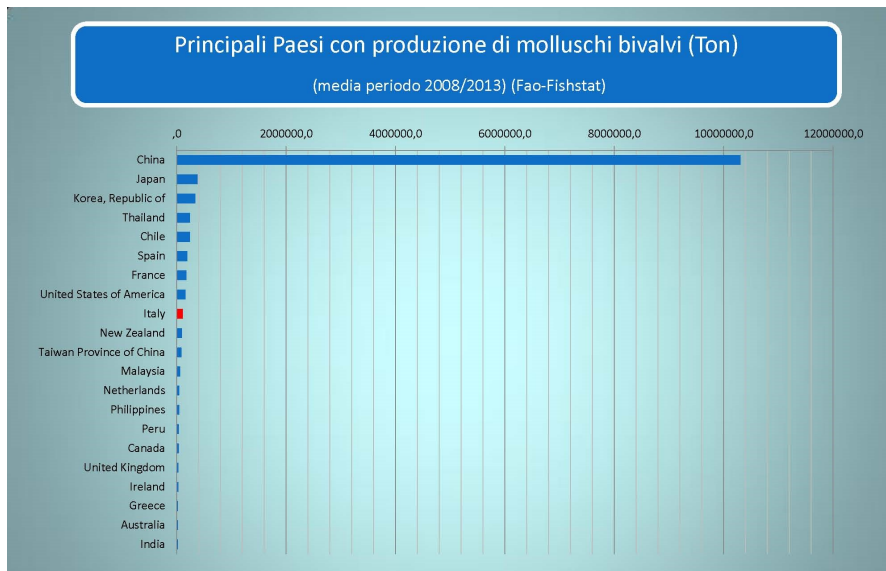


Fig. 1 - Production mondiale de mollusques bivalves, période 2008-2013 (Source : AMA - Mediterranean Aquaculture Association)

Au niveau européen, les trois principaux producteurs sont l'Espagne et l'Italie pour la mytiliculture et la France pour l'ostréiculture (Fig. 2).

Produzione di mitili in Europa e nel bacino del Mediterraneo (Ton)

(media periodo 2014/2016) (Fao-Fishstat)

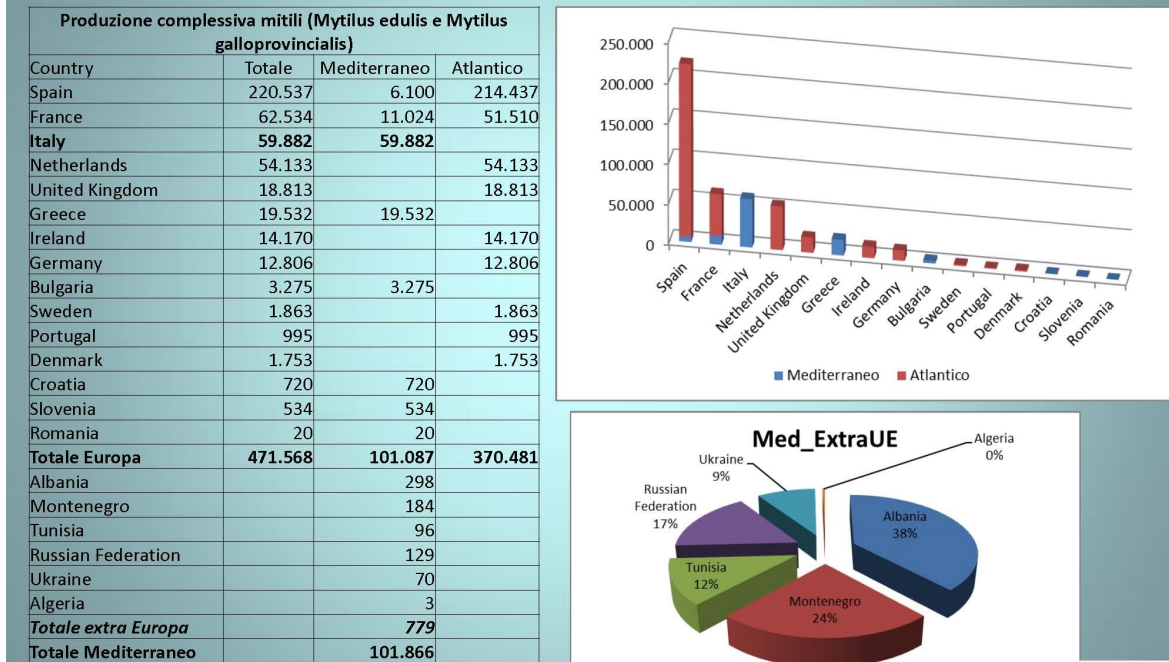


Fig. 2 - Production européenne de moules, période 2014-2016
(Source : AMA - Association Aquacole Méditerranéenne)

La production italienne d'huîtres n'est actuellement pas pertinente par rapport à d'autres pays européens, bien qu'il y ait eu une augmentation du nombre d'usines et de la production ces dernières années. En ce sens, la plupart des huîtres vendues en Italie sont importées (Fig. 3).

Les mollusques bivalves sont constitués pour une part importante de leur poids de coquilles (70-90%) et dans une moindre mesure de viande. La gestion des coquilles représente donc un problème en termes d'élimination, et actuellement cela passe dans la plupart des cas par leur gestion en tant que déchets.

Étant donné que leur élimination, principalement en tant que déchets non triés, génère des coûts environnementaux, au fil des années, plusieurs études ont montré que les coquilles de mollusques bivalves peuvent être destinées à de nouveaux usages, les excluant ainsi du cycle des déchets, dans une perspective d'économie circulaire.

Produzione di ostriche in Europa e nel bacino del Mediterraneo (Ton)

(media periodo 2014/2016) (Fao-Fishstat)

Ostrea edulis			
Country	Totale	Mediterraneo	Atlantico
France	1.298	19	1.005
Ireland	420		470
Spain	525	7	427
Netherlands	204		360
United Kingdom	75		25
Croatia	32	49	
Totale Europa	2.555	76	2.286
Montenegro		7,0	
Totale extra Europa		7,0	
Totale Mediterraneo		83	

Crassostrea spp.			
Country	Totale	Mediterraneo	Atlantico
France	67.296	4.136	63.160
Ireland	8.532		8.532
Netherlands	2.862		2.862
United Kingdom	1.843		1.843
Portugal	557		557
Spain	2.157	314	1.843
Germany	80		80
Italy	186	186	
Totale Europa	83.512	4.637	78.875
Russian Federation		45	
Tunisia		30	
Totale extra Europa		75,3	
Totale Mediterraneo		4.712	

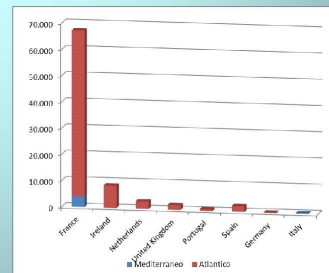
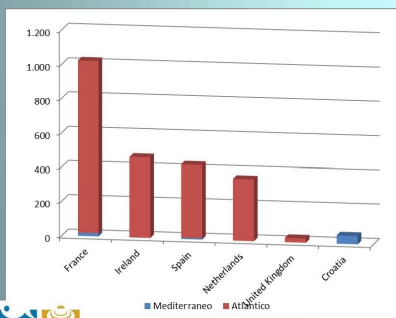


Fig. 3 - Production ostréicole européenne, période 2014-2016
(Source : AMA - Association Aquacole Méditerranéenne)

La coquille des mollusques bivalves est principalement composée de carbonate de calcium (90-95%), de phosphate de calcium et d'une protéine spécifique, la conchioline (ou conchine).

Plusieurs études internationales ont montré que les coquilles de mollusques bivalves peuvent être utilisées pour différents usages.

Une étude brésilienne a montré que le carbonate de calcium des coquilles d'huîtres et de moules a des caractéristiques similaires, en termes de composition et de propriétés mécaniques, à celles du carbonate de calcium commercial, dans ce cas précis ajouté au polypropylène lors de l'extrusion¹.

Les caractéristiques physico-chimiques de la structure de la coque ont été mieux mises en évidence à travers diverses études internationales, dont une récente indienne a mis en évidence sa complexité structurelle, ainsi que les multiples opportunités de son utilisation².

Cette étude a conduit à mettre en évidence que la microstructure des coquilles grâce au processus de biominéralisation du calcium sous forme de carbonate de calcium. Cette microstructure reste constante même à

¹ Characterization of calcium carbonate obtained from oyster and mussel shells and incorporation in polypropylene

(<https://www.scinapse.io/papers/2145039995>) - 2010

² An insight into the structure, composition and hardness of a biological material: the shell of freshwater mussels –2020 – (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra04271d#cit3>)

une échelle dimensionnelle très faible (quelques nanomètres) tout en lui conférant une stabilité structurelle, elle exerce une action efficace en tant que bioabsorbant.

A partir d'une étude publiée dans "Nature Communications"³, dans le cadre d'une recherche visant à démontrer l'influence de l'acidification de la mer sur la construction de la coquille des mollusques bivalves, il a été possible de vérifier que les moules commencent à former leur coquille dès le premier jour et le calcium ne se forme pas intracellulairement, comme on le pensait auparavant, mais est plus probablement extrait de l'eau de mer et transporté par des protéines spécifiques avant la formation du carbonate de calcium. Alors que les mécanismes qui conduisent à la transformation du calcium soluble dans la mer en un élément insoluble sous forme de carbonate de calcium ne sont pas encore connus.

Une étude intéressante réalisée par l'Université de Ferrare pour le Flag Costa dell'Emilia Romagna⁴, a montré que les coquilles de mollusques bivalves (dans le cas de l'étude "Capulerio"), composées de carbonate de calcium sous forme de calcite, peuvent avoir, lorsqu'il est finement broyé, une bonne capacité d'absorption contre les métaux lourds, ainsi qu'une action correctrice efficace sur la correction du pH (diamètres inférieurs à 1 mm).

Les coquilles de bivalves ont été convenablement traitées et broyées (en laboratoire) pour les réduire en particules de quelques millimètres.

La caractérisation comprenait:

1) l'analyse chimique du matériau avec quantification des composants majoritaires et minoritaires au niveau des traces pour identifier la présence éventuelle de contaminants. Le matériau traité a également dû être caractérisé pour définir sa structure, sa morphologie et ses dimensions, paramètres qui affectent son efficacité en tant qu'amendement de sol et adsorbant ;

2) effectuer des tests écotoxicologiques pour vérifier l'aptitude du matériau traité à être utilisé dans l'environnement. Les tests devaient être menés à l'aide d'un organisme sentinelle (Joel, *Atherina boyeri*) identifié à partir d'études précédentes.

Pour évaluer son utilisation comme amendement de sol, les coquillages traités ont été déposés sur un substrat de matériau sédimentaire très boueux et limoneux.

Pour évaluer l'efficacité des coquilles de bivalves en tant qu'amendement ou bioadsorbant, des analyses qualitatives et quantitatives ont été réalisées sur le matériau pour le caractériser chimiquement et structurellement. Les coquilles, après un traitement approprié de lavage et de séchage, ont été finement broyées.

Le matériau, en plus de la composition en calcium égale à environ 38%, présentait une contamination en métaux lourds insignifiante, ceci afin de pouvoir les utiliser dans les tests d'adsorption de celui-ci. Le carbonate de calcium constituant la coquille est principalement sous forme de calcite.

Le déchiquetage des coquilles a donné des dimensions variables allant de 100 à 600 micromètres.

³ Mussel larvae modify calcifying fluid carbonate chemistry to promote calcification (Kirti Ramesh, Marian Y. Hu, Jörn Thomsen, Markus Bleich & Frank Melzner - 2017) - <https://www.nature.com/articles/s41467-017-01806-8>

⁴ Capulerio da rifiuto a risorsa: Capulerio di scarto per la sostenibilità ambientale e il benessere animale in acquacultura (<http://www.flag-costaemiliaromagna.it/wp-content/uploads/Relazione-scientifica-studio-UNIFE.pdf>)

Les tests de laboratoire pour l'évaluation de la cinétique de dissolution du CaCO_3 et l'adsorption du cadmium ont montré que le carbonate de calcium en solution d'acide carbonique a une bonne cinétique de dissolution des ions calcium avec restauration simultanée du pH et donc une action tampon efficace. L'action d'adsorption du cadmium des coquilles déshydratées a également été confirmée par la réutilisation de la poudre, bien que l'efficacité soit réduite à 70 %. La même efficacité a également été démontrée avec d'autres métaux lourds.

L'étude a donc permis de démontrer que les coquilles de mollusques bivalves, en l'occurrence le capulero, peuvent être utilisées dans des systèmes de remédiation environnementale.

Une autre étude coréenne a évalué les effets de l'utilisation de coquilles d'huîtres comme matériau calcaire sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et sur la productivité du chou chinois⁵.

L'augmentation des doses de farine de coquilles d'huîtres sur deux types de sols, limoneux et sableux, avant le repiquage du chou, a entraîné une amélioration significative du pH, favorisant l'augmentation de la matière organique et du phosphore disponible. En fait, l'amélioration du pH du sol et de l'état des nutriments a augmenté de manière significative les concentrations de C et N de la biomasse microbienne et a stimulé les activités des enzymes du sol, entraînant finalement une plus grande productivité des cultures.

Une autre étude conjointe coréenne et américaine a montré que des coquilles d'huîtres bien chauffées peuvent être utilisées efficacement dans le traitement des eaux usées⁶. Les coquilles d'huîtres sont un déchet de la mariculture qui présente un grave problème d'élimination dans les régions côtières telles que la Corée du Sud-Est, bien qu'une partie considérable d'entre elles soit déjà utilisée comme nourriture dans la volaillerie et comme amendement du sol et matériau inerte pour le stade de dépôt des larves. L'étude a révélé que la pyrolyse des déchets de coquilles d'huîtres dans des conditions définies (750 °C pendant 1 heure dans une atmosphère d'azote) transforme ce matériau en un réactif durable pour une élimination efficace (jusqu'à 98 %) des phosphates des eaux usées.

En comparaison, les coquilles d'huîtres crues n'éliminaient presque pas de phosphate de l'eau, tandis que les coquilles d'huîtres chauffées à 750 °C dans une atmosphère d'air éliminaient un pourcentage modéré (jusqu'à 68%) de phosphates de l'eau. L'analyse par diffraction des rayons X (XRD) des coquilles d'huîtres pyrolysées a montré des pics caractéristiques de l'oxyde de calcium, tandis que l'analyse des coquilles d'huîtres brutes a montré des pics caractéristiques du carbonate de calcium. La morphologie de surface des coquilles d'huîtres pyrolysées différait également de celle des coquilles d'huîtres brutes. Une analyse de faisabilité économique préliminaire indique que le coût des coquilles d'huîtres activées est compétitif par rapport à d'autres produits chimiques de traitement des eaux usées.

⁵ Effects of oyster shell on soil chemical and biological properties and cabbage productivity as a liming materials. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X08000068?via%3Dihub>) - 2008

⁶ Recycling waste oyster shells for eutrophication control (https://www.researchgate.net/publication/222673148_Recycling_Waste_Oyster_Shells_for_Eutrophication_Control) - 2003

Un récent travail conjoint des universités de Belgrade et du Monténégro rassemble toutes les applications possibles dans l'utilisation des coquillages désormais considérés comme des déchets⁷.

L'étude met en évidence à quel point les coquilles de mollusques dans le monde sont un problème en termes de déchets, mais en même temps, elles représentent une opportunité lorsqu'elles sont évaluées au regard de leurs multiples utilisations potentielles (Fig. 4).



Fig. 4. Applications possibles à partir des déchets de coquillages

L'ouvrage met en évidence comment les coquilles de mollusques peuvent aujourd'hui être considérées à juste titre comme une grande ressource environnementale :

- a) **comme élément de conditionnement du sol**; son utilisation en agriculture comme élément calcifiant a été amplement démontrée, avec une amélioration du pH, de la matière organique du sol, du phosphore disponible, des concentrations en cations échangeables et des propriétés chimiques et biologiques du sol, ainsi qu'une plus grande productivité;
- b) **en tant qu'élément adsorbant de métaux lourds** ; par exemple, il favorise la réduction du cuivre dans les vignobles ou du plomb dans les sols des champs de cuisson des adsorbants de métaux lourds (ex : réduction de la concentration en cuivre dans les vignobles);
- c) **comme catalyseur** pour la production de biodiesel sous forme de CaO (par exemple, biodiesel à partir de la plante *Camelina sativa*. Fig. 5). Son utilisation gagne du terrain également grâce au faible coût de production;

⁷ Recent trends in application of shell waste from mariculture (<http://www.studiamarina.ac.me/pdf/32/Recent%20trends%20in%20application%20of%20shell%20waste%20from%20mariculture.pdf>) – 2019



Fig. 5. Utilisation de coquilles d'huîtres pour la production de biodiesel à partir de *Camelina sativa*

- comme séparateur de polluants des eaux usées et de l'air;** les coques convenablement traitées sont traitées pour l'élimination des colorants, pour l'élimination des métaux toxiques et des radionucléides, ou pour résoudre les problèmes d'eutrophisation de l'eau ou pour la réduction des gaz SO_2 et NO_x ;
- comme matériau de construction;** les coquillages ont été utilisés dans la construction dans de nombreux établissements côtiers du monde entier. Le béton constitué de coques traitées thermiquement mélangées à du sable, de l'eau, des cendres et des coques brisées est connu sous le nom de Tabby (Fig. 6); de nombreux auteurs ont exploré l'utilisation potentielle des déchets de coquilles dans le béton en termes de leur réutilisation en remplacement des matériaux conventionnels, tels que le ciment, le sable et la fraction de granulats grossiers. Parmi les diverses utilisations, la reconstitution de récifs marins artificiels visant à la fois le repeuplement de l'espèce, mais aussi le confinement de l'érosion côtière, fait l'objet d'études et d'expérimentations minutieuses (Fig. 7).



Fig. 6. Exemples de constructions avec des coquilles de mollusques (Tabby)



Fig. 7. Récifs artificiels faits de coquilles d'huîtres

- a) **comme supplément minéral de calcium;** l'utilisation de compléments minéraux à base de coquilles de mollusques en aviculture (poules pondeuses) est désormais bien établie ; la limite de cette utilisation est donnée par la nécessité de stocker de grandes quantités de matière première pour leur utilisation afin de pouvoir contenir les coûts. Cette pratique est donc limitée par l'obligation d'avoir de grandes exploitations d'élevage à proximité.
- d) **Autres utilisations;** de nombreux usages ont été étudiés au fil des années et à titre expérimental, ce qui représentera certainement, au moins pour certains d'entre eux, de nouvelles opportunités pour l'économie circulaire dans un avenir proche ; Certains d'entre eux sont énumérés ci-dessous :
- comme charge minérale dans les polymères, sous forme de carbonate de calcium, alternative à la charge commerciale,
 - comme agent antibactérien,
 - comme produit de déglacage écologique à distribuer dans les rues,
 - comme drain pour l'excès d'eau dans les "toits verts",
 - en cosmétique comme exfoliant,
 - dans les applications biomédicales (ingénierie et augmentation osseuse) et la chirurgie orthopédique.

De tout ce qui précède, il est clair que la gestion des coquilles de mollusques bivalves doit être considérée comme une grande opportunité dans une perspective d'économie circulaire et plus encore que ce qui est envisagé dans le projet P.R.I.S.Ma-Med.

Activités spécifiques

Dans le cadre du **“Action pilot focus conchyliculture - économie circulaire”**, les activités sont menées dans la région d'Olbia, impliquant les conchyliculteurs locaux et l'ISS « Amsicora » d'Olbia, avec ses deux instituts, l'Institut Technique Agricole et Professionnel Institut.

Des questionnaires ont été préalablement administrés aux conchyliculteurs opérant dans le golfe d'Olbia et un dans la lagune de San Teodoro, pour évaluer le type de déchets produits par la conchyliculture en mettant l'accent sur le traitement des déchets et leur destination.

Environ 50% des opérateurs traitent aujourd'hui les déchets comme des déchets, mais les 50% restants les rejettent toujours à la mer.

La quantité moyenne de déchets de traitement est d'environ 3 à 5 % de la production totale.

Les déchets issus de la transformation des coquillages, principalement des moules, proviennent de trois étapes du processus de production.

- 1) Sélection du produit récolté en mer.
- 2) Sélection du produit lors de la phase "d'égrenage" à quai. Dans ce cas la sélection sépare les filets en plastique des moules et ces dernières sont séparées les unes des autres, éliminant le byssus. Dans cette phase, les opérateurs excluent manuellement les moules non conformes (cassés, fêlés, ouverts, vides, etc.) du processus avant la prochaine phase de purification.
- 3) Sélection du produit après purification et avant la phase de conditionnement, à l'exclusion des moules non conformes (cassés, fêlés, ouverts, vides...).

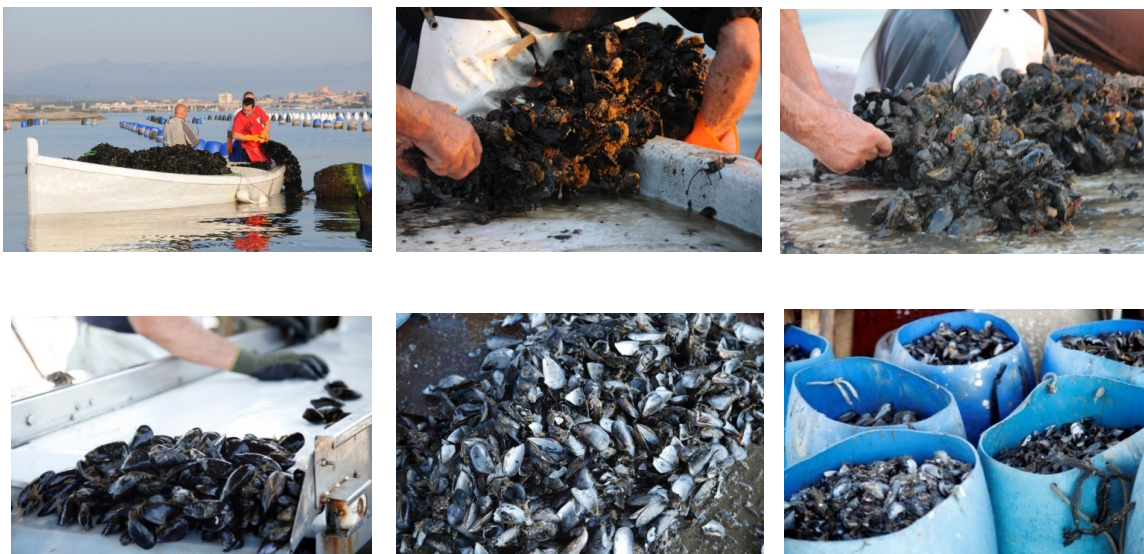


Fig. 8. Étapes de la production de moules et du traitement des déchets.

Il ressort des questionnaires administrés aux producteurs que les quantités moyennes de déchets produits sont variables et oscillent entre 100 et 200 kg/jour en fonction de la taille de l'entreprise et de la saisonnalité.

Le projet, sous une forme expérimentale, prévoit d'affecter ces déchets à d'autres usages, principalement à des usages agricoles comme amendement des sols et à des usages techniques pour la construction d'artefacts, à réaliser au sein des deux écoles techniques et professionnelles de l'IIS "Amsicora di Olbia" et dans une entreprise agricole locale et à cet effet, un **protocole d'accord** a été signé entre le Flag NS, l'IIS Amsicora et Coldiretti de la province de Sassari.

Les déchets de traitement issus de la mytiliculture dans le Golfe d'Olbia sont principalement constitués de coquilles de mollusques bivalves, principalement des moules. Ceux-ci ont été analysés en envoyant un échantillon représentatif à l'IZSPLV, celui-ci a été pressé et haché afin d'obtenir un hachis homogène qui a été en partie analysé et en partie congelé à -20°C.

L'analyse microbiologique et chimique a été réalisée sur l'échantillon, dans le cadre de la caractérisation de la fraction organique des produits de la pêche et de l'aquaculture où la conformité du produit a été constatée pour les deux usages zootechniques (par exemple compléments pour l'industrie de l'alimentation animale), et à la fois pour d'autres usages.

Les déchets seront collectés dans une coopérative de production appartenant au Consorzio Molluschicoltori d'Olbia, où un broyeur d'une capacité horaire d'environ 250 kg / heure a été installé (produit I 7.1.1). Le produit broyé est collecté dans des bacs d'une capacité d'environ 1 m³ et transporté vers l'institut technique agricole (fig. 9) et l'entreprise agricole affiliée (fig. 10), où il est stocké puis distribué dans le sol. Une partie des déchets ne sera pas broyée, mais distribuée comme toujours au sein de l'institut technique agricole, sur des sols particulièrement dégradés et présentant une stagnation d'eau importante afin d'améliorer sa structure et sa capacité de drainage.



Fig. 9. Vue aérienne de l'Institut Technique Agricole d'Olbia

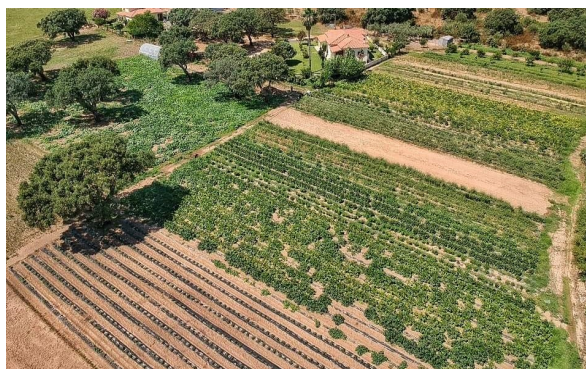


Fig. 10. Vue aérienne de l'entreprise agricole affiliée

Les terrains où le broyat sera incorporé sont subacides et destinés à l'horticulture et l'usage sera exclusivement celui d'amendement des sols.

Les quantités totales à répartir dans le sol sur une base annuelle sont d'environ 135 ql, réparties sur un peu plus de 2 hectares : 70 ql sur environ un hectare de sol dégradé et environ 5 ql sur environ 1.500mq destinés à

l'horticulture à l'institut technicien agricole, et 60 ql sur environ un hectare de terrain destiné à l'horticulture à l'entreprise privée.

Malheureusement, les événements pandémiques liés au Covid ont fortement ralenti l'activité expérimentale, du fait de l'absence prolongée des élèves aux cours en présentiel de l'année scolaire 2020-21, donc l'expérimentation se poursuivra sur la période estivale 2021. Pour des raisons similaires, l'activité chez l'entreprise privée a subi de sévères ralentissements, et l'expérimentation devrait également redémarrer au cours de la période estivale 2021.

Cependant, cet inconvénient va permettre l'accumulation de déchets à la fois tels quels et broyés, précisément à l'occasion de leur production maximale, en période printemps-été. En ce sens, une autre société de production s'est également rendue disponible pour vendre des déchets de traitement à des fins de broyage et de réutilisation.

Il est également important de rappeler que pour être utilisés, ces déchets doivent être exclus du cycle des déchets et traités comme des **sous-produits animaux** (SPA), en leur attribuant une certaine destination et utilisation, dans notre cas une utilisation agricole et technique.

Un aspect important est la quantité de déchets produits en un an au niveau local. En effet, le Consorzio Molluschicoltori d'Olbia, titulaire des concessions de l'Etat pour la conchyliculture, est actuellement composé de 18 coopératives de production, et il existe 3 centres d'épuration (CDM). La production moyenne de coquillages ces dernières années à Olbia était d'environ 35.000 ql. D'après les informations recueillies auprès des producteurs sur le pourcentage de déchets produits (3-5%), ils représentent une part variable entre 1.000 et 1.750 ql/an en moyenne.

Ainsi, l'utilisation expérimentale d'environ 150 ql de déchets sur deux surfaces distinctes ne peut prétendre résoudre le problème de la valorisation de la totalité de la production annuelle locale, mais elles fournissent certainement des informations utiles pour des usages futurs plus cohérents. En ce sens, en effet, il suffirait de répartir les déchets annuellement sur environ 10 à 15 hectares de terres agricoles en rotation, pour éliminer cette partie du produit du cycle des déchets, au moins localement.

Utilisation des déchets à des fins techniques

Une partie minimale des déchets de transformation des coquillages sera utilisée par l'école professionnelle pour la création d'artefacts.

Les produits fabriqués sont constitués d'un matériau composite obtenu en mélangeant des coquilles déchetées de mollusques bivalves de granulométrie différente avec de la résine époxy et avec un composant catalyseur aminé à base de triéthylamine qui favorise le durcissement et améliore ses propriétés de dureté et de résistance. .

Dans le laboratoire de l'école, des moules ont été réalisés, principalement en silicone, à partir d'une matrice polymère réalisée avec une imprimante 3D.

Les coquilles sont nettoyées avec des flux d'eau sous pression, séchées à l'air ou avec un flux d'air ou tout traitement thermique afin d'éliminer toutes les parties organiques résiduelles présentes. Après séchage, les coquilles sont encore vérifiées et nettoyées de tout résidu organique restant.

Les pourcentages d'utilisation des différents composants dans le produit final et leur poids spécifique sont indiqués dans le Tableau 1. Certaines valeurs sont estimées car l'école n'a pas fourni toutes les informations techniques sur le produit en tant que définition d'un brevet protégeant sa composition. Les valeurs indiquées dans le tableau sont donc proches de la réalité, mais elles doivent encore aujourd'hui être considérées comme une estimation suffisamment fiable. Le poids spécifique de la pulpe est estimé, le considérant comparable au poids spécifique du sable.

	Déchetée	Résine époxy	Catalyseur amine
Poids spécifique [g/cm ³]	1,5* (estimé)	1,15	1
Pourcentage en poids[%]	75	15,62	9,38

Tableau 1. Pourcentages d'utilisation des différents composants dans le produit final et leur poids spécifique

Le rapport entre les coquilles broyées et la résine est variable, mais normalement il est de 3: 1/4:1, cela dépend de la granulométrie des broyées et du type de coquilles utilisées (moules, huîtres, palourdes), ainsi que du type de produit à réaliser.

Le produit décheté est tamisé et séparé en fonction du degré de finesse pour l'attribuer aux différents types d'artefacts à réaliser. Les dimensions sont cependant comprises entre 1 et 5 mm. Il n'a pas été possible de produire des produits déchetés plus petits que ces dimensions en raison de la limite technique du broyeur dont l'école est équipée (fig. 11).



Fig. 11. Granulométrie des coquilles de moules déchetées

Par la suite le broyé a été mélangé lentement avec la résine, de manière à le rendre homogène, en évitant d'incorporer de l'air.

Le séchage du composé a lieu dans un endroit sec à température ambiante.

Le produit fabriqué est ductile, résistant aux acides, tandis que la résistance à la compression, à la traction et à la chaleur doit encore être évaluée.

S'il est utilisé sur des moules fabriqués à partir de matrices réalisées avec l'impression 3D, il est possible d'inventer et de fabriquer n'importe quel objet ; cette opportunité peut également ouvrir des opportunités dans la création d'objets de conception, d'objets ou même de composants d'objets.

La figure 12 ci-dessous montre la procédure de fabrication d'un artefact à l'aide de deux types de coquilles (moules et palourdes) à partir de l'impression 3D de la matrice.

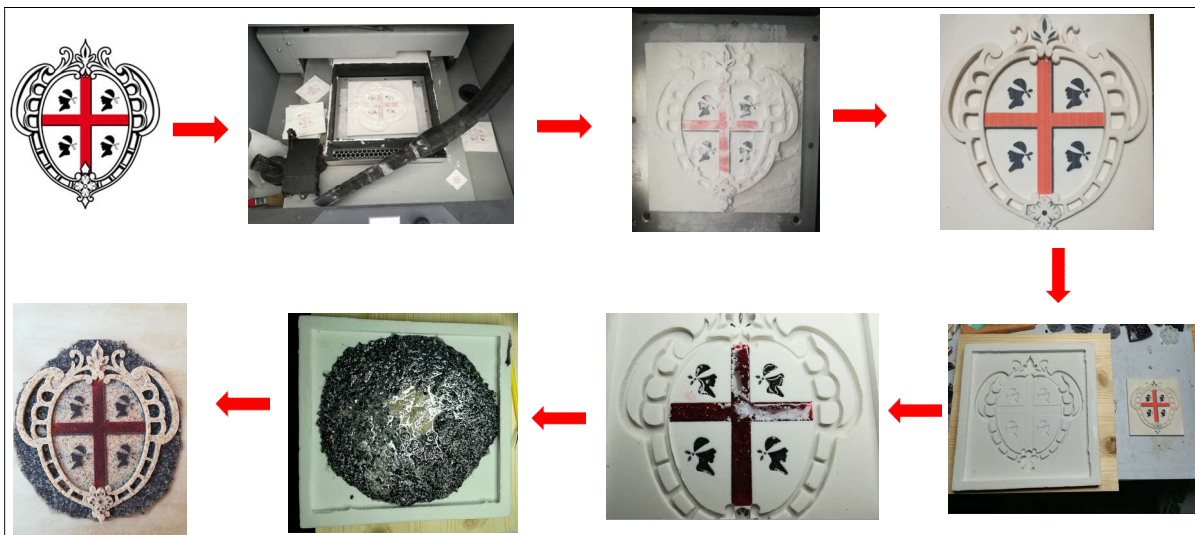


Fig. 12. Réalisation d'un artefact à partir d'une matrice imprimée en 3D.

Le produit se prête à la production de divers artefacts, tels que des plaques pour couvrir des surfaces de différents formats (Figure 13).



Fig. 13. Produits à base de coquilles de moules et de palourdes

3. Réflexions finales

Le projet pilote focus conchyliculture, bien que limité dans ses opérations en raison des événements concomitants liés à la pandémie Sars-Cov-2, a mis en évidence le bien-fondé de l'utilisation des déchets de production des activités conchyliques tant dans le domaine agricole que dans le domaine technique innovant, dans une optique d'économie circulaire, surtout si le test expérimental sera suivi de la récupération de grandes quantités de produit, de manière à éviter sa destination aux déchets, en lui redonnant une nouvelle vie à la fois comme sous-produits animaux (SPA), et en tant que deuxième matière première; et c'est ici que se pose le défi d'exclure du cycle des déchets précisément la fraction sèche déterminée aujourd'hui par l'utilisation des coquillages dans la consommation quotidienne.

En effet, si l'on considère qu'environ 90 % du poids des mollusques est déterminé par les coquilles, et que la production d'Olbia à elle seule pourrait garantir l'utilisation comme amendement de sol des coquilles broyées sur une superficie agricole comprise entre 150 et 250 hectares/an, la superficie agricole nationale sur laquelle intervenir pourrait être supérieure à 6 000 hectares/an, la valeur du projet est perçue aussi en termes d'impact environnemental sur le cycle des déchets, mais aussi sur le confinement, par remplacement, des l'utilisation d'autres amendements ayant des caractéristiques similaires (par exemple la chaux agricole), avec une économie supplémentaire des ressources naturelles..

Le projet pilote, non encore achevé, pourra à l'avenir confirmer les premières données sur son utilisation effective en agriculture, comme déjà souligné dans diverses études nationales et internationales, tandis que sur l'utilisation du matériau dans la fabrication de produits à base de coquilles déshiquetées et volonté de résine Il est nécessaire d'étudier le degré de résistance à la traction et à la compression mécaniques et à la chaleur.