

**PROGETTO  
P.R.I.S.M.A.-MED  
“PIANO RIFIUTI E SCARTI IN MARE DI PESCA, ACQUACOLTURA E DIPORTO  
NEL MEDITERRANEO”**

**COMPONENTE T2.4 “Progetto Pilota focus molluschicoltura  
- circular economy”**

**Prodotto T2.4.2 “Rapporto finale di caratterizzazione della frazione inorganica”**

## Indice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Premessa .....</b>                                 | <b>3</b>  |
| <b>L'impiego dei gusci di molluschi bivalvi .....</b> | <b>3</b>  |
| Attività specifiche .....                             | 11        |
| Impiego degli scarti per usi tecnici .....            | 13        |
| <b>Conclusioni .....</b>                              | <b>17</b> |

## 1. Premessa

Il presente rapporto evidenzia le caratteristiche della frazione inorganica relativa agli scarti di lavorazione prodotti dalle attività di molluschicoltura e la loro potenziale destinazione d'uso alternativa a quella attuale di rifiuti, prevedendo nuove forme di economia circolare.

Nell'ambito del “**Progetto pilota focus molluschicoltura – circular economy**” ci si prefigge l'obiettivo di garantire il recupero della frazione inorganica di scarto dei molluschi di allevamento (es. mitili) attraverso il loro riutilizzo per produzioni innovative.

## 2. L'impiego dei gusci di molluschi bivalvi

L'acquacoltura è un'importante fonte di proteine animali per il consumo umano, sia attraverso il settore della piscicoltura, sia della molluschicoltura.

Nell'ambito della molluschicoltura le specie maggiormente impiegate a livello mondiale sono i mitili (*Mytilus spp.*) e le ostriche (*Crassostrea spp.*).

La produzione mondiale di molluschi si concentra in pochi paesi con la Cina, a sua volta, che ne detiene il primato assoluto (fig. 1)

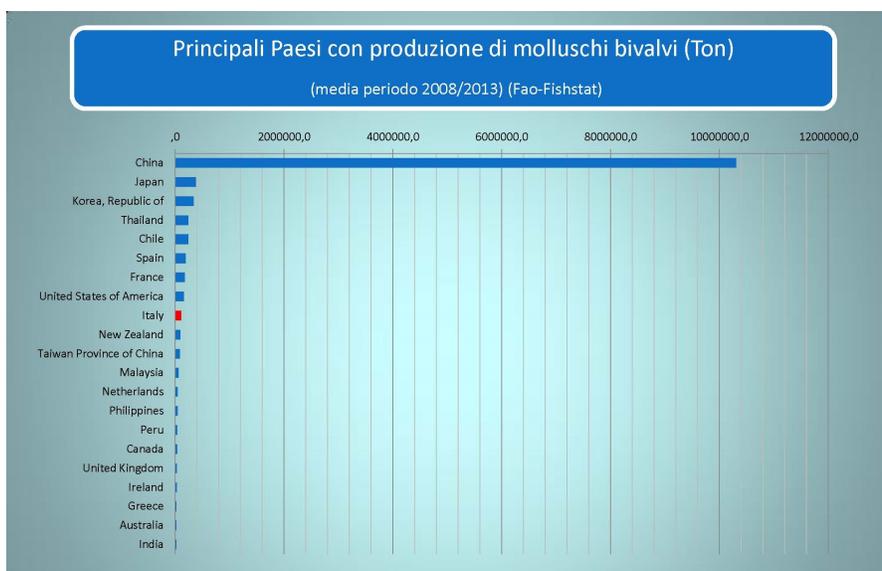
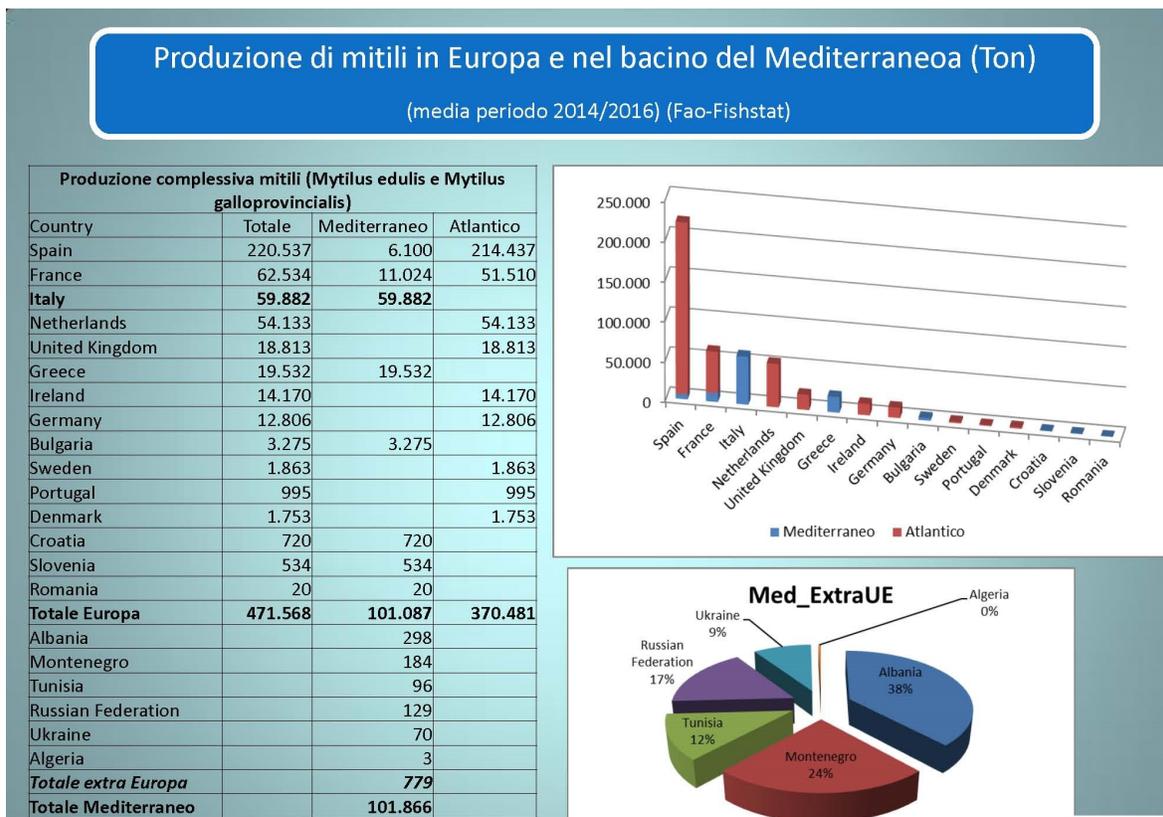


Fig. 1 - Produzione mondiale di molluschi bivalvi, periodo 2008-2013 (Fonte: AMA – Associazione Mediterranea Acquacoltori)

A livello europeo i tre principali produttori sono la Spagna e l'Italia per la mitilicoltura e la Francia per la ostricoltura (Fig. 2).



**Fig. 2 - Produzione europea di mitili, periodo 2014-2016**  
 (Fonte: AMA – Associazione Mediterranea Acquaoltori)

La produzione italiana di ostriche è attualmente irrilevante se paragonata ad altri paesi europei, seppure vi sia stata negli ultimi anni un incremento del numero di impianti e di produzione. In tal senso la maggior parte delle ostriche vendute in Italia è di importazione (Fig. 3).

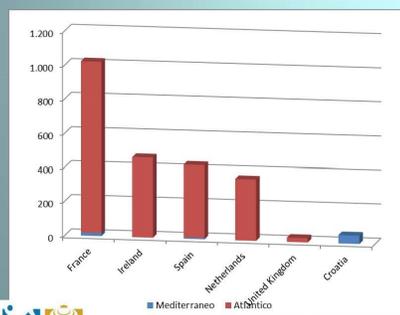
I molluschi bivalvi sono costituiti per una parte rilevante del loro peso dai gusci (70-90%) e in misura minore dalla carne. Pertanto la gestione dei gusci rappresenta un problema in termini di smaltimento, ed attualmente questo avviene nella maggior parte dei casi attraverso la loro gestione come rifiuti.

Poiché il loro smaltimento, in prevalenza come rifiuto indifferenziato, genera dei costi ambientali, nel corso degli anni vi sono stati diversi studi che hanno dimostrato che i gusci di molluschi bivalvi possono essere destinati a nuovi impieghi, escludendoli pertanto dal ciclo dei rifiuti, in un'ottica di economia circolare.

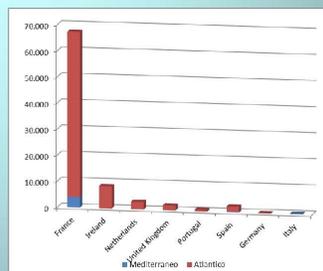
### Produzione di ostriche in Europa e nel bacino del Mediterraneo (Ton)

(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           |              |
| <b>Totale Europa</b>       | <b>2.555</b> | <b>76</b>    | <b>2.286</b> |
| Montenegro                 |              | 7,0          |              |
| <b>Totale extra Europa</b> |              | <b>7,0</b>   |              |
| <b>Totale Mediterraneo</b> |              | <b>83</b>    |              |



| 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          |               |
| <b>Totale Europa</b>       | <b>83.512</b> | <b>4.637</b> | <b>78.875</b> |
| Russian Federation         |               |              | 45            |
| Tunisia                    |               |              | 30            |
| <b>Totale extra Europa</b> |               | <b>75,3</b>  |               |
| <b>Totale Mediterraneo</b> |               | <b>4.712</b> |               |



**Fig. 3 - Produzione europea di ostriche, periodo 2014-2016**  
(Fonte: AMA – Associazione Mediterranea Acquaoltori)

Il guscio dei molluschi bivalvi è composto in prevalenza da carbonato di calcio (90-95%), fosfato di calcio ed una specifica proteina, la conchiolina (o conchina).

Diversi studi internazionali hanno dimostrato che i gusci di molluschi bivalvi possono essere impiegati per diversi usi.

Uno studio brasiliano ha dimostrato che il carbonato di calcio proveniente dai gusci di ostrica e cozza presenta caratteristiche simili, per composizione e proprietà meccaniche, a quelle del carbonato di calcio commerciale, nel caso specifico aggiunto al polipropilene in fase di estrusione<sup>1</sup>.

Le caratteristiche chimico-fisiche della struttura del guscio sono state meglio evidenziate attraverso diversi studi internazionali, di cui uno recente indiano ne ha evidenziato la complessità strutturale, oltre a rilevare le molteplici opportunità del suo impiego<sup>2</sup>.

Tale studio ha portato ad evidenziare che la microstruttura dei gusci grazie al processo di biomineralizzazione del calcio sotto forma di carbonato di calcio. Tale microstruttura si mantiene costante anche su bassissima scala

<sup>1</sup> Characterization of calcium carbonate obtained from oyster and mussel shells and incorporation in polypropylene (<https://www.scinapse.io/papers/2145039995>) - 2010

dimensionale (pochi nanometri) oltre a dare stabilità strutturale agli stessi, svolge una efficace azione come bioassorbente.

Da uno studio pubblicato su “Nature Communications”<sup>3</sup>, nell’ambito di una ricerca volta a dimostrare l’influenza dell’acidificazione del mare sulla costruzione del guscio dei molluschi bivalvi, si è potuto verificare che le cozze cominciano a formare il loro guscio ad appena un giorno di vita ed il calcio non si forma a livello intracellulare, come si pensava in precedenza, ma più probabilmente viene estratto dall’acqua del mare e trasportato per mezzo di specifiche proteine prima che si formi il carbonato di calcio. Mentre i meccanismi che portano alla trasformazione del calcio solubile in mare in un elemento insolubile sotto forma di carbonato di calcio non è ancora noto.

Un interessante studio effettuato dall’Università di Ferrara per conto del Flag Costa dell’Emilia Romagna<sup>4</sup>, ha dimostrato che i gusci di molluschi bivalvi (nel caso di studio il Capulerio), composti da carbonato di calcio sotto forma di calcite, possono avere, quando triturati finemente, una buona capacità assorbente nei confronti dei metalli pesanti, oltre a svolgere un efficace azione ammendante sulla correzione del pH (diametri inferiori a 1 mm).

I gusci di bivalvi sono stati opportunamente trattati e macinati (in laboratorio) per ridurli in particelle di pochi millimetri.

La caratterizzazione prevedeva:

- 1) l’analisi chimica del materiale con quantificazione sia dei componenti maggioritari che di quelli minoritari a livello di tracce per individuare l’eventuale presenza di contaminanti. Il materiale trattato doveva essere inoltre caratterizzato per definirne la struttura, la morfologia e le dimensioni, parametri che incidono sulla sua efficienza come ammendante e adsorbente;
- 2) la realizzazione di test ecotossicologici per verificare l’idoneità del materiale trattato all’impiego in ambiente. I test dovevano essere condotti utilizzando un organismo sentinella (acquadella, *Atherina boyeri*) individuato da studi precedenti.

Per valutarne l’impiego come ammendante i gusci trattati sono stati depositati su un substrato di materiale sedimentario molto fangoso e limoso.

Per valutare l’efficienza dei gusci di bivalvi come ammendante o bioadsorbente sono state fatte delle analisi qualitative sul materiale per caratterizzarlo chimicamente e strutturalmente.

I gusci dopo un opportuno trattamento di lavaggio ed essiccazione, sono stati triturati finemente.

---

<sup>2</sup> 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>)

<sup>3</sup> 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>

<sup>4</sup> 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>)

Il materiale, oltre alla composizione in calcio pari a circa il 38%, presentava una contaminazione in metalli pesanti non significativa, ciò al fine di poterli utilizzare nelle prove di adsorbimento degli stessi. Il carbonato di calcio costituente il guscio è in forma prevalente di calcite.

La triturazione dei gusci ha determinato dimensioni variabili e comprese tra 100 e 600 micrometri.

Le prove di laboratorio per la valutazione delle cinetiche di scioglimento del  $\text{CaCO}_3$  e di adsorbimento del cadmio hanno dimostrato che il carbonato di calcio in soluzione di acido carbonico ha una buona cinetica di scioglimento degli ioni calcio con contestuale ripristino del pH e quindi efficace azione tampone. L'azione adsorbente al cadmio dei gusci triturati è stata anche confermata riutilizzando la polvere, seppur l'efficacia sia ridotta al 70%. La stessa efficacia è stata dimostrata anche con altri pesanti.

Lo studio pertanto ha permesso di dimostrare che i gusci di molluschi bivalvi, nel caso specifico i capulerio, può trovare impiego in sistemi di rimeditazione ambientale.

Un ulteriore studio coreano ha valutato gli effetti dell'impiego dei gusci di ostrica come materiale calcareo, sulle proprietà chimiche e biologiche del suolo e sulla produttività del cavolo cinese<sup>5</sup>.

Dosi crescenti di sfarinato di gusci di ostrica su due tipologie di suoli, limoso e sabbioso, prima del trapianto del cavolo, hanno determinato un sensibile miglioramento del pH, favorito l'aumento della sostanza organica e di fosforo disponibile. Infatti il miglioramento del pH del suolo e dello stato dei nutrienti ha aumentato significativamente le concentrazioni di C e N della biomassa microbica e ha stimolato le attività degli enzimi del suolo, determinandone in ultima analisi una maggiore produttività delle colture.

Un ulteriore studio congiunto coreano e statunitense, ha dimostrato che i gusci di ostriche opportunamente riscaldati possono essere impiegati efficacemente nel trattamento delle acque reflue<sup>6</sup>. I gusci di ostriche sono un prodotto di scarto della maricoltura che presenta un grave problema di smaltimento nelle regioni costiere come la Corea del sud-est, seppur una considerevole parte di essi venga già impiegato come alimento in avicoltura e ammendante nei terreni e materiale inerte per la fase di deposizione delle larve. Nello studio è stato rilevato che la pirolisi dei gusci di ostriche di scarto in condizioni definite ( $750^\circ\text{C}$  per 1 ora in atmosfera di azoto) trasforma questo materiale in un reagente sostenibile per una rimozione efficiente (fino al 98%) dei fosfati dalle acque reflue. In confronto, i gusci di ostriche crudi non rimuovevano quasi nessun fosfato dall'acqua, mentre i gusci di ostriche si riscaldavano a  $750^\circ\text{C}$  in atmosfera di aria ha rimosso una percentuale moderata (fino al 68%) di fosfati dall'acqua. L'analisi di diffrazione dei raggi X (XRD) dei gusci di ostriche pirolizzati ha mostrato picchi che erano caratteristici dell'ossido di calcio, mentre l'analisi dei gusci di ostrica crudi ha mostrato picchi che erano caratteristici del carbonato di calcio. Anche la morfologia superficiale dei gusci di ostriche pirolizzati differiva da quella dei gusci di ostriche crude. L'analisi preliminare di fattibilità economica indica che il costo del guscio di ostrica attivato è competitivo con altri prodotti chimici per il trattamento delle acque reflue.

---

<sup>5</sup> 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/S0956053X08000682?via%3Dihub>) - 2008

Un recente lavoro congiunto delle università di Belgrado e del Montenegro, raccoglie insieme tutte le possibili applicazioni nell'impiego dei gusci di molluschi oggi considerati come rifiuti <sup>7</sup>.

Lo studio evidenzia come i gusci di molluschi a livello mondiale siano un problema in termini di rifiuto, ma al contempo rappresentano un'opportunità se valutati rispetto ai loro potenziali molteplici impieghi (fig. 4).



Fig. 4 . Possibili applicazioni dai rifiuti di gusci

Il lavoro mette in evidenza come i gusci di molluschi oggi possano essere considerati a ragion veduta una grande risorsa ambientale:

**come elemento condizionatore del suolo;** è stato ampiamente dimostrato l'impiego in agricoltura come elemento calcitante, con un miglioramento del pH, della materia organica del suolo, della fosforo disponibile, delle concentrazioni di cationi scambiabili e delle proprietà chimiche e biologiche del suolo, oltre ad una maggiore produttività;

- a) **come elemento adsorbente di metalli pesanti;** esso favorisce ad esempio la riduzione del rame nei vigneti o il piombo nei terreni dei poligoni di tiro adsorbente di metalli pesanti (es. riduzione della concentrazione in rame nei vigneti);
- b) **come catalizzatore** per la produzione di biodiesel sotto forma di CaO (es. biodiesel a partire dalla pianta *Camelina sativa*. Fig. 5). Il suo impiego sta prendendo piede anche grazie al basso costo di produzione;

<sup>6</sup> Recycling waste oyster shells for eutrophication control  
([https://www.researchgate.net/publication/222673148\\_Recycling\\_Waste\\_Oyster\\_Shells\\_for\\_Eutrophication\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/222673148_Recycling_Waste_Oyster_Shells_for_Eutrophication_Control)) - 2003

<sup>7</sup> 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. Uso del guscio di ostriche per la produzione di biodiesel a partire da *Camelina sativa***

- c) **come separatore di inquinanti dalle acque reflue e dall'aria;** i gusci opportunamente trattati vengono trattati per la rimozione di coloranti, per la rimozione di metalli tossici e radionuclidi, o ancora per risolvere problemi di eutrofizzazione dell'acqua o per la riduzione dei gas SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>;
- d) **come materiale da costruzione;** i gusci sono stati utilizzati nella costruzione in molti insediamenti costieri in tutto il mondo. Il calcestruzzo costituito da gusci trattati termicamente mescolati con sabbia, acqua, cenere e gusci rotti è noto come Tabby (Fig. 6); molti autori hanno esplorato il potenziale utilizzo dei rifiuti di gusci nel calcestruzzo in termini di loro riutilizzo in sostituzione di materiali convenzionali, come cemento, sabbia e frazione di aggregati grossolani. Tra i vari impieghi quello della ricostituzione di barriere artificiali marine (reef) volte sia al ripopolamento delle specie, ma anche al contenimento dell'erosione delle coste, è oggetto di attenti studi e sperimentazioni (fig. 7).



**Fig. 6. Esempi di costruzioni con gusci di molluschi (Tabby)**



**Fig. 7. Barriere artificiali realizzati con gusci di ostrica**

- e) **come integratore minerale di calcio**; è ormai consolidato l'uso di integratori minerali a base di gusci di molluschi nell'allevamento avicolo (ovaiole); il limite di tale impiego è dato dalla necessità di stoccare elevate quantità di materia prima per il loro utilizzo al fine di poterne contenere i costi. Tale pratica pertanto è limitata dall'obbligo di avere nelle vicinanze grandi allevamenti zootecnici.
- f) **Altri impieghi**; sono stati studiati nel corso degli anni e a livello sperimentale numerosi impieghi, che certamente nel prossimo futuro rappresenteranno, almeno per alcuni di essi, nuove opportunità di economia circolare; di seguito se ne elencano alcuni:
- come riempitivo inorganico nei polimeri, sotto forma di carbonato di calcio, alternativo a quello commerciale,
  - come agente antibatterico,
  - come sostanza antighiaccio ecologica da distribuire nelle strade,
  - come drenante per le acque in eccesso nei "tetti verdi",
  - nella cosmesi come esfoliante,
  - in applicazioni biomediche (ingegneria e aumento osseo) e chirurgia ortopedica.

Da tutto quanto descritto è evidente che la gestione dei gusci dei molluschi bivalvi deve essere considerata un grande opportunità in un'ottica di economia circolare e a maggior ragione rispetto a quanto prospettato all'interno del progetto PrismaMED.

## Attività specifiche

Nell'ambito del “**Progetto pilota focus molluschicoltura – circular economy**”, le attività sono in corso di svolgimento nel territorio di Olbia, coinvolgendo i molluschicoltori locali e l'ISS “Amsicora” di Olbia, con i suoi due istituti, Istituto tecnico agrario e Istituto professionale.

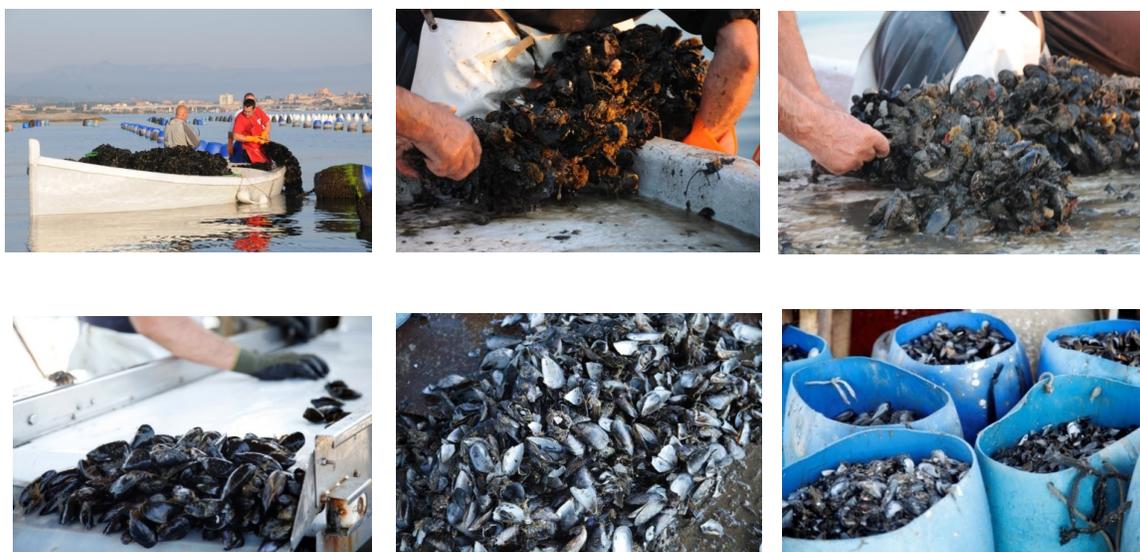
Sono stati preliminarmente somministrati dei questionari ai molluschicoltori operanti nel golfo di Olbia ed uno nella laguna di San Teodoro, per valutare la tipologia di rifiuti prodotti dalla molluschicoltura con un focus sugli scarti di lavorazione e la loro destinazione.

Circa il 50% degli operatori oggi tratta gli scarti come rifiuto, ma ancora il restante 50% lo rigetta a mare.

La quantità media di scarti di lavorazione si aggira intorno al 3-5% della produzione totale.

Gli scarti derivanti dalla lavorazione dei molluschi, in prevalenza mitili, provengono da tre fasi del processo produttivo.

- 1) Selezione del prodotto in fase di raccolta a mare.
- 2) Selezione del prodotto in fase di “sgranatura” in banchina. In questo caso la selezione separa le retine di plastica dai mitili e questi ultimi vengono separati tra loro, eliminando il bisso. In tale fase gli operatori escludono manualmente dal processo i mitili non conformi (rotti, incrinati, aperti, vuoti, ecc.) prima della successiva fase di depurazione.
- 3) Selezione del prodotto post depurazione e prima della fase di confezionamento, con esclusione dei mitili non conformi (rotti, incrinati, aperti, vuoti, ecc.).



**Fig. 8. Fasi della produzione di mitili e degli scarti di lavorazione.**

Dai questionari somministrati ai produttori si evince che i quantitativi medi di scarti prodotti sono variabili e compresi tra 100 e 200 kg/giorno sulla base delle dimensioni aziendali e della stagionalità.

Il progetto, in forma sperimentale, prevede di destinare tali scarti ad altri impieghi, in prevalenza per usi agricoli come ammendante e per usi tecnici per la realizzazione di manufatti, da realizzarsi all'interno dei due Istituti scolastici, tecnico e professionale, dell'IIS "Amsicora di Olbia" e presso una impresa agricola locale e ad tal fine è stato sottoscritto un **protocollo d'intesa** tra il Flag NS, l'IIS Amsicora e la Coldiretti della provincia di Sassari.

Gli scarti di lavorazione provenienti dall'attività di mitilicoltura nel Golfo di Olbia, sono costituiti prevalentemente da gusci di molluschi bivalvi, in prevalenza mitili. Questi sono stati analizzati inviando un campione rappresentativo all'IZSPLV, questo è stato pressato e sminuzzato in modo da ottenere un tritato uniforme che è stato in parte analizzato e in parte congelato a -20°C.

È stata svolta l'analisi microbiologica e chimica sul campione, nell'ambito della caratterizzazione della frazione organica dei prodotti della pesca e dell'acquacoltura<sup>8</sup> ove si è riscontrata la conformità del prodotto sia per usi zootecnici (es. integratori per l'industria mangimistica), sia per altri impieghi.

Gli scarti verranno raccolti presso una cooperativa di produzione facente parte del Consorzio Molluscoltori di Olbia, ove è stato installato un tritatore della capacità oraria di circa 250 kg/ora (prodotto I7.1.1). Il prodotto tritato viene raccolto in bins della capacità di circa 1 mc e trasportato presso l'istituto tecnico agrario (fig. 9) e l'impresa agricola convenzionata (fig. 10), ove viene stoccato e successivamente distribuito nel suolo. Parte degli scarti non verranno triturati, ma distribuiti tal quali sempre all'interno dell'istituto tecnico agrario, su un suolo particolarmente degradato e con notevoli ristagni idrici al fine di migliorarne la struttura e la capacità drenante.



**Fig. 9. Veduta aerea dell'Istituto tecnico agrario di Olbia**



**Fig. 10. Veduta aerea dell'impresa agricola convenzionata**

I terreni ove verrà inglobato il materiale tritato sono sub-acidi e destinati ad orticoltura e l'uso sarà esclusivamente quello di ammendante.

<sup>8</sup> "T2.2.1- T2.4.1 Rapporto di caratterizzazione congiunto" ([http://interreg-maritime.eu/documents/779357/1820110/1\\_10\\_P4\\_T2.2.1\\_T2.4.1Rapporto+di+caratterizzazione+congiunto\\_IT.pdf/774065e9-8762-4f88-af81-0a065a76c584](http://interreg-maritime.eu/documents/779357/1820110/1_10_P4_T2.2.1_T2.4.1Rapporto+di+caratterizzazione+congiunto_IT.pdf/774065e9-8762-4f88-af81-0a065a76c584))

Le quantità complessive da distribuire nel suolo su base annua sono circa 135 ql, ripartiti in poco più di 2 ettari: 70 ql tal quali su circa un ettaro di suolo degradato e circa 5 ql su circa 1.500 mq destinati ad orticoltura, presso l'istituto tecnico agrario, e 60 ql su circa un ettaro di suolo destinato ad orticoltura presso l'impresa privata convenzionata.

Purtroppo gli eventi pandemici legati al Covid hanno fortemente rallentato l'attività sperimentale, a causa della prolungata assenza degli studenti dalle lezioni in presenza nell'anno scolastico 2020-21, pertanto la sperimentazione proseguirà nel periodo estivo 2021. Per motivi analoghi anche l'attività presso l'impresa privata ha dovuto subire dei forti rallentamenti, e si prevede la ripartenza della sperimentazione anch'essa nel corso del periodo estivo 2021. Tale inconveniente permetterà comunque di accumulare gli scarti sia tal quale sia triturati, proprio in occasione della loro massima produzione, il periodo primaverile-estivo. In tal senso anche un'altra impresa di produzione si è resa disponibile a cedere gli scarti di lavorazione ai fini della triturazione e riuso.

È importante peraltro ricordare che tali scarti per poter essere impiegati devono essere esclusi dal ciclo dei rifiuti e trattati come **sottoprodotti di origine animale** (SOA), assegnando loro una destinazione ed un impiego certo, nel nostro caso l'uso agricolo e tecnico.

Un aspetto rilevante è la quantità di scarti prodotti in un anno a livello locale. Infatti il Consorzio Molluschicoltori di Olbia detentore delle concessioni demaniali per la molluschicoltura, è composto attualmente da 18 cooperative di produzione, e sono presenti 3 centri di depurazione (CDM). La produzione media di molluschi degli ultimi anni ad Olbia è stata di circa 35.000 ql. Basandosi sulle informazioni raccolte presso i produttori circa la percentuale di scarti prodotti (3-5%), gli stessi rappresentano una quota variabile compresa mediamente tra 1.000 e 1.750 ql/anno.

Pertanto l'impiego sperimentale di circa 150 ql di scarti su due distinte superfici, non possono avere la pretesa di risolvere il problema del recupero dell'intera produzione annua locale, ma forniscono certamente informazioni utili per impieghi futuri più consistenti. In tal senso infatti basterebbe distribuire annualmente gli scarti su circa 10-15 ettari di superficie agricola in rotazione, per eliminare questa porzione di prodotto dal ciclo dei rifiuti, almeno a livello locale.

## Impiego degli scarti per usi tecnici

Una parte minima degli scarti di lavorazione della molluschicoltura verrà impiegata dalla scuola professionale per la realizzazione di manufatti.

I prodotti realizzati sono costituiti da un materiale composito ottenuto dalla miscelazione di triturato di gusci di molluschi bivalvi di diversa granulometria con resina epossidica e con un componente catalizzatore amminico a base di trietilammina che ne favorisce l'indurimento e ne migliora le proprietà di durezza e resistenza.

Nel laboratorio della scuola sono stati realizzati degli stampi, prevalentemente in silicone, a partire da una matrice polimerica realizzata con una stampante 3D.

I gusci vengono puliti con flussi di acqua a pressione, asciugati all'aria o con flusso d'aria o eventuale trattamento termico allo scopo di rimuovere tutte le residuali parti organiche presenti. Dopo l'asciugatura i gusci vengono essere ulteriormente verificati e ripuliti di ogni eventuale rimanente residuo organico.

Le percentuali di utilizzo dei diversi componenti all'interno del prodotto finale e il loro peso specifico sono riportati nella Tabella 1. Alcuni valori sono stimati in quanto la scuola non ha fornito tutte le informazioni tecniche sul prodotto in quanto è in corso la definizione di un brevetto che ne tutela la composizione. I valori riportati nella tabella sono pertanto prossimi alla realtà, ma oggi devono essere considerati comunque come una stima sufficientemente attendibile. Il peso specifico del triturato è stimato, considerandolo comparabile al peso specifico di una sabbia.

|                                     | Triturato      | Resina epossidica | Catalizzatore amminico |
|-------------------------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Peso specifico [g/cm <sup>3</sup> ] | 1,5* (stimato) | 1,15              | 1                      |
| Percentuale in peso [%]             | 75             | 15,62             | 9,38                   |

**Tabella 1. Percentuali di utilizzo dei diversi componenti all'interno del prodotto finale e relativo peso specifico**

Il rapporto tra il triturato di gusci e resina è variabile, ma normalmente è 3:1/4:1, ciò dipende dalla granulometria del triturato e dalla tipologia di gusci impiegati (mitili, ostriche, vongole), oltre che dalla tipologia di manufatto da realizzare.

Il prodotto triturato viene setacciato e separato sulla base del grado di finezza per destinarlo alle varie tipologie di manufatto da realizzarsi. Le dimensioni sono comunque comprese tra 1 e 5 mm. Non è stato possibile realizzare triturati inferiori a tali dimensioni a causa del limite tecnico del trituratore di cui è dotata la scuola (fig. 11).



**Fig. 11. Granulometria del triturato di gusci di mitili**

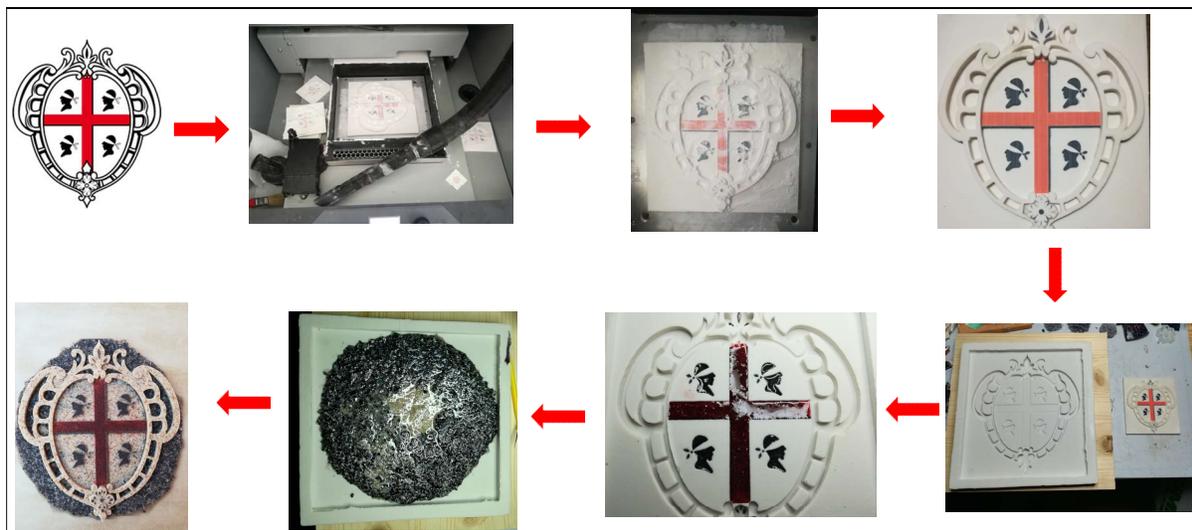
Successivamente il triturato è stato lentamente amalgamato alla resina, così da renderlo omogeneo evitando di incorporare aria.

L'asciugatura del composto avviene in un luogo asciutto a temperatura ambiente.

Il prodotto realizzato è duttile, resistente agli acidi, mentre è ancora da valutare la resistenza alla compressione, trazione e calore.

Se impiegato su stampi realizzati a partire da matrici realizzate con la stampa 3D è possibile inventare e realizzare qualsiasi oggetto; tale opportunità può aprire anche opportunità nella realizzazione di oggetti di design, oggettistica, o anche componenti per oggetti.

Di seguito la figura 12 mostra la procedura di realizzazione di un manufatto impiegando due tipologie di gusci (mitili e vongole) a partire dalla stampa in 3D della matrice.



**Fig. 12. Realizzazione di un manufatto a partire da una matrice con stampa 3D.**

Il prodotto si presta alla realizzazione di diversi manufatti, quali ad esempio lastre per il rivestimento di superfici in diversi formati (Figura 13).



Fig. 13. Prodotti a base di gusci di mitili e vongole

### 3. Conclusioni

Il progetto pilota Molluschicoltura, seppur limitato nella sua operatività sul campo a causa dei concomitanti eventi legati alla pandemia da Sars-Cov-2, ha messo in luce la validità dell'impiego degli scarti di produzione delle attività di molluschicoltura sia in campo agricolo sia anche nel innovativo impiego tecnico, in ottica di economia circolare, specialmente se alla prova sperimentale seguirà quella di recupero di ingenti quantitativi di prodotto, così da impedirne la destinazione a rifiuto, restituendolo a nuova vita sia come sottoprodotto di origine animale (SOA), sia come materia prima seconda, e qui nasce la sfida, escludendo dal ciclo dei rifiuti proprio la frazione secca oggi determinata dall'impiego nel consumo quotidiano dei molluschi.

Infatti se consideriamo che circa il 90% del peso dei molluschi è determinato dai gusci, e la sola produzione di Olbia potrebbe garantire l'impiego come ammendante dei gusci triturati su una superficie agricola compresa tra 150 e 250 ettari/anno ed in proporzione su scala nazionale la superficie agricola su cui intervenire potrebbe essere di oltre 6.000 ettari/anno, si percepisce il valore del progetto anche in termini di impatto ambientale sul ciclo dei rifiuti, ma anche sul contenimento, per sostituzione, dell'impiego di altri ammendanti analoghi per caratteristiche (es. calce agricola), con un ulteriore risparmio di risorse naturali.

Il progetto pilota non ancora ultimato, potrà in futuro confermare i primi dati sull'impiego efficace in agricoltura, come già evidenziato in diversi studi nazionali ed internazionali, mentre sull'impiego del materiale nella realizzazione di manufatti a base di triturato di gusci e resina sarà necessario investigare sul grado di resistenza alla trazione e compressione meccanica e al calore.