

Il HCT-agrifood Lab, attivo presso l'Area di ricerca del CNR di Firenze dal 2014, si è costituito ufficialmente nel 2017. Il Laboratorio si fonda sul know-how scientifico e tecnologico acquisito dal 2011 nel campo della cavitazione idrodinamica (HC), e ha generato negli anni numerose innovazioni e una consistente produzione scientifica. I ricercatori Albanese e Meneguzzo, in forza al CNR-IBE, sono inoltre stati designati quali "inventori" in un Brevetto internazionale su nuova tecnologia di birrificazione. Dall'autunno 2018, partecipa alle attività del Laboratorio anche Federica Zabini, sempre di CNR-IBE.

Le attività del Laboratorio sono pienamente in linea con la crescente attenzione scientifica e industriale sulle grandi potenzialità della HC per l'intensificazione di una serie di processi fisici, chimici e biochimici, in modo efficiente e "verde".

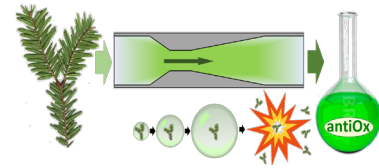
## Background

Le attività del Laboratorio hanno preso le mosse dalla sperimentazione di tecniche HC per il **riscaldamento dell'acqua** in modo più efficiente, anche grazie al progetto SUBCAL (2012-2013) cofinanziato dalla Regione Toscana.

In seguito, l'idea di utilizzare un primo impianto sperimentale per la **pastorizzazione di liquidi alimentari** a temperature sensibilmente più basse rispetto al trattamento termico convenzionale, confluì nel progetto T.I.L.A. (2014-2016), cofinanziato dalla Regione Toscana.

Sulla base delle capacità di disintegrazione di sostanze solide, di accelerazione dell'estrazione di composti da materiali solidi e della relativa cessione al mezzo liquido, di inattivazione della carica batterica, nonché delle proprietà di degassificazione esibite dalla cavitazione idrodinamica, emerse il potenziale applicativo al processo di **cottura del mosto di birra**, mediante operazione in singola unità. Tutto questo ha consentito lo sviluppo, sempre nell'ambito del progetto T.I.L.A., di un impianto pilota di dimensioni preindustriali, nonché, nell'Agosto 2016, di un brevetto congiunto tra CNR e un partner privato per una nuova tecnologia di birrificazione (WO/2018/029715), portando dopo poco più di un anno alla realizzazione e messa in opera del primo impianto di grado industriale, sperimentato e ottimizzato presso il Birrifico San Gimignano.

La **tecnologia CAVIBEER®** è stata oggetto di numerose recensioni internazionali indipendenti, la prima delle quali pubblicata nella prestigiosa *MIT Technology Review* nel 2016. È stata inoltre inclusa dall'importante rivista di settore *Draft Magazine* tra le sei più importanti innovazioni tecnologiche del 2016 in campo brassicolo.



Impianto pilota presso il HCT-agrifood Lab



Impianto di grado industriale installato presso il Birrifico San Gimignano

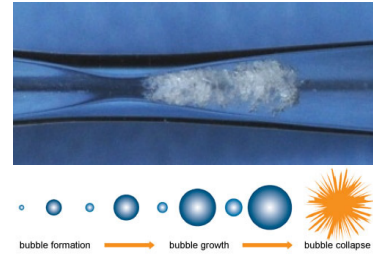


## I principali punti di forza del HCT-agrifood Lab:

- Una storia di successi, e importanti linee di ricerca, sviluppo e applicazione già avviate;
- Ampio know-how scientifico nei settori agronomico, forestale, alimentare, ambientale ed energetico;
- Autonomia e know-how scientifico e operativo sul piano tecnologico e impiantistico;
- Elevata reputazione scientifica;
- Attitudine e capacità nella produzione bibliometrica e nella comunicazione scientifica;
- Esperienza e attitudine alla progettualità, al trasferimento tecnologico e alla collaborazione con l'industria.

### Processo fisico-chimico

“Benedizione sotto mentite spoglie”, come definita in un recente articolo scientifico, la cavitazione idrodinamica controllata consiste nel processo tecnico di generazione, accrescimento e implosione di bolle di vapore in un liquido a temperature inferiori rispetto al punto di ebollizione. In fase di implosione, si generano microambienti estremamente reattivi, caratterizzati localmente da temperature elevatissime, intense onde di pressione e getti idraulici, associati a fenomeni di micropirolisi, e limitata generazione di radicali ad elevato potere ossidante.



Nonostante la varietà delle tecniche di innesco e controllo della cavitazione idrodinamica, ai fini delle applicazioni a matrici ad elevato contenuto di materiale biologico e/o di particelle solide, la tecnica più efficiente e praticabile prevede l'accoppiamento di una o più pompe idrauliche con reattori in forma di tubi Venturi di geometria opportuna, ai cui dettagli sono ascrivibili insieme la criticità e le straordinarie opportunità delle tecniche HC.

Tra le proprietà fondamentali della classe di tecnologie e processi HC, di particolare rilievo sono la degassificazione delle matrici liquide, il marcato incremento degli scambi di massa e di calore, il riscaldamento volumetrico e più efficiente, la disintegrazione, o l'incremento di porosità, di sostanze solide, la forte riduzione dimensionale delle gocce di olio o dei granuli lipidici, la riduzione della tensione superficiale con conseguente incremento della miscibilità di liquidi diversi, la micropirolisi molecolare, depolimerizzazione e degradazione di sostanze idrofobiche, l'inattivazione a temperature moderate della carica batterica e perfino di alcuni virus, l'incremento del recupero di minerali per flottazione, e, coniugate a specifici additivi, la generazione di potenti processi ossidativi.

### Applicazioni

Le tecnologie HC sono sperimentate e praticate con successo in una vasta area di campi applicativi quali, ad esempio, depurazione delle acque reflue e disinfezione delle acque potabili, pretrattamento delle biomasse, pastorizzazione e sterilizzazione degli alimenti, estrazione di composti bioattivi da materiali vegetali, formazione di nanoemulsioni ultra-sabili, e molte altre.

Tali tecnologie si sono dimostrate nettamente competitive, in grado di aumentare decisamente le rese dei processi, sia operando come unità singola sia integrate con altre tecnologie e processi, nonché aderenti ai principi dei *green and sustainable extraction methods of natural products*.

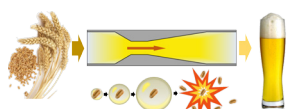
### Principali vantaggi

- inferiori costi di impianto e di gestione
- superiori rese di processo e risparmio energetico
- tempi di processo inferiori
- robustezza, scalabilità e flessibilità di applicazione
- superiore estrazione di composti bioattivi
- riduzione o annullamento dell'impiego di additivi (solventi, emulsionanti, conservanti, ecc.)
- conformità ai principi dell'estrazione verde di prodotti naturali

## Attività in corso e avviate

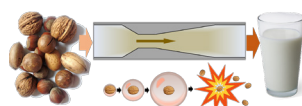
Mentre la tecnologia per la produzione di mosto di birra, ideata e sviluppata dal Laboratorio, ha ormai raggiunto il grado industriale, e il relativo Brevetto è in corso di valorizzazione, le attività di ricerca e sperimentazione condotte dal HCT-agrifood Lab hanno abbracciato numerosi campi tecnici, dalla produzione di bevande vegetali all'estrazione non selettiva di composti antiossidanti da materiale vegetale, alla modifica e potenziamento di biochar, fino alla redazione, su invito, di capitoli di review sulla cavitazione idrodinamica in volumi prodotti da grandi editori scientifici.

### Produzione del mosto di birra



Sviluppato e sperimentato impianto HC pilota e relativi processi, finalizzato anche alla brevettazione. Dimostrata la birrificazione di grani crudi non maltati. Dimostrata la producibilità di birre senza glutine a partire da ricette tradizionali. Dimostrato il superiore livello di estrazione di composti bioattivi, in particolare dai luppoli. Supportato lo sviluppo e ottimizzazione di impianto di grado industriale. Rif.: [www.cavibeer.com](http://www.cavibeer.com)

### Bevande e puree vegetali



#### a base di frutta

Sperimentazioni preliminari su casi di studio (mele, fichi d'india). Grandi potenzialità per il processamento di **mirtilli e altri frutti di bosco** dimostrate da realizzazioni industriali nel mondo.

#### a base di cereali (o pseudo-cereali)

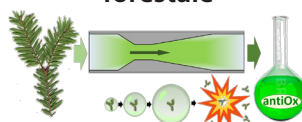
Attività avviata nell'ambito del **progetto TIBEV** (PIF Cereal Bio - Regione Toscana) che include diverse varietà di cereali, come grani antichi, avena, miglio, farro, grano saraceno, ecc.

#### da semi oleosi

Applicazione estremamente promettente.

- **Proposte di progetto in corso** per la produzione di bevande di noci e di mandorle.

### Estrazione di composti antiossidanti da materiale vegetale forestale

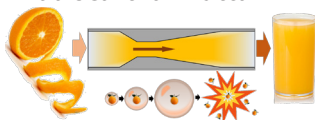


**Studio sperimentale** sull'estrazione in acqua di composti fortemente antiossidanti da **aghi di abete bianco**, per ottenerne soluzioni acquose di elevato valore nutraceutico, utilizzabili tal quali, quali additivi per funzionalizzare altre bevande, o ancora per la conservazione dei cibi, in particolare ad elevato contenuto di lipidi, e come stimolatore della crescita colturale.

- **Prodotto** ottenuto **più antiossidante delle Vitamine C ed E**

- **Progetto** per lo sviluppo di un metodo e di un prototipo funzionante.

### Estrazione composti bioattivi da scarti di frutta



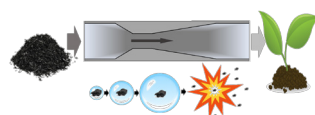
Sperimentazioni su **pastazzo di arancia**, con risultati sorprendenti.

Possibilità di trattamento di qualsiasi matrice di scarto della trasformazione di frutti.

- Prodotto conservato per due anni a temperatura ambiente, grazie all'estrazione del limonene in fase liquida.

- Utilizzabile tal quale, quale additivo per funzionalizzare altre bevande o quale biopesticida.

### Potenziamento biochar



Il trattamento a cavitazione idrodinamica del **biochar** ne ha prodotto un importante miglioramento delle proprietà fisico-chimiche ai fini del successivo impiego come ammendante e/o depurante di acque reflue.

- **Proposta di progetto in corso di valutazione**

## Prospettive di innovazione e trasferimento tecnologico

- Processi di trasformazione più efficienti
- Sviluppo tecnologico fino almeno alla convalida industriale
- Analisi e validazione dei prodotti finali

### Settore alimentare

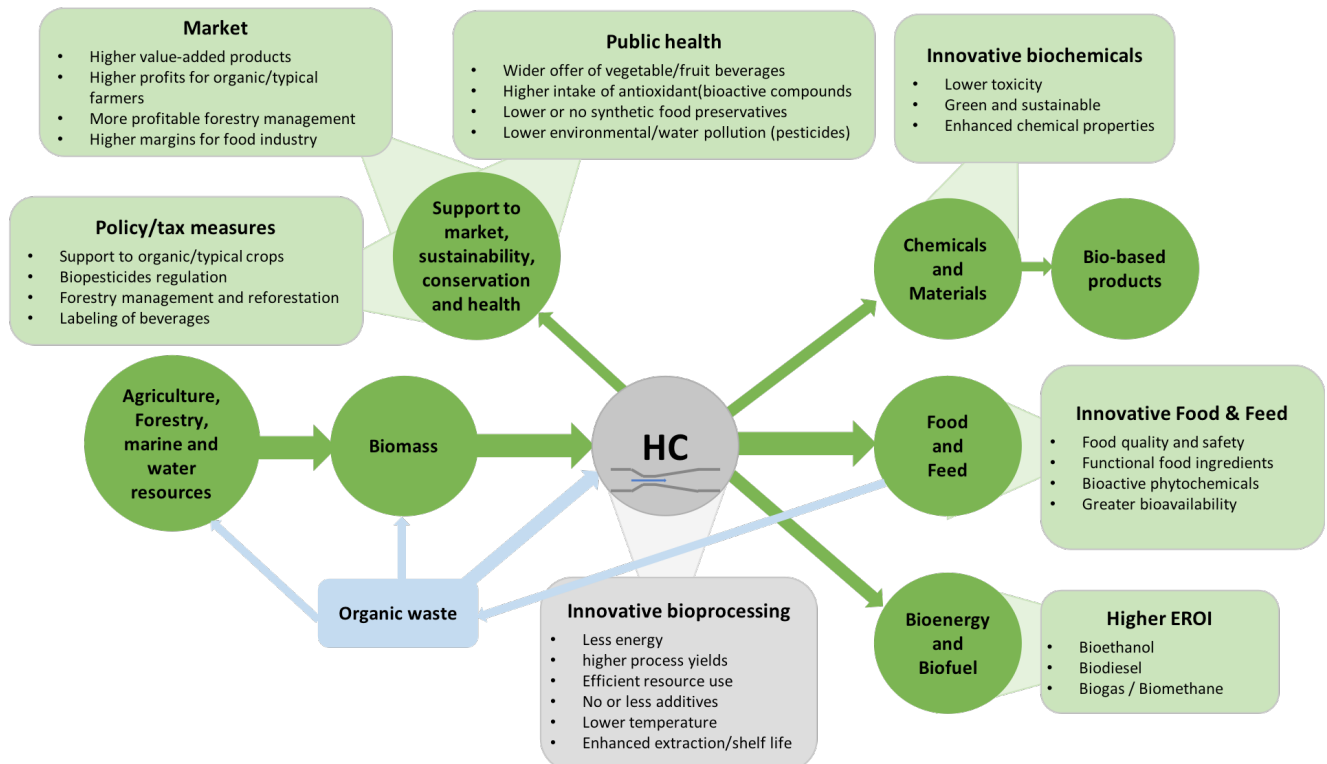
- Succhi e puree
- Bevande vegetali
- Bevande e additivi funzionali, prodotti preventivi
- Birre speciali
- Mangimi per animali (da scarti della trasformazione alimentare)

### Settore agricolo

- Prodotti per la crescita colturale
- Ammendanti organici del suolo

### Settore ambientale

- Sequestro del carbonio (biochar)
- Depurazione acque





## Principali pubblicazioni del HCT-agrifood Lab e altra documentazione

### Principali articoli scientifici recenti

Albanese, L., Bonetti, A., D'Acqui, L. P., Meneguzzo, F., & Zabini, F. (2019). Affordable Production of Antioxidant Aqueous Solutions by Hydrodynamic Cavitation Processing of Silver Fir (*Abies Alba* Mill.) Needles. *Foods*, 8(2), 65. <https://doi.org/10.3390/foods8020065>

Albanese, L., & Meneguzzo, F. (2019). 10 - Hydrodynamic Cavitation Technologies: A Pathway to More Sustainable, Healthier Beverages, and Food Supply Chains. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Processing and Sustainability of Beverages* (pp. 319–372). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815259-1.00010-0>

Albanese, L., & Meneguzzo, F. (2019). 7 - Hydrodynamic Cavitation-Assisted Processing of Vegetable Beverages: Review and the Case of Beer-Brewing. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Production and Management of Beverages* (pp. 211–257). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815260-7.00007-9>

Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Pecoraino, M., & Pagliaro, M. (2018). A bioeconomy perspective for natural sweetener Stevia. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. <https://doi.org/10.31220/OSF.IO/7BCVR>

Albanese, L., Baronti, S., Liguori, F., Meneguzzo, F., Barbaro, P., & Vaccari, F. P. (2019). Hydrodynamic cavitation as an energy efficient process to increase biochar surface area and porosity: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 210, 159–169. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.341>

Ciriminna, R., Albanese, L., Di Stefano, V., Delisi, R., Avellone, G., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2018). Beer produced via hydrodynamic cavitation retains higher amounts of xanthohumol and other hops prenylflavonoids. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.037>

Albanese, L., Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2018). Innovative beer-brewing of typical, old and healthy wheat varieties to boost their spreading. *Journal of Cleaner Production*, 171, 297–311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.027>

Albanese, L., Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2017). Gluten reduction in beer by hydrodynamic cavitation assisted brewing of barley malts. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.060>

Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Delisi, R., & Pagliaro, M. (2017). Citric acid: Emerging Applications of a Key Biotechnology Industrial Product. *Chemistry Central Journal*, 11(22), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0251-y>

Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Delisi, R., & Pagliaro, M. (2017). Olive Biophenols as New Antioxidant Additives in Food and Beverage. *ChemistrySelect*, 2(4), 1360–1365. <https://doi.org/10.1002/SLCT.201601900>

Albanese, L., Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2017). Beer-brewing powered by controlled hydrodynamic cavitation: Theory and real-scale experiments. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1457–1470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.162>

Ciriminna, R., Albanese, L., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2017). Wastewater remediation via controlled hydrocavitation. *Environmental Reviews*, 25(2), 175–183. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0064>

Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2017). Orange Oil. In L. M. L. Nollet & H. S. Rathore (Eds.), *Green Pesticides Handbook: Essential Oils for Pest Control* (pp. 291–303). Boca Raton FL: CRC Press. <https://www.routledge.com/Green-Pesticides-Handbook-Essential-Oils-for-Pest-Control/Nollet-Rathore/p/book/9781498759380>

Ciriminna, R., Albanese, L., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2016). Hydrogen Peroxide: A Key Chemical for Today's Sustainable Development. *ChemSusChem*, 9(24), 3374–3381. <https://doi.org/10.1002/cssc.201600895>





Ciriminna, R., Fidalgo, A., Meneguzzo, F., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2016). Lycopene: Emerging Production Methods and Applications of a Valued Carotenoid. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(3), 643–650. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01516>

Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Fidalgo, A., Ilharco, L. M., & Pagliaro, M. (2016). Extraction, benefits and valorization of olive polyphenols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(4), 503–511. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500036>

Albanese, L., Ciriminna, R., Meneguzzo, F., & Pagliaro, M. (2015). Energy efficient inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* via controlled hydrodynamic cavitation. *Energy Science & Engineering*, 3(3), 221–238. <https://doi.org/10.1002/ese3.62>

## Principali recensioni internazionali indipendenti

Sandy, D. (2017). Cavitation Salvation - The Crafty Pint. [https://www.craftypint.com/news/1496/Cavitation\\_Salvation](https://www.craftypint.com/news/1496/Cavitation_Salvation)

Bernot, K., & Fowle, Z. (2017). The next round of beer innovations. <http://draftmag.com/brewing-innovations-research-science/>

Graber-Stiehl, I. (2017). The Latest Alcohol Trend: Brewing Like a Mantis Shrimp. <http://www.ozy.com/fast-forward/thelatest-alcohol-trend-brewing-like-a-mantis-shrimp/82108>

Evans, B. (2016). Scientists propose radical new brewing method. <http://www.taptrail.com/scientists-propose-radical-newbrewing-method/>

MIT Technology Review (2016). This Technology Is About to Revolutionize Beer-Making. <https://www.technologyreview.com/s/602464/this-technology-is-about-to-revolutionize-beer-making/>

## Principali interventi a conferenze internazionali recenti

Meneguzzo, F., Albanese, L., Crisci, A., & Zabini, F. (2019). Controlled hydrodynamic cavitation as a tool to enhance the properties of biological sources. In A. Ferrari (Ed.), *BioEconomy. Biological sources for a sustainable world*. Montelibretti (Roma): Area della Ricerca di Roma 1. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16323.66081>

Meneguzzo, F., & Albanese, L. (2018). Enhanced extraction from malt and hops in an innovative beer-brewing technology based on hydrodynamic cavitation processes. In M. L. Clodoveo, F. Corbo, & R. Amirante (Eds.), *GENP2018. Green Extraction of Natural Products* (pp. 37–38). Bari: Università degli Studi di Bari “Aldo Moro.” Retrieved from <https://genp2018.wordpress.com/the-book-of-the-conference/> (Keynote Speaker)

Meneguzzo, F., & Albanese, L. (2018). CAVIBEER: advancing a new technological standard in beer brewing powered by hydrodynamic cavitation. In M. Dular (Ed.), *Workshop on Cavitation Exploitation*. Ljubljana, Slovenia, 27-28 September, 2018. Retrieved from <https://www.matevzdular.com/workshop-on-cavitation-exploitation/>

Albanese, L. (2018). Bringing hydrodynamic cavitation powered beer-brewing from the pilot to the industrial scale: challenges and solutions. In M. Dular (Ed.), *Workshop on Cavitation Exploitation*. Ljubljana, Slovenia, 27-28 September, 2018. Retrieved from <https://www.matevzdular.com/workshop-on-cavitation-exploitation/> (Keynote Speaker)

Meneguzzo, F. (2018). Cavibeer. Harnessing the power of hydrodynamic cavitation in the beer sector. In L. De Cooman (Ed.), *13th International Trends in Brewing*. Ghent, Belgium, April 8th-12th 2018: KU Leuven. Retrieved from <http://trendsinbrewing.org/index.html>

Meneguzzo, F. (2017). Cavibeer. Cavitation-powered beer: from laboratory to industry and brewery. In *Journée d'étude - Classic hits and new deals*. Istitut Meurice, Brussels: ARFB - Association Royale des anciens élèves de l'institut des industries de Fermentation de Bruxelles. Retrieved from <http://www.arfb.eu/?Activites/Journee-d%27etude/Informations>