



# ESAGONALGHE

L'INVOLUCRO EDILIZIO ATTIVO



Tesi di Laurea di Claudio Vicari  
Relatore Guglielmo Ori  
C. D. L. M. in Advanced Design dei prodotti  
Dipartimento di Ingegneria e Architettura  
Alma Mater Studiorum  
A.A. 2018-2019

# INDICE

<b>Introduzione</b>	7
<b>1. Sostenibilità ambientale</b>	11
1.1. Impatto dei gas serra	13
1.2. Impatto idrico	16
1.3. Produttività	18
<b>2. Usi delle Alghe</b>	23
2.1. Mangimi per animali e fertilizzanti	25
2.2. Bio-carburanti	26
2.3. Bio-plastiche	28
2.4. Alimenti umani	30
<b>3. Antropologia del cibo</b>	35
3.1. Classificazione culturale del mangiabile	38
3.2. Globalizzazione	39
3.3. L'impoverimento del rapporto cibo cultura	42
3.4. Le alghe nella tradizione italiana	44
<b>4. Differenza tra alghe e microalghe</b>	51
<b>5. Coltivazione</b>	57
5.1. Varietà di microalghe	61
5.2. Storia della spirulina	63
5.3. Esempi in cucina	66
<b>6. Alla ricerca di un nuovo metodo di coltivazione</b>	69
6.1. Involucro edilizio	71
6.2. Casi studio	76
6.3. Spirulina fresca verso spirulina essiccata	83
<b>7. Esagonalghe</b>	85
7.1. Modulo di raccolta	88
7.2. Modulo di coltura	90
7.3. Collegamento angolare	94
7.4. La coltivazione	94
7.5. La protipazione	100
<b>8. Conclusioni</b>	103
<b>9. Ringraziamenti</b>	107
<b>Bibliografia e sitografia</b>	111

# INTRODUZIONE

Alla base di questo studio vige la concreta volontà di rivalsa nei confronti di una società, che per via della spinta consumistica, ci sta portando a delle conseguenze non reversibili. In particolare, si pone l'attenzione sull'ambito dell'alimentazione che, anche se non è risaputo, rappresenta uno dei più grandi mercati mondiali e di conseguenza è uno dei maggiori responsabili delle problematiche ambientali di cui si discuterà nel prossimo capitolo.

L'attenzione del sottoscritto nei confronti di questo tema nasce nel 2015 durante la visita all'EXPO di Milano. Fu lì che per la prima volta vidi esposto in maniera pungente il tema dello spreco alimentare nonché i problemi legati alla produzione e al consumo del cibo. Qui conobbi anche il tema delle microalghe grazie ad un'esposizione dell'EcoLogicStudio di Londra che vedremo tra i casi studio.

L'obiettivo di questa tesi è quello di fornire un'alternativa ecologica ed ecocompatibile di produzione alimentare lì dove serve di più, cioè in città. Le città sono ormai da tempo i centri nevralgici della vita umana. Tuttavia la totalità degli alimenti viene prodotta lontano dai centri abitati o addirittura in altri paesi con un impatto non indifferente.

La soluzione è stata individuata nell'utilizzo delle alghe come alimento per l'uomo. Essendo le alghe uno degli esseri viventi più antichi

nella storia della terra, esse conservano caratteristiche nutritive tipiche sia degli animali che dei vegetali e in più la loro produzione provoca impatti positivi sull'ambiente.

Per collocare la produzione lì dove serve, ho deciso di associare la produzione di alghe all'architettura, applicandola al rivestimento degli edifici con un sistema di moduli che formano facciate ventilate multifunzionali.

In prima persona ho condotto uno studio in loco, testando una specie di microalga molto diffusa, la spirulina. Dopo aver integrato la mia alimentazione con la mia coltura per qualche periodo, sono pronto a divulgarne il percorso che mi ha spinto verso questi alimenti, i risultati che ho riscontrato saranno esposti dettagliatamente nelle conclusioni finali di questa tesi.

# 1. SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Agli inizi del XXI secolo l'umanità si trova in una situazione di profondo squilibrio. I dati sui consumi ci dicono che una parte minoritaria della popolazione della terra usa la maggioranza delle risorse disponibili e conduce uno stile di vita che, se adottato da tutti, si stima potrebbe essere soddisfatto solo avendo a disposizione circa 4 pianeti. Si stima che, l'umanità usa circa il 30% in più di quanto il pianeta può produrre: stiamo consumando il capitale naturale invece di vivere degli interessi (ovvero le risorse che gli ecosistemi sono capaci di rigenerare ogni anno). La crescita sistematica delle ingiustizie sociali e la pesantezza degli impatti dell'attività umana sulla biosfera sollevano domande profonde sulla sostenibilità, ovvero la possibilità di continuare nel tempo, dei nostri attuali stili di vita. Approcci organizzativi e modelli di produzione/consumo ormai obsoleti vanno messi in discussione e ripensati.

Abbiamo pochi anni di tempo per diffondere una profonda consapevolezza sulle nuove priorità, per sviluppare le capacità, le strategie, gli strumenti e le azioni necessarie per attuare una trasformazione. È necessaria una grande campagna di sensibilizzazione.

Dobbiamo diffondere alimenti locali e prodotti a basso impatto a sfavore di prodotti usa e getta e alimenti con un forte impatto ambientale. Proprio in questo contesto si innesca la mia ricerca verso la specie di vegetali più antica e diffusa sulla terra: le alghe.

### **1.1 IMPATTO DEI GAS SERRA**

L'effetto serra è probabilmente il più pericoloso ed evidente risultato dell'operato umano sul nostro pianeta. La comunità scientifica sta chiedendo tagli del 50-90% delle emissioni. Dobbiamo rapidamente progettare e creare città e comunità a "zero emissioni". L'era dell'energia fossile a buon prezzo (che oggi alimenta l'80% dell'economia mondiale) è giunta al termine, anche se non lo si dà a vedere.

Dagli inizi del 1800 ad oggi, ma soprattutto in quest'ultimo mezzo secolo, la concentrazione di anidride carbonica in atmosfera sta aumentando, rispetto al periodo preindustriale è aumentata del 40%. Essa ha probabilmente raggiunto la più alta concentrazione degli ultimi 20 milioni di anni.

Le emissioni di gas serra sono in gran parte dovute alle emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), connesse, per quanto riguarda le attività antropiche, principalmente all'utilizzo dei combustibili fossili per i trasporti e il riscaldamento domestico. Tuttavia, contribuiscono in gran parte anche le emissioni di altri gas, quali: metano (CH<sub>4</sub>), le cui emissioni sono legate principalmente all'attività di allevamento, allo smaltimento dei rifiuti e alle perdite nel settore energetico e il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) derivante principalmente dalle attività agricole. Infatti, l'agricoltura ha un impatto negativo a causa della perdita significativa di carbonio contenuto nel terreno che è maggiore della quantità assorbita dalle piante durante il loro ciclo di vita.

È pur vero che le emissioni sono in diminuzione in Europa, ma l'impatto resta comunque altissimo ed essendo in aumento nelle economie emergenti (la Cina è oggi il maggior emettitore mondiale) resta in crescita a livello globale.

Nonostante l'impegno delle nazioni a ridurre le emissioni, appare difficile un cambio radicale se non cambiano le tecnologie e se non cambiamo i nostri usi. Ad esempio, dovremmo ridurre il consumo di carne poiché l'allevamento non è sostenibile; il metano emesso dal bestiame rappresenta il 18% dei gas serra presenti nell'atmosfera. Non si tratta di diventare vegani ma di ridurre i consumi a favore di alimenti vegetali.

Tuttavia, come accennato, nonostante l'agricoltura abbia anch'essa un certo impatto ambientale, ad oggi per molti appare come la soluzione migliore, ma non è realmente così. Rispetto alle altre forme di produzione, è da sottolineare che



Fonte: [www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com)



la coltivazione di alghe produce ossigeno assorbendo anidride carbonica durante tutto il suo ciclo di vita avendo un impatto ambientale totalmente positivo.

## 1.2 IMPATTO IDRICO

Il 96,5% dell'acqua presente al mondo è salata e per essere utilizzata deve essere desalinizzata, un processo costoso e potenzialmente dannoso per l'ambiente.

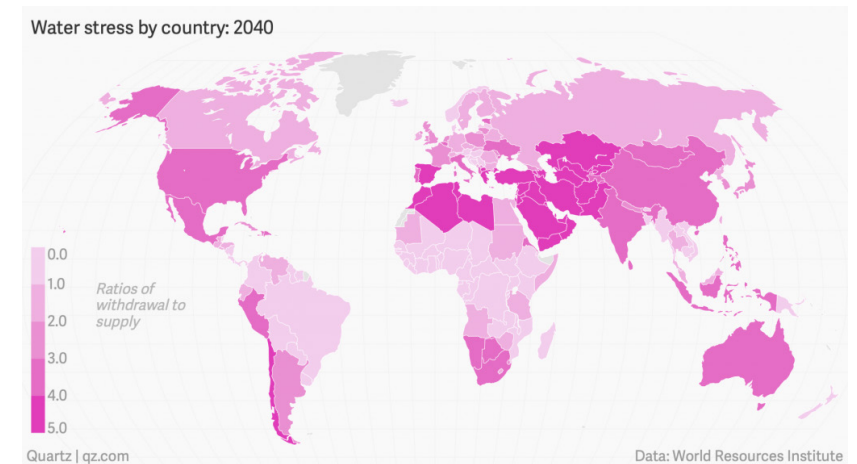
Di questo passo, spiega Peter Green, da qui al 2040 molti paesi faranno fatica a sostenere la richiesta di acqua a causa dell'ulteriore incremento della popolazione mondiale e dei fabbisogni domestici e industriali. Come sostiene il direttore dell'intelligence statunitense Dan Coats "Essa potrebbe diventare negli anni a venire una fonte di nuove guerre e instabilità politica"<sup>1</sup>. Ad esempio nel bacino del Nilo, condiviso da 10 paesi, la crescente tensione sul controllo delle sue acque ha già fatto presagire dei conflitti armati.

Il concetto di *Water Footprint* è stato introdotto dal professore Arjen Y. Hoekstra<sup>2</sup>. In varie ricerche ha considerato quanti litri d'acqua vengono usati per l'agricoltura, l'allevamento e le attività umane in generale. Andiamo a vedere insieme i risultati dei vari studi: iniziamo subito a dire che l'allevamento ha un impatto superiore a quello dell'agricoltura (ci sono quasi due ordini di grandezza tra carne bovina e frutta/verdura). Sommando impatto diretto e indiretto, infatti ci vogliono in media 15.000 l di acqua per produrre 1 kg di carne bovina, 4.800 l per 1 kg di maiale, 3.900 l per 1 kg di carne di pollame. E' elevato anche l'impatto dell'agricoltura da questo punto di vista: ci vogliono circa 3.000 l di acqua per produrre 1 kg di riso e ca 1.300 l per 1 kg di grano, mentre per frutta e verdura servono 960 e 320 l di acqua rispettivamente per ogni kg.



Un soldato presso la diga di Mosul, sul fiume Tigri

Fonte: <https://www.fanpage.it/esteri/oro-blu-inizia-l-epoca-della-guerra-dell-acqua-i-focolai-piu-pericolosi/>



Mappa rappresentante il livello di accesso all'acqua nel mondo

Fonte: World Resource Institute

### Note

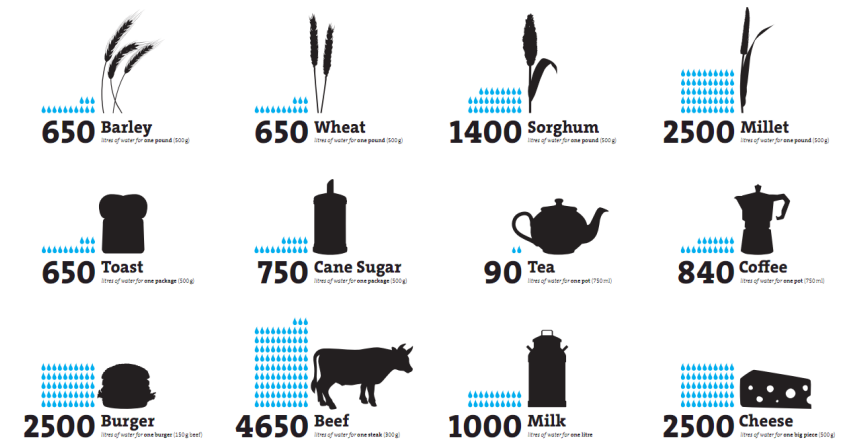
- <https://unita.news/2019/02/23/la-crisi-idrica-non-sta-arrivando-e-gia-qui/>
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Res Manag* 21(1):35-48

Purtroppo non è facile ridurre il fabbisogno idrico. Tuttavia esistono forme di produzione alimentare che non necessitano di acqua, o meglio di acqua dolce o che ne utilizzano in moderata quantità sfruttando dei sistemi chiusi. L'acquacoltura di alghe marine ad esempio, che si svolge direttamente in mare, non richiede ulteriore acqua se non quella marina. La coltivazione di microalghe, che avviene all'interno di recipienti dove l'acqua è in ricircolo continuo, permette la produzione di grandi quantità di vegetali con piccoli sprechi idrici. Detto questo resta evidente la grande convenienza rispetto ai classici sistemi di produzione alimentare in termini ambientali e non solo.

### 1.3 PRODUTTIVITÀ

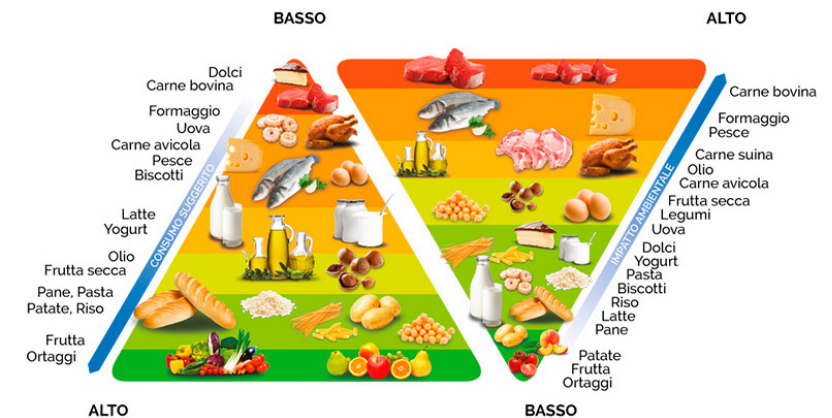
La produttività è il rapporto tra lo spazio occupato, le risorse immesse nel sistema produttivo e i ricavi in termini di quantità del prodotto atteso. L'ideale è quindi un alimento che impieghi il minor numero di risorse e garantisca un ottimo raccolto. Ovviamente la sicurezza sul raccolto, che spesso è intaccata dagli agenti atmosferici, influisce molto in questo indice. Secondo uno studio pubblicato sulla rivista scientifica Proceedings of the national academy of sciences, la porzione della dieta degli statunitensi basata sugli animali occupa circa 3,7 milioni di km<sup>2</sup> per la coltivazione del foraggio e il terreno da pascolo, equivalente a circa il 40% di tutto il territorio della nazione, o a 12.000 m<sup>2</sup> per persona (circa due campi da calcio). L'acqua necessaria è 45 miliardi di m<sup>3</sup> e i fertilizzanti usati sono la metà di quelli totali.

Lo studio termina dicendo che l'allevamento degli animali richiede molta più acqua, più territorio e più fertilizzanti rispetto alla coltivazione di piante utilizzate direttamente come cibo. Infatti, utilizzando le risorse vegetali usate per sfamare una mucca direttamente per sfamare degli esseri umani, si avrebbe una redditività di circa il triplo.



Impatto idrico in base all'alimento

Fonte: <http://www.virtualwater.eu/>



Piramide alimentare e piramide ambientale

Fonte: [https://www.barillaacfn.com/it/divulgazione/doppia\\_piramide/](https://www.barillaacfn.com/it/divulgazione/doppia_piramide/)



Impatto annuale in termini di spazio utilizzato per l'alimentazione di ogni individuo

Fonte: <https://www.barillaacfn.com>

Il dott. J.W.Hongo nello studio scientifico del The annual average afferma che la produzione giornaliera in un contesto industriale di Spirulina essiccata al metro quadro è di 8.9 grammi, mentre quella di un comune grano duro si aggira intorno ai 5 grammi al giorno. Tutto questo senza considerare le incredibili proprietà nutrizionali e non solo che le alghe hanno da offrirci e che vedremo in seguito.

Questo dimostra che anche a livello di produttività queste specie acquatiche sono un'alternativa non più trascurabile.

## 2. USI DELLE ALGHE

Al giorno d'oggi pensare alle alghe solo come un alimento è a dir poco riduttivo. Sarebbe meglio parlare delle alghe definendole una materia prima. Infatti i risvolti utili di questa specie di vegetali sono molteplici. Tralasciando l'enorme beneficio a livello di depurazione dell'aria che le alghe naturalmente esistenti apportano al nostro pianeta (circa la metà dei vegetali esistenti al mondo sono alghe), possiamo elencare una serie di usi delle stesse che stanno innovando alcuni settori.

## 2.1 MANGIMI PER ANIMALI E FERTILIZZANTI

Nonostante abbiamo parlato del settore dell'allevamento e del settore dell'agricoltura come settori con impatti ambientali sfavorevoli, esistono dei metodi per ridurre tale impatto. In entrambi i casi si tratta di utilizzare materie prime biologiche per produrre cibi biologici e salvaguardare l'ambiente. A tal proposito esistono svariati tipi di alghe che, in base ai bisogni e alle lavorazioni, si prestano benissimo a diventare mangimi per allevamenti di animali o liquidi e polveri fertilizzanti per l'agricoltura bio.

Gli estratti di alghe sono dei prodotti ottenuti tramite la lavorazione di alghe rosse, verdi o brune. Nel caso dell'agricoltura si usano estratti contenenti polisaccaridi, alcoli, fenoli e composti ad effetto ormone-simili. Ad esempio, i polisaccaridi sono i veri mattoni con cui vengono costruite le cellule vegetali. Sono sostanzialmente zuccheri, come gli alginati e il mannitolo, e favoriscono la crescita delle cellule, delle foglie, dei frutti e di tutta la pianta in generale. È grazie a loro che si possono avere mele, pere, kiwi, pomodori e ogni tipo di frutto più grande del normale. Tutto in modo assolutamente naturale.

In più, Mangimi & Alimenti, una nota rivista del settore, dichiara: "Gli studiosi hanno già realizzato mangimi contenenti microalghe al posto della farina di mais e di soia. Li hanno poi testati su suini e pollame. Hanno così scoperto che, rispetto ai

mangimi tradizionali, forniscono un maggiore apporto di acidi grassi e ferro. Si tratta di due sostanze ritenute fondamentali per la dieta dei maiali. Inoltre, gli acidi grassi omega 3 e omega 6 presenti nelle alghe migliorerebbero il contenuto nutrizionale della carne di pollo. I ricercatori stanno ancora perfezionando i loro mangimi alle alghe ma dichiarano di essere convinti dell'utilità di utilizzare le piante marine al posto dei cereali. In questo modo, spiegano, la produzione degli alimenti zootecnici risulta più sostenibile. Inoltre, i mangimi prodotti con le microalghe risultano meno indigesti per gli animali”.

## 2.2 BIO-CARBURANTI

Gli scienziati ritengono che potrebbero esistere fino a 800 mila diverse specie di alghe<sup>1</sup>, ognuna delle quali è dotata di caratteristiche e profili nutrizionali specifici. Alcune, pertanto, potrebbero essere utilizzate proficuamente per produrre alimenti per animali, umani o fertilizzanti per vegetali ma anche biocarburanti.

Per capire di cosa stiamo parlando è bene spiegare cosa siano i biocarburanti o il cosiddetto biodiesel. I biocarburanti sono combustibili derivati da composti organici di natura vegetale, come mais, canapa o altri rifiuti dell'industria agricola. Hanno il vantaggio di non inquinare e di evitare l'estrazione di carburanti fossili come il petrolio e il gas metano, diminuendo drasticamente le emissioni di CO<sub>2</sub>.

I biocarburanti delle alghe si inseriscono in questa categoria, presentando notevoli vantaggi competitivi rispetto agli altri carburanti vegetali. Uno fra tutti è che non hanno esigenze di spazio o di terreno fertile, pertanto non sottraggono spazio all'agricoltura e non incentivano la deforestazione. In più esse fissano anidride carbonica.



Biodiesel dalle microalghe, a Modena il primo impianto di produzione in Italia

Fonte: <http://www.modenatoday.it/cronaca/teregroup-produzione-biodiesel-alghe-modena.html>

### Note

1. <http://www.ruminantia.it/alghe-ingrediente-base-per-la-produzione-di-mangimi-e-biocarburanti/>

## 2.3 BIO-PLASTICHE

La plastica petrol-based rappresenta un grande un problema per l'ambiente. Negli ultimi decenni si sono sviluppate alternative di origine naturale ai polimeri estratti dal petrolio. Oppure polimeri petrol-based ma biodegradabili che non hanno un impatto prolungato di smaltimento. Tuttavia la condizione ideale si verifica quando il materiale è sia di origine naturale e sia biodegradabile. Quest'ultimo è il caso di polimeri come il PLA, l'acido polilattico estratto dal mais che risulta biodegradabile. Ma c'è di più, arriva dall'Università di Tel Aviv l'ultima alternativa alla tradizionale plastica di origine fossile<sup>2</sup>: qui un gruppo di ricercatori ha prodotto alcuni biopolimeri dalle alghe, in un processo che non richiede né suolo né l'utilizzo di acqua dolce. L'invenzione è il frutto di una collaborazione multidisciplinare tra la scuola di Scienze Ambientali e quella di Chimica ateneo, impegnate a sfruttare fonti di carbonio non convenzionali per la sintesi plastica. Come riportato nell'articolo su Bioresource Technology, lo studio descrive il processo per produrre polimeri biodegradabili e compostabili a partire dal lavoro svolto dal batterio *Haloferax mediterranei*. Questo microorganismo è in grado di produrre poliidrossialcanoati o PHA (molecole di poliesteri termoplastici) attraverso la fermentazione dello zucchero presente nelle macroalghe. I PHA hanno un vantaggio rispetto ai convenzionali polimeri sintetici a base di petrolio, come il polietilene: sono completamente biosintetici e biodegradabili, non possiedono elementi tossici e sono completamente riciclabili come rifiuti organici. "La plastica impiega centinaia di anni a decadere, quindi bottiglie, imballaggi e sacchetti creano una sorta di 'continenti' di plastica negli oceani, mettendo in pericolo gli animali e inquinando l'ambiente", afferma il dott. Alexander Golberg, uno degli autori della ricerca<sup>3</sup>. "Una soluzione parziale a questa epidemia è rappresentata dalla bioplastica, che non usa petrolio e si degrada rapidamente". Tuttavia anche questo



Ari Jónsson della Iceland Academy of Arts ha realizzato una bottiglia combinando polvere di alga rossa e acqua

Fonte: <https://www.viverezen.it/giornale-bio/bottiglie-biodegradabili/>



Jonas Edvard e Nikolaj Steenfatt hanno utilizzato nuovo materiale fatto con alghe e carta per creare una sedia e una collezione di lampade a sospensione

Fonte: <https://www.dezeen.com/2015/01/11/algae-glue-seaweed-paper-furniture-jonas-edvard-nikolaj-steenfatt/>

### Note

2. <http://www.rinnovabili.it/ambiente/biopolimeri-dalle-algae/>

3. Ibid.

prodotto ha prezzo ambientale: coltivare le piante da cui arriva la materia prima per i biopolimeri oggi sul mercato, significa usare suolo fertile e acqua dolce. Ecco che le alghe ancora una volta rappresentano un'alternativa vincente.

## 2.4 ALIMENTI UMANI

Oggi, ad abitare la Terra siamo in 7 miliardi e mezzo, ma la crescita della popolazione è diventata tumultuosa solo a partire dalla Rivoluzione industriale (metà dell'Ottocento). Cento anni fa il pianeta contava due miliardi di persone e diciassette anni fa eravamo sei miliardi. Dovremmo toccare gli 8 miliardi tra cinque anni.

Cinquant'anni fa, nel maggio del 1968, usciva un libro che segnò un'epoca con le sue previsioni fosche sul futuro che attendeva l'umanità sulla Terra, *The Population Bomb*. Paul Ehrlich, un autorevole studioso dell'Università di Stanford (California), che proprio grazie a quel libro diventò famoso in tutto il mondo, sosteneva che il nostro pianeta era alle soglie di una crisi drammatica e irreversibile: con la crescita esplosiva della popolazione, stava per aprirsi un'era in cui non ci sarebbe stato abbastanza cibo per tutti.

Se le previsioni di Ehrlich sulla catastrofe alimentare non si sono avverate, grazie anche alla cosiddetta Rivoluzione Verde<sup>4</sup>, che ha consentito di aumentare in maniera netta le rese agricole e ha così evitato (o spostato in avanti) lo scenario di scarsità di cibo che poteva sembrare imminente, ci sono oggi altre preoccupazioni.

Sul piatto della bilancia dei problemi del pianeta pesano i cambiamenti climatici e il problema viene visto non più tanto nel numero assoluto degli abitanti, ma nel peso imposto all'ambiente e nello squilibrio tra il nord e il sud del mondo. Il 7% della popolazione mondiale è responsabile del 50% delle emissioni.

In questo scenario è ovvio che la Rivoluzione Verde che ci ha



Bevanda con spirulina

Fonte: <https://www.sunhome.ru/journal/19203>

### Note

4. Il termine rivoluzione verde è stato coniato per indicare un approccio innovativo ai temi della produzione agricola che, attraverso l'impiego di varietà vegetali geneticamente selezionate, fertilizzanti, fitofarmaci, acqua e altri investimenti di capitale in forma di nuovi mezzi tecnici e meccanici, ha consentito un incremento significativo delle produzioni agricole in gran parte del mondo tra gli anni quaranta e gli anni settanta del secolo scorso



permesso di svilupparci fino ad ora non è più abbastanza. Nuove tecnologie e soprattutto nuove abitudini devono entrare a far parte delle nostre vite. A tal proposito le alghe si pongono come aiutanti in questo processo.

Ma perché le alghe come fonte di cibo? Agricoltura e allevamento, consumano il 70% dell'acqua dolce disponibile sulla terra, le alghe invece risultano non dipendere dall'acqua dolce per crescere e prosperare. Inoltre, il nostro consumo di carne comporta lo sfruttamento di un'enorme porzione delle risorse limitate del pianeta. Le alghe, possono crescere in stagni, oceani e persino acquari, sono ricche di sostanze nutritive e richiedono pochissime risorse per crescere. Potrebbero persino crescere in un deserto!

Inoltre, le abitudini alimentari umane medie sono allarmanti. Ad esempio, i dati rivelano che l'uomo americano medio consuma 100 grammi di proteine al giorno, quasi il doppio della quantità effettivamente necessaria. Pertanto, alternative come le alghe come fonte di cibo diventano non solo un'opzione, ma una necessità.

Vengono coltivate, raccolte ed essiccate e trasformate in polvere e così conservate a lungo e utilizzate poi nella preparazione di prodotti alimentari di facile consumo, come pane, pasta, biscotti o bevande.

Le microalghe, ad esempio, rappresentano fonti di grande interesse per l'estrazione di prodotti particolarmente efficaci nel supporto all'alimentazione umana come oligoelementi, vitamine, carotenoidi e proteine. Fra i prodotti più interessanti il carotene, l'astaxantina, la vitamina B12, gli acidi grassi polinsaturi, omega 3-DHA, omega 6 e altre biomolecole ad alto valore nutraceutico.

La loro integrazione da 2 a 5 g al giorno ai pasti è un valido aiuto sia per colmare carenze nutrizionali, sia per migliorare il proprio benessere perché stimola il sistema immunitario e produce un effetto tonico e rigenerante sull'intero organismo.

Riepilogando, i vantaggi nello sfruttamento della produzione massiva di microalghe a scopo alimentare integrato sono:

- Nessuna competizione con altre risorse alimentari
- Riutilizzo di terreni non coltivabili o contaminati
- Elevato tasso di crescita
- Elevato contenuto in proteine, integratori e molecole bioattive
- Produzione continua durante l'anno
- Limitata richiesta di acqua
- Manipolazione della produzione delle sostanze di interesse
- Non richiedono uso di pesticidi o erbicidi
- Utilizzo della biomassa per estrazione di numerosi composti e molecole attive

L'unica barriera che, come popolo occidentale, ci separa dal consumo di alghe come alimento è quella culturale.

### **3. ANTROPOLOGIA DEL CIBO**



Uomo del 10.000 a.C alle prese con un mammoth

Fonte: estratto del film "10.000 AC" del 2008, diretto e sceneggiato da Roland Emmerich

Fin dalla sua nascita l'uomo ha interagito con la natura in base a un imperativo dominante: sopravvivere. Per lunghissimo tempo tale imperativo si è fondato, oltre che sul bisogno di proteggersi da ambienti climatici a volte molto avversi, soprattutto sulla capacità di risolvere a proprio favore l'alternativa tra mangiare o essere mangiato. Vagabondando alla ricerca di cibo dalla notte dei tempi, l'uomo ha cercato la propria sopravvivenza in due pratiche principali: la raccolta di ogni possibile oggetto commestibile e la caccia. Secondo Benedict Anderson, uno dei più importanti studiosi di etologia umana, "l'uomo ha vissuto come cacciatore-raccoglitore per il 99 per cento della sua storia, e questo può averlo modellato anche biologicamente"<sup>1</sup>. Che si trattasse di cogliere un frutto da un albero o uccidere una preda, la relazione dell'uomo con l'ambiente che lo circonda è sempre stata trasformativa. Anderson afferma: "A mio avviso la sola teoria credibile dell'evoluzione della dieta umana è che i primi ominidi migliorarono sempre più nella loro qualità di onnivori. Migliorarono nel trovare carne, cercando carogne e cacciando, ma anche nel trovare radici, semi, germogli, uova, e qualunque altra cosa commestibile. [...] Il solo modo in cui un animale con un cervello grande ed esigente può sopravvivere è usandolo per pensare come ottenere il massimo nutrimento col minore sforzo"<sup>2</sup>.

Le prime elaborazioni 'culturali' dell'uomo furono quindi largamente rivolte al tema di come trovare cibo e lasciare spazio a una propensione onnivora fuori dal comune. Altri animali perseguono una strategia opposta, quella di una dieta molto selettiva e coerentemente possiedono un cervello di dimensioni assai ridotte. Quello del koala è il caso limite visto che questo animale, dal cervello notoriamente piccolo, mangia solo foglie di eucalipto. L'uomo invece deve dedicare un'enorme quantità di energia mentale per affinare gli strumenti cognitivi e sensoriali atti a distinguere quali alimenti, tra i molti disponibili, sono sicuri da mangiare.

#### Note

1. Barilla Center For Food & Nutrition, *La dimensione culturale del cibo*, Mantova, Ambrosetti (2015), pag.

2. Barilla Center For Food & Nutrition, *La dimensione culturale del cibo*, Mantova, Ambrosetti (2015), pag.

Quando un onnivoro si imbatte in qualcosa di nuovo o potenzialmente commestibile si trova ad affrontare due sentimenti contrastanti, la neofobia, cioè la paura di mangiare una sostanza sconosciuta, e la neofilia, cioè il desiderio di aprirsi a nuovi sapori. Questi "sentimenti" sono totalmente sconosciuti agli animali con un'alimentazione specializzata. L'uomo, in quanto onnivoro, è dotato di straordinarie capacità di riconoscimento e di memoria che gli consentono di evitare veleni e di ricercare i cibi più nutrienti. In questo processo l'uomo è aiutato dal senso del gusto, che lo porta spontaneamente verso il dolce, segnale di ricchezza di carboidrati energetici, e gli fa evitare l'amaro, caratteristica di molti alcaloidi velenosi sintetizzati dalle piante, così come segnala tramite il disgusto cibi potenzialmente dannosi come il cibo scaduto o avariato. Per l'uomo, il fatto di essere onnivoro, quindi generalista, rappresenta al tempo stesso un vantaggio e una sfida. La flessibilità data dall'assenza di specializzazione alimentare ha consentito agli esseri umani di colonizzare tutti gli habitat della terra, adattandosi quindi alle differenti tipologie di cibo offerte. Di contro, gli onnivori devono spendere tempo ed energie a comprendere cosa mangiare, secondo una visione ultimamente manichea del cibo: da una parte quello buono, dall'altra quello cattivo.

### 3.1 CLASSIFICAZIONE CULTURALE DEL MANGIABILE

Oltre a dover contare sui propri sensi e sulla memoria, nella scelta del cibo gli individui si basano sulla cultura e sulle tradizioni che conservano il sapere e l'esperienza cumulata di innumerevoli "assaggiatori" prima di loro. La cultura codifica le regole di una saggia alimentazione con una complessa serie di tabù, rituali, ricette, regole e tradizioni. Tutto ciò consente agli esseri umani di non dover affrontare ogni volta il dilemma dell'onnivoro. Se l'uomo come specie è pronto a inghiottire quasi qualunque cosa, va detto che le varie società umane ten-

dono a restringere parecchio la nozione di cosa costituisce un alimento. È ben noto che cavallette e termiti sono considerate una ghiottoneria in molti paesi africani, mentre fanno normalmente ribrezzo in Occidente. Fra delizia e disgusto sembra esistere un confine sottile, e quasi sempre tale confine è dettato culturalmente. Il disgusto (etimologicamente derivato dal concetto alimentare di gusto) è la paura di introiettare sostanze che risultino dannose per il corpo. Alcune cose hanno il potere di disgustare individui appartenenti a tutte le società umane. Ma specifiche società esprimono forme di disgusto piuttosto idiosincratice, che spesso non hanno altra ragione se non lo sviluppo culturale di norme e abitudini. Anche nelle società occidentali, a seconda delle regioni e dei gruppi sociali, alimenti come lumache, rane, interiora di animali possono essere tanto osannati quanto considerati repellenti.

Questa tendenza, che può essere vista come una barriera conservativa all'innovazione culturale, è in realtà solo un freno inibitorio che ci permette di conservare la propria identità come popolo o che almeno, rallentando il processo di accettazione di nuovi alimenti, lascia il tempo ad essi di essere integrati nella cultura attuale senza stravolgerla ma arricchendola. Dopotutto il mondo è bello perché è vario.

### 3.2 GLOBALIZZAZIONE

In passato, il mutamento della cultura alimentare era, per lo più, dovuto a fenomeni di natura migratoria. Oggi la globalizzazione, una crescente mobilità tra Paesi, il desiderio di scoperta dei tratti caratteristici delle altre civiltà, nonché le strategie di espansione industriale di alcune realtà multinazionali, hanno modificato il paesaggio culinario. Nel corso degli ultimi decenni, perciò, la distinzione tra gli approcci alla cucina tipici delle grandi tradizioni alimentari e le preferenze alimentari manifestate a livello individuale è diventata sempre più confu-

sa. Si potrebbe pensare che la messa a disposizione dei saperi di quasi tutte le culture abbia giovato alla messa in tavola dei più sani alimenti provenienti da tutto il mondo per dare vita ad una cucina internazionale frutto delle più positive esperienze, ma non sempre è così. Il fenomeno della mcdonaldizzazione<sup>3</sup> delle abitudini alimentari a livello mondiale è un fatto, così come l'ampio sviluppo in Occidente dei ristoranti etnici, che però sono un fatto un po' meno preoccupante.

In Cina, ad esempio, l'avvicinamento al fast food è avvenuto tramite la televisione e il cinema, che ne hanno diffuso la conoscenza e soprattutto il "desiderio". Il fenomeno è successivamente "esploso" nei centri urbani perché il modello di ristorazione e di consumo proposti rappresentavano "un'esperienza", la scoperta di quella vita americana che vedevano solamente nei film.

Generalmente, l'avvicinamento a modelli alimentari di estrazione americana così come alla cucina etnica, è perlopiù avvenuto attraverso la ristorazione commerciale. In Italia, ad esempio, dove questo processo è arrivato con ritardo rispetto ad altri Paesi, a causa di una più radicata tradizione alimentare preesistente, l'avvicinamento alla cucina etnica, è dapprima avvenuto con il ristorante cinese al quale si sono poi affiancate anche altre cucine: cucina indiana, cucina tex-mex e spagnola che, nel giro di pochi anni, sono diventate le più gradite soprattutto tra i giovani. Più recentemente, forse anche in linea con una visione più salutistica del cibo, ha avuto uno strepitoso successo la moda della cucina giapponese. Oggi si moltiplicano i ristoranti stranieri: thailandesi, sudamericani, africani, multietnici e fusion.

Attraverso i ristoranti, gli italiani, così come gli abitanti di altri Paesi, hanno incominciato a scoprire nuovi sapori che spesso desiderano replicare nelle proprie abitazioni, aprendo così alla distribuzione commerciale di prodotti etnici. Anche se gli italiani non sono ancora arrivati a mangiare formiche, il consumo



In *Pulp Fiction*, capolavoro firmato Quentin Tarantino, ricordiamo la discussione tra Jules Winfield e Vincent Vega sul nome francese del "Quarter Pounder" con formaggio, storico panino da fast food.

Fonte: estratto del film "Pulp Fiction" del 1994, diretto da Quentin Tarantino



*Ultimatum alla Terra*, in questo remake Klaatu (Keanu Reeves) incontra un membro della sua stessa razza aliena che si era nascosto tra gli umani nel più "umano" dei luoghi: un McDonald's.

Fonte: estratto del film "Ultimatum alla terra" del 2008, diretto da Scott Derrickson

#### Note

3. La McDonaldizzazione è un termine utilizzato spesso come sinonimo di globalizzazione del brand. Prende spunto dalla politica del lavoro attuata dalla società di fast food McDonald's in varie parti del mondo

di prodotti stranieri, cresce.

Il lato cattivo della medaglia è che, soprattutto nei paesi dove le trazioni culinarie non sono marcate, il risultato è la totale perdita delle stesse. Mentre in passato le varie culture si mischiavano sapientemente col passare del tempo e grazie alla saggezza popolare, oggi, con i fenomeni di comunicazione di massa, assistiamo ad un poutpourri disordinato di culture che si sovrappongono più che intrecciarsi.

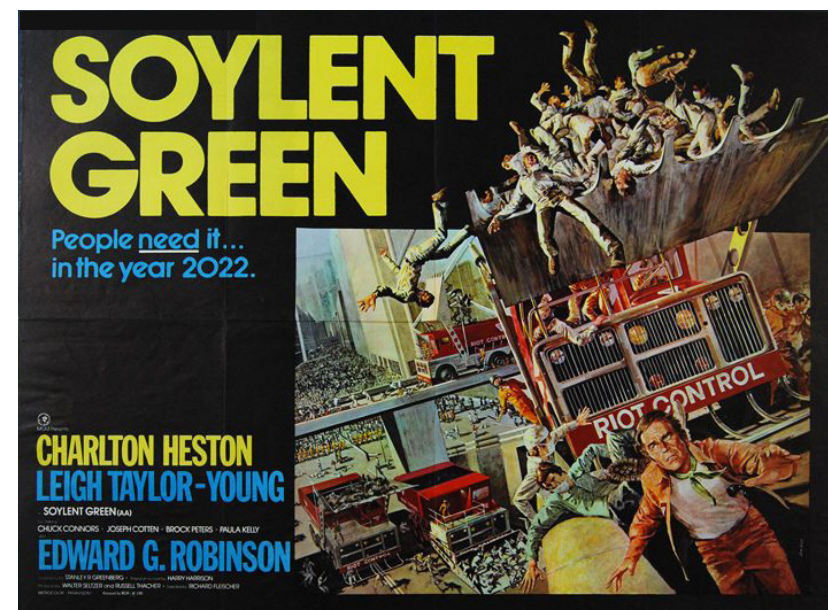
### 3.3 L'IMPOVERIMENTO DEL RAPPORTO CIBO-CULTURA

Come se non bastasse, nella società odierna, una società che ci vuole veloci, pronti, affamati di soldi più che di valori e di cibo, il rapporto culturale e di piacere verso quest'ultimo va scemando. Sempre più gente acquista cibi pronti e sempre meno gente cucina a casa e preferisce ordinare da uno dei servizi di delivery in ascesa. Un esempio lampante e sconcertante di questa tendenza è il caso di "Soylent", un prodotto, finanziato per milioni e milioni di dollari, ispirato dai film futuristici degli anni 90 che proponevano cene a base di pillole che sostituissero i pasti. Esso infatti è un integratore in polvere o in bottiglia che promette di diventare l'alimento per eccellenza del futuro sostituendo in toto i pasti con una pappetta insapore che costa meno del cibo vero; è pronta da sheckerare e ingerire nutrendoti meglio di qualsiasi pasto tu posso assemblare. Il creatore crede che nel breve futuro "Soylent" sarà distribuito in tutte le case tramite i rubinetti come l'acqua.

A primo acchito sembra una figata: mai più perdita di tempo ai fornelli, mai più dubbi su cosa mangiare, mai più carenze alimentari, ecc... Ovviamente tutto questo non è vero e "Soylent" non è miracoloso come dice di essere. Ma anche quando lo fosse non potremmo dimenticarci che il cibo, al contrario di quello che ci porta a pensare lo stile di vita contemporaneo, è uno dei piaceri della vita, nonchè un'esperienza culturale in



Varianti di Soylent, nella versione liquida, in base al gusto.  
Fonte: articolo in vendita su Amazon.com



Film del '73, ambientato nell'2022, dal quale il prodotto contemporaneo prende il nome. Peccato che il cibo di nome *Soylent* presente nel film si dimostri alla fine fatto di carne umana

Fonte: locandina del film "Soylent green" del 1973, diretto da Richard Fleischer

senso stretto. Il cibo ha una valenza culturale che va ben oltre il suo ruolo di mero strumento per l'acquisizione dei micro e macro nutrienti necessari al corretto funzionamento dell'organismo umano. Il cibo, strettamente legato ai fenomeni storici, sociali, demografici ed economici, risulta essere al tempo stesso specchio e memoria delle diverse culture che l'hanno influenzato, originato e diffuso. Si assiste oggi a una vera e propria perdita culturale, legata al fatto che le generazioni attuali non mangiano più quello che genitori e antenati hanno mangiato, adottando stili alimentari conformati.

Come è facile comprendere, gusto e tradizione rappresentano elementi che evidenziano in modo significativo l'importanza che svolge, soprattutto oggi, il tema della memoria.

Se esiste un termine che possa racchiudere in sé le principali criticità dell'attuale rapporto fra l'uomo e il cibo, gli elementi di rottura con il passato e i motivi di preoccupazione per gli sviluppi futuri, questo è rappresentato, forse, proprio dalla "memoria". Allo stesso tempo bilancio del presente e auspicio per il futuro.

Non si vuole infatti negare l'inarrestabile corsa verso il progresso ma semplicemente si vuole mettere attenzione sulla scelta della linea progressista da seguire.

### 3.4 LE ALGHE NELLA TRADIZIONE ITALIANA

Il crescente successo della cucina orientale sta rilanciando l'uso delle alghe in cucina. La più famosa è certamente l'alga Nori (*Porphyra tenera*), quella che avvolge il sushi e che, essiccata e sbriciolata, diventa anche un ottimo condimento per minestre e insalata. In Europa prima dell'avvento della cucina cinese sembrava non essere considerato un alimento. Ma in Italia, la seconda nazione europea per estensione costiera (dopo la Grecia), non poteva non esistere un precedente nell'utilizzo delle alghe come alimento.



Sushi avvolto con alga Nori

Fonte: <http://navolarerestaurant.com/2018/08/27/fabrican-las-algas-nori-sushi/>

Infatti nella gastronomia italiana troviamo molti piatti in cui compaiono le alghe. Certo, non assumono la grandissima rilevanza che hanno nella cucina giapponese o estremo-orientale, ma senza dubbio ne testimoniano l'accettazione culturale nonché la presenza sul territorio.

Il primo piatto da segnalare è un antico cibo di strada. La preparazione più famosa a base di alghe è costituita dalle zeppoline napoletane (le "zeppulelle", dette anche pasta cresciuta o sgonfiotti con le alghe), ossia degli impasti di farina e lievito fritti resi più gustosi dalla tipica alga italiana, la lattuga di mare (Ulva Lactuca) fresca. Si tratta di un piatto antichissimo, nato come "street food" per le vie di Napoli, e spesso per i più poveri costituiva l'unico piatto della giornata.

In Sardegna, ma anche in Puglia, può capitare di trovare la lattuga di mare frita. Spesso servita soprattutto in Sardegna insieme agli spaghetti con gamberi e bottarga. Oltre alla bottarga, a Carloforte viene da sempre utilizzata per condire primi e secondi a base di tonno.

Qualcuno, tuttavia, si spinge ad utilizzare la lattuga di mare nella pasta, ad esempio con delle ottime linguine con cipolla e limone: le alghe, in questo caso, vengono aggiunte al soffritto e rosolate per non più di un paio di minuti. Altri la scelgono come ingrediente per il ripieno dei ravioli. Sul litorale laziale capita di trovare anche ricette come i tagliolini conditi con alici, fave e panna, con la lattuga di mare cruda come tocco. Allo stesso modo può essere utilizzata, sempre cruda, come condimento di un'insalata di mare o anche di terra. Sul Delta del Po, poi, si possono trovare ottimi gnocchi di patate con vongole, calamari e lattuga di mare. Come si vede, più che una lattuga è una sorta di "prezzemolo di mare" che può essere utilizzato per dare un tocco di brio a qualsiasi piatto a base di pesce, dagli spaghetti con le vongole fino ai risotti e ai secondi di pesce. La lattuga di mare, essiccata, dà anche vita a un originale "origano di mare".



Zeppulelle napoletane

Fonte: [https://www.tripadvisor.ca/LocationPhotoDirectLink-g194687-d10512588-i352126636-Pizzeria\\_Pulecenella-Batipaglia\\_Province\\_of\\_Salerno\\_Campania.html](https://www.tripadvisor.ca/LocationPhotoDirectLink-g194687-d10512588-i352126636-Pizzeria_Pulecenella-Batipaglia_Province_of_Salerno_Campania.html)



Lattuga di mare con sesamo

Fonte: <https://foodiestrip.blog/foodies/cibo-e-salute/superfood-cosa-sono-e-cosa-ce-di-vero/>



Ma le lattughe di mare non sono le sole alghe presenti nella cucina italiana. In Sicilia, nella zona di Acireale e di Catania, un tempo era assai diffuso il mauro (o mauro), insalata a base di alcune alghe rosse locali (*Chondrus crispus*, *Calliblepharis jubata*, *Grateloupia filicina* e *Gigartina acicularis*) condite semplicemente con acqua e limone. Un autentico sapore di mare concentrato. Anche in questo caso, a valorizzare le alghe è stato lo "street food" siciliano, con diversi chioschetti che vendevano questa pietanza economica e assai popolare. Le alghe si raccoglievano lungo le coste, laddove le acque erano più limpide. E oggi, tra inquinamento e urbanizzazione, il mauro è diventato una vera rarità, roba da intenditori, ognuno con il suo raccoglitore di fiducia e i suoi posti "segretissimi" dove le alghe vengono prelevate tra aprile e giugno.

Quindi, nonostante le alghe in Italia siano tornate alla ribalta grazie al successo delle cucine cinesi e giapponesi, che in questo caso rappresentano la parte "buona" del fenomeno della globalizzazione culinaria, esse sono state e spesso sono un alimento utilizzato e accettato nel corso della storia dalla cultura italiana. Tornando al discorso della classificazione culturale del mangiabile, esse sono quindi uno di quegli alimenti che facilmente potrebbe tornare alla ribalta e potrebbe assumere un'importanza sempre maggiore nella nostra cultura. L'accettazione culturale a partire dalle realtà citate e dall'accostamento di esse a piatti tipici, unita ad una solida politica di informazione, sarebbe un ottimo punto di partenza per una maggiore diffusione nel nostro territorio di un alimento così prezioso e abbondante che si va a coniugare così bene con le tradizioni esistenti implementandone i gusti e le proprietà.



Tonno e lattuga di mare

Fonte: <https://www.finedininglovers.fr/blog/a-boire-et-a-manger/algues-cuisine-recettes/>



Mauro

Fonte: <https://www.dissapore.com/ristoranti/sicilia-5-piatti-sconosciuti-da-provare/>

## **4. DIFFERENZA TRA ALGHE E MICROALGHE**

Arrivati a questo punto della trattazione diventa importante fare una distinzione tra macroalghe e microalghe, ma prima vediamo la definizione di alga: "uno qualsiasi dei vari organismi fotosintetici principalmente acquatici, che vanno dalle forme a cellula singola alle alghe giganti"<sup>1</sup>. Partendo da questa definizione possiamo immaginare in cosa si differenziano le due sottocategorie di alghe. Le microalghe sono piante acquatiche, fotosintetiche e microscopiche composte anche da una sola cellula, infatti non è possibile individuarle a occhio nudo, tuttavia quando sono sospese in acqua in grandi concentrazioni esse diventano visibili come insieme. Anche i cianobatteri, diatomee e alcuni dinoflagellati che non sono definibili come veri e propri vegetali, rientrano nella categoria delle microalghe. Le macroalghe invece sono alghe di dimensioni visibili.

In ogni caso possiamo affermare che esse sono gli esseri più antichi che esistano. Le alghe, infatti, furono i primi esseri viventi a comparire sulla Terra, quando le acque si raccolsero nei mari. Furono le alghe marine a iniziare la vita sul nostro pianeta e per milioni d'anni vissero da sole. Quasi tutte si riproducono per via asessuata, vale a dire che non hanno bisogno dell'incontro di una parte maschile e femminile per generare. Una parte della pianta, o di una cellula, si distacca e diventa un nuovo individuo.

Sia le micro che le macroalghe possono essere di acqua dolce o di acqua salata in base all'habitat nel quale crescono, cioè mari o laghi. Entrambe le categorie rappresentano un ottimo alimento per l'uomo e un toccasana per l'ambiente. Ovviamente le alghe di mare sono coltivate in mare, invece le alghe di lago, quindi di acqua dolce (spesso detta salmastra), possono essere coltivate in ambienti controllati poiché è più facile riprodurre le condizioni ideali di sviluppo. Questo permette la produzione in massa di alghe in luoghi nel mondo dove normalmente non crescerebbero e dove il bisogno di cibo è alto. Un classico esempio sono i paesi del terzo mondo, dove esse

#### Note

1. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

rappresentano una risorsa da sfruttare al massimo, in cui l'insolazione è assicurata e dove vi è un forte bisogno di alimenti dall'alto potere nutrizionale e ricostituente, ma non solo. Le città in generale sono luoghi con una concentrazione demografica elevatissima e di conseguenza in quelle aree la domanda di cibi è altrettanto alta. Questo genera un flusso di cibo che viene prodotto altrove e trasportato verso i centri nevralgici della vita umana. Questo spostamento aumenta vertiginosamente l'impatto ambientale e i costi che quello stesso cibo avrebbe se venisse consumato nello stesso luogo in cui viene prodotto. Ecco che prende forma l'idea di questo studio: produrre cibo proprio dove serve e quando serve.

Le alghe di acqua salmastra sono quelle scelte in questa trattazione e in particolare si tratta di microalghe con un riferimento particolare all'alga Spirulina. Essa, insieme ad altre due specie che vedremo più avanti, sono state scelte per le loro incredibili proprietà nutrizionali e capacità riproduttive. Alcune microalghe vengono consumate nell'alimentazione umana sin dall'antichità, posseggono infatti un elevato potere nutrizionale e grandi proprietà ricostituenti grazie all'alto contenuto in proteine (fino a 60-70%, contro il 38% della carne) carboidrati (fino a 30-40%), iodio, ferro, calcio, vitamine (es. A, B1, B2, B12 e C) e acidi grassi (10-20%)<sup>2</sup>.

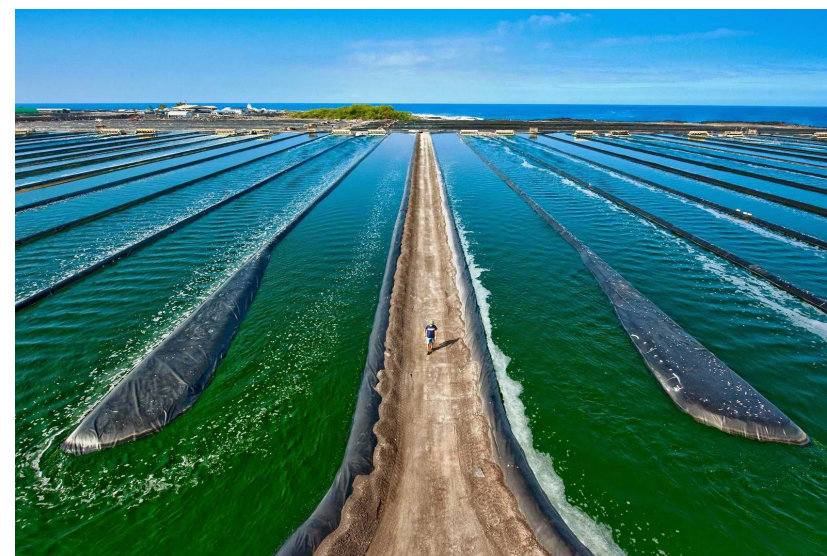
#### Note

2. <https://www.inversaonlus.it/alga-spirulina-caratteristiche-proprietà-e-utilizzi/>



Coltivazione di macroalghe in mare

Fonte: <http://cerev.info/addzthis-seaweed-farming.htm>



Coltivazione di microalghe il vasche aperte dette *open pounds*.

Fonte: <http://thinksid.org/?p=43>

## 5. COLTIVAZIONE



Lonar Crater: lago di origine meteoritica con una enorme varietà di specie viventi compresa la Spirulina.

Fonte: <http://www.orangesmile.com/extreme/en/spectacular-craters/lonar.htm#object-gallery>



Fotobioreattori in film polimerico e alluminio con illuminazione naturale.

Fonte: <http://www.femonline.it/>



Fotobioreattori in vetro illuminazione artificiale a led

Fonte: <http://www.premiocambiamenti.it/upg/gallery-cambiamenti/produzione-spicc-in-fotobioreattori-mbg/>

Le microalghe di acqua dolce o salmastra crescono spontaneamente in alcuni laghi nel mondo che per caso possiedono le caratteristiche ideali per la loro prosperazione. I fattori che generano le caratteristiche di cui parliamo sono essenzialmente i seguenti: ph, temperatura e presenza di determinati sali minerali. Ecco che, se in una vasca artificiale, riusciamo a riprodurre tali caratteristiche possiamo ricreare l'ambiente ideale per le nostre alghe.

La produzione di elevate quantità di biomassa microalgale richiede l'utilizzo di tecniche di coltura studiate in relazione al luogo di produzione e all'utilizzo ultimo della biomassa prodotta. Le tecniche di coltura massiva delle microalghe si basano, fondamentalmente, su due opzioni: Open Ponds (vasche aperte) e fotobioreattori chiusi (PBRs).

La crescita in vasche aperte avviene facendo crescere le alghe all'aria aperta e alla luce del sole, all'interno di vasche di grandi dimensioni. Le colture in vasche aperte hanno due problemi principali, il primo è l'eccessiva evaporazione del liquido, soprattutto nei climi caldi, con conseguente variazione progressiva della salinità e la possibile perdita di componenti essenziali. In secondo luogo gli *open ponds* sono più esposti alle contaminazioni da parte di batteri, protozoi e altre microalghe che possono proliferare competendo per la crescita con il ceppo d'interesse. Tale suscettibilità alle contaminazioni rende questo tipo di tecnica meno preferibile in un contesto in cui il controllo della qualità del prodotto, utilizzato per scopi alimentari, in condizioni in cui le problematiche sanitarie sono già serie, deve essere massimo.

Per minimizzare tali contaminazioni, massimizzare e controllare l'accrescimento della biomassa e ottimizzare i parametri di crescita di ceppi algali selezionati è consigliabile procedere alla coltivazione all'interno di fotobioreattori chiusi e controllati. I fotobioreattori vanno progettati al fine di aumentarne al massimo la produttività, di minimizzare le perdite per evapo-



Spirulina in polvere e in pastiglie

Fonte: <http://www.agrosphera.com/spirulina-ta-inshi-vodorosti-biznes-ideya-majbutnogo/?lang=uk>



Spirulina al microscopio

Fonte: <http://restuputria.blogspot.com/2016/10/plankton-sumber-nutrisi-masa-depan.html>

razione e di garantire la qualità del prodotto.

## 5.1 VARIETÀ DI MICRO ALGHE

Al mondo si stima la presenza di migliaia di specie diverse di microalghe, di cui centinaia catalogate e solo 3 ampiamente diffuse e coltivate. Vediamo quali sono e le loro caratteristiche principali 1:

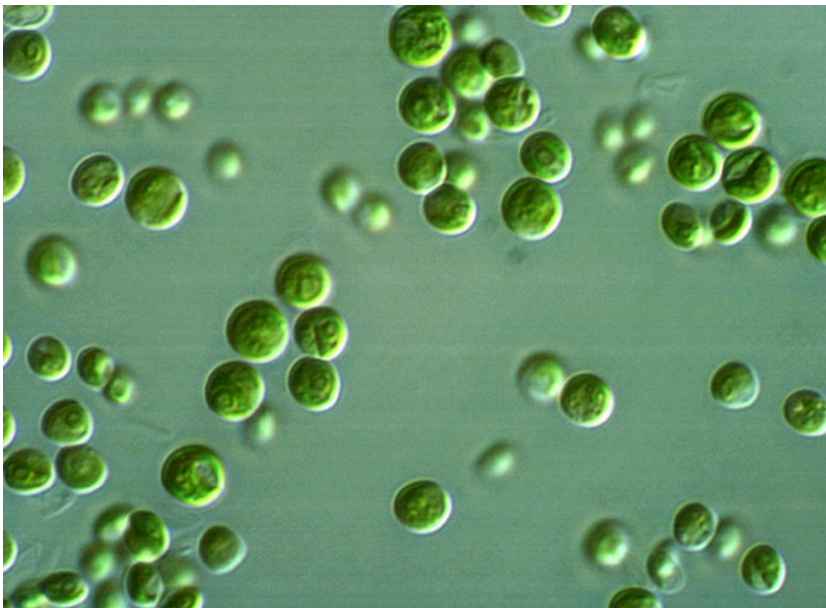
### Spirulina

- Proteine: (60-70%) contenenti gli aminoacidi essenziali
- Glucidi: (18%) carboidrati e zuccheri, come ramnosio e glicogeno, che vengono facilmente assorbiti dall'organismo con un quantitativo minimo di insulina, fornendo energia immediata senza affaticare il pancreas
- Lipidi: (8%) costituiti per lo più da acidi grassi essenziali, tra i quali l'acido linolenico efficace contro l'ipercolesterolemia
- Carotenoidi: Spirulina è l'alimento più ricco in assoluto di carotene perfettamente assimilabile e potenziato da ben altri 14 carotenoidi con un apporto dieci volte superiore a quello delle carote
- Vitamine idrosolubili: (gruppo B e B12) le vitamine del complesso B sono indispensabili per mantenere sani nervi e neuroni
- Vitamine liposolubili: A, D, E, K
- Ficobiliproteine: pigmenti che prevengono la formazione di radicali liberi, antiossidanti (potenziale antitumorale)
- Aminoacidi: fenilalanina, presente in dosi piuttosto elevate, secondo alcuni ricercatori contribuisce a ridurre la sensazione di fame
- Sali minerali: particolarmente utili nella malnutrizione infantile e come supplemento per le donne in gravidanza e durante l'allattamento



Chlorella in polvere

Fonte: <https://www.briciolecreative.it/alga-spirulina-benefici-proprietà-e-ricette/>



Chlorella al microscopio

Fonte: <http://www.platom.eu/2015/>

### Chlorella

- Proteine: (60%) contenenti gli aminoacidi essenziali
- Glucani (carboidrati) con proprietà, immunostimulanti, anti-radicali liberi e antiiperlipidemia
- Vitamine (complesso B e vit C)
- minerali (potassio, sodio, magnesio, ferro e calcio)
- Carotene e "CGF" (Chlorellagrowthfactor)
- Concentrazione di clorofilla estremamente elevata

### Dunaliella

- elevate concentrazioni di carotenoidi utili come supplemento alimentare (carotene, luteina e altri)
- Haematococcus astaxantina: altissimo potere antiossidante, studi sperimentali hanno evidenziato come protegga dalle radiazioni UV
- Aphanizomenon flos-aquae: composti con potere antinfiammatorio, ricostituenti e coadiuvanti la digestione e il benessere generale

## 5.2 STORIA DELLA SPIRULINA

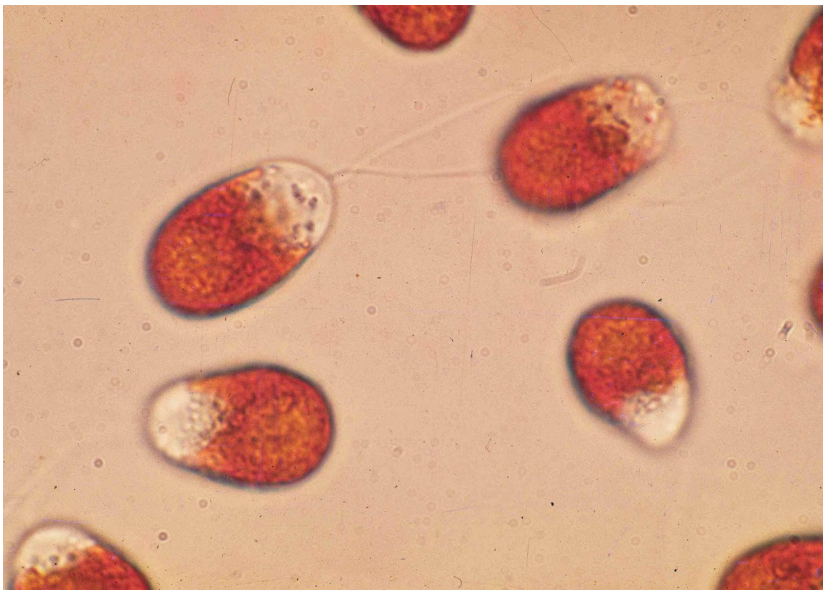
Nonostante oggi parliamo della spirulina come un alimento innovativo e sensazionale, esso non è nuovo per niente. La spirulina è un organismo primitivo originario di circa 3,5 miliardi di anni fa, detta anche alga blu-verde. Le prime testimonianze scritte risalgono al sedicesimo secolo, quando gli invasori spagnoli conquistarono il Messico e scoprirono che gli Aztechi, che vivevano nella valle del Messico nella capitale Tenochtitlan, erano soliti raccogliere un "nuovo cibo" dal lago; i cronisti spagnoli descrivevano i pescatori con fitte reti, che raccoglievano questa sostanza dal colore bluastro dalle lagune per ricavarne una torta blu-verde, "Techuitlatl". Si narra che i corridori aztechi assumessero la spirulina durante le maratone. Il termine Techuitlatl è stato menzionato dai naturalisti fino alla





Dunaliella in polvere

Fonte: <http://www.prius-biotech.com/food-additives/natural-colorant/>



Dunaliella al microscopio

Fonte: <http://www.arboristai.it/articles/popularius/180-vertys9/1495-kas-yra-seniausias-gyvas-organizmas-ze-meje-tikriausiai-visai-ne-tai-ka-jus-manote-esant-video>

fine del sedicesimo secolo, ma non dopo, probabilmente per la scomparsa dei laghi in quella zona e il conseguente sviluppo agricolo. L'unico residuo che permane ad oggi, il Lago Texcoco, accoglie ancora una grande coltura naturale di spirulina.

Nel frattempo però, la popolazione Kanembu, che vive lungo le rive del Lago Ciad in Nigeria, ha raccolto e raccoglie da secoli le alghe dal lago in vasi di terracotta, drenando fuori dall'acqua attraverso sacchi di stoffa e stendendoli sulla riva sabbiosa del lago per essicarli al sole. Essi chiamano questo prodotto Dihé. Il Dihé viene sbriciolato e mescolato con una salsa di pomodori e peperoni e versato su miglio, fagioli, pesce o carne e viene mangiato dai Kanembu nel 70 per cento dei loro pasti. La spirulina viene anche applicata esternamente come impiastro per il trattamento di alcune malattie.

Nel 1940, l'algologo francese Dangeard pubblicò un rapporto sul consumo di Dihé da parte delle persone vicine al lago Ciad. Ma, l'attenzione su questo super alimento, torna a farsi sentire quando, venticinque anni dopo, nel 1964-65, un botanico di nome Jean Léonard, ha riferito di aver trovato curiose torte verdi e commestibili vendute nei mercati nativi di Fort-Lamy in Ciad. Quando la gente del posto ha detto che queste torte venivano dalle aree vicino al lago Ciad, Léonard ha riconosciuto il legame tra le fioriture di Spirulina descritte da Dangeard e le torte secche vendute al mercato.

Così nel 1967 la spirulina è stata istituita come "meravigliosa fonte di cibo futuro" dall'associazione internazionale di Microbiologia applicata. L'analisi delle proprietà nutrizionali della spirulina ha mostrato prima e soprattutto un contenuto proteico eccezionalmente elevato, dell'ordine del 60-70 per cento del suo peso a secco; ha anche mostrato l'eccellente qualità delle sue proteine (contenuto essenziale bilanciato di aminoacidi). Questo primo dato è stato abbastanza per lanciare molti progetti di ricerca per scopi industriali negli anni '70, questi microrganismi (assieme a: lievito, clorella, alcuni batteri e muf-

fe) sembravano in quel momento il percorso più diretto verso proteine economiche di alta qualità.

Mentre alla fine nessun microrganismo ha mantenuto la sua promessa di proteine a basso costo, la spirulina ha continuato a dare i suoi frutti, anche grazie ai progressi nella ricerca (Falquet, 2000).

### 5.3 ESEMPI IN CUCINA

Adesso farò un paio di esempi per dimostrare come e con quali modalità questo concentrato vegetale di proteine nobili e micronutrienti (la spirulina fresca) può essere utilizzato in cucina accoppiato alla dieta mediterranea in ricette complesse o per creare pasti veloci e nutrienti. Nonostante il limite di utilizzo sia solo la fantasia, questi esempi vi guideranno sulle modalità di utilizzo della stessa. La spirulina, dal punto di vista gastro-nomico ha una consistenza gelatinosa che permette di amalgamarla facilmente in qualunque preparazione ed è insapore, quindi non altera il gusto. L'unico effetto evidente è la colorazione verde intensa che trasferisce alla pietanza. Può essere aggiunta sia in cibi crudi sia cotti, sia salati sia dolci.

Il primo piatto che voglio segnalare sono le tagliatelle alle alghe e pomodorini. In questo caso la scelta migliore è preparare delle classiche tagliatelle ai pomodorini e aggiungere l'alga fresca al piatto solo dopo la cottura! Questo accorgimento è essenziale, infatti, cuocere la spirulina, ne altera drasticamente le proprietà nutritive.

Per la prima colazione o per una merenda pomeridiana, si può invece mischiare con dello yogurt per ottenere una zuppetta verde che possiamo mischiare con della frutta. Nel particolare lo staff di *spirugrow.it* ci suggerisce questa ricetta: 125 g di yogurt greco, ½ cucchiaino di spirulina fresca, 1 cucchiaino di miele, 25 g di mango essiccato e ½ cucchiaino di semi di canapa sbucciati.



Tagliatelle alla alghe e pomodorini  
Fonte: <https://www.greenme.it/mangiare/altri-alimenti/spirulina-ricette/>



Yogurt greco, spirulina fresca, frutta fresca e frutta secca.  
Fonte: <https://spirugrow.it/yogurt-greco-con-mango-e-spirulina-fresca/>

## **6. ALLA RICERCA DI UN NUOVO METODO DI COLTIVAZIONE**

Lo studio di queste fantastiche specie viventi, legato alle mie conoscenze nell'ambito del design e alla costante ricerca della sostenibilità ambientale, mi hanno portato a sviluppare un prodotto legato alla quotidianità cittadina. Il ruolo scelto, che è quello della produzione a scopo alimentare, insieme alle proprietà di assorbimento dell'anidride carbonica e della produzione di ossigeno, mi hanno portato al posizionamento del prodotto nell'ambiente cittadino, laddove la richiesta di cibo è massima ed esiste un eccesso di anidride carbonica generato dai mezzi di trasporto. Infatti, inserire un vegetale vicino i centri nevralgici di produzione di CO<sub>2</sub>, ne massimizza la resa in termini di depurazione dell'aria.

Il bisogno di luce e le caratteristiche estetiche dell'alga mi hanno portato a posizionare il sistema di coltivazione a livello dell'involucro edilizio. Per involucro edilizio si intende: l'insieme di tutte le unità tecnologiche ed elementi tecnici che appaiono come limite interno/esterno, in senso "morfologico" ma anche "funzionale"<sup>1</sup>.

## 6.1 INVOLUCRO EDILIZIO

Prima di parlare dell'involucro edilizio oggetto di questa tesi, vediamo di classificare gli involucri in tre categorie in base alle funzioni che essi assolvono:

-Involucro passivo: esso massimizza il guadagno solare diretto, grazie ad estese superfici vetrate con sistemi schermanti per il controllo della radiazione solare nel periodo estivo e per la riduzione dell'abbagliamento; prevedere spazi cuscinetto per la protezione dal freddo, come serre o spazi filtro per catturare l'energia solare nel periodo invernale; favorisce l'ingresso della luce solare e la ventilazione naturale.

-Involucro attivo: l'involucro edilizio diviene involucro attivo quando non solo supporta, ma integra nella propria struttura i sistemi impiantistici, quelli per la raccolta e la trasforma-

### Note

1. <https://www.ideegreen.it/involucro-edilizio-2-70617.html#qWK3IHKQKi-vhPhfM.99>



Esempio di involucro edilizio passivo  
Fonte: <https://www.ideegreen.it/involucro-edilizio-2-70617.html>



Esempio di involucro attivo con integrazione di pannelli fotovoltaici e solari termici.  
(Vienna, ENERGY base)  
Fonte: POS ARCHITEKTEN ZT KG, 2008

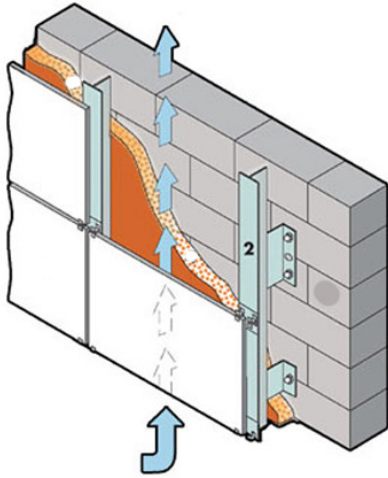
zione dell'energia solare e per la ventilazione artificiale degli ambienti interni; risulta più efficiente in termini energetici e più controllabile in termini funzionali rispetto a quello passivo. Nonostante ciò, limita notevolmente l'espressione architettonica a causa della modularità dimensionale tipica dei componenti impiantistici e crea problemi per il disegno della facciata in funzione della distribuzione interna degli ambienti.

-Involucro ibrido: le esperienze compiute sugli involucri attivi e passivi e le riflessioni sui progetti che tali esperienze hanno anticipato o seguito portano gli architetti a concepire gli involucri come ibridi. L'involucro ibrido è insieme passivo e attivo, perché in grado di svolgere funzioni diverse e dinamico, perché in grado di modificare le sue prestazioni fisico tecniche nel tempo, in relazione alle circostanze climatiche ed alle esigenze dell'utenza.

Possiamo poi distinguere gli involucri in base ad altri parametri che li differenziano:

-Facciata continua o curtain wall: in conformità alla norma EN 13119, una facciata continua è "una facciata esterna di un edificio prodotta con intelaiatura costituita principalmente di metallo, legno o PVC, solitamente costituita da elementi strutturali verticali ed orizzontali, collegati insieme e ancorati alla struttura portante dell'edificio". Questa garantisce, di per sé o congiuntamente alle restanti parti della costruzione, tutte le normali funzioni di una parete esterna senza dover contribuire alle funzioni della struttura portante. La curtain wall è caratterizzata sotto il profilo prestazionale ed estetico da una continuità dell'involucro rispetto alla struttura portante dell'edificio, che resta interamente arretrata rispetto al piano della facciata.

-Facciata ventilata: la norma UNI 11018 definisce la facciata ventilata come "un tipo di facciata a schermo avanzato in cui l'intercapedine tra il rivestimento e la parete è progettata in



Schema funzionamento facciata ventilata

Fonte: [https://www.edilportale.com/news/2016/01/focus/facciate-ventilate-ecco-come-funzionano\\_49820\\_67.html](https://www.edilportale.com/news/2016/01/focus/facciate-ventilate-ecco-come-funzionano_49820_67.html)



Esempio di involucro integrato per la produzione di energia

Fonte: <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/impianti-fotovoltaici-integrati-architettura-tegole-fotovoltaiche-299.html>

modo tale che l'aria in essa presente possa fluire per effetto camino in modo naturale e/o in modo artificialmente controllato, a seconda delle necessità stagionali e/o giornaliere, al fine di migliorarne le prestazioni termoenergetiche complessive". In questo caso la soluzione "a secco" può riguardare solo lo schermo "avanzato" o di rivestimento antistante l'intercapedine ventilata.

-Facciata a doppia pelle: è un tipo di facciata appartenente al sistema di chiusura a isolamento dinamico. Le facciate a doppia pelle formano un contenitore trasparente continuo lungo tutto il perimetro dell'edificio: la pelle esterna, è fissa (non apribile) ed è destinata a proteggere il fabbricato mediante le proprie caratteristiche di tenuta all'aria, all'acqua e al vento, mentre la seconda, posta verso l'interno, è quasi sempre dotata di serramenti e permette di ventilare i locali interni senza la necessità di un controllo particolare delle sollecitazioni ambientali. Per migliorare il comfort all'interno dell'edificio, talora, viene prevista una ventilazione naturale o forzata dell'intercapedine definita dalle due pelli. Nell'intercapedine, inoltre, possono essere inseriti dispositivi di oscuramento continuo o a lamelle regolabili dall'interno dei locali ed elementi apribili per arieggiare gli ambienti.

-Involucro integrato per la produzione di energia: questo tipo d'involucro permette l'integrazione di pannelli fotovoltaici che trasformano la radiazione solare in elettricità. Questi moduli, ad esempio, possono essere integrati in sistemi di chiusura trasparente che si presentano a singolo strato o a doppia pelle, verticali o orizzontali, con inclinazioni da 0° a 90° (con un'ottimizzazione della captazione solare mediante una inclinazione a 45° rispetto alla verticale). Il sistema permette, inoltre, l'integrazione di schermature solari, come i frangisole fissi, mobili e orientabili.

-Involucro Interattivo: è quel sistema che interagisce con le variazioni delle condizioni climatiche esterne mediante dispo-

sitivi di controllo automatici o mediante l'intervento diretto dell'utenza.

Dopo aver analizzato i vari tipi di involucri, possiamo affermare che in questo studio si andrà a lavorare su un involucro attivo. Questa funzione sarà assolta sotto forma di facciata ventilata che descriverò dettagliatamente nel capitolo 7.

## 6.2 CASI STUDIO

Adesso vedremo i casi studio che mi hanno ispirato durante lo sviluppo di questo progetto.

-Come accennato nell'introduzione, il mio interesse verso questo mondo nasce dall'osservazione del prototipo presentato da ecoLogicStudio nell'ambito del Future Food District di Expo Milano 2015. Esso è il primo baldacchino bio-digitale al mondo che integra colture microalgali e protocolli di coltivazione digitale in tempo reale all'interno di un esclusivo sistema di rivestimento architettonico ETFE. A cura di C.Ratti, esso produce l'equivalente di ossigeno di quattro ettari di bosco e fino a 150 kg di biomassa al giorno, il 60% dei quali sono proteine vegetali naturali. Il baldacchino si è poi evoluto diventando un gazebo.

-Sempre progettato da ecoLogicStudio, una "cortina urbana", cattura CO2 dall'atmosfera e la immagazzina in tempo reale: circa un chilo di CO2 al giorno, equivalente a quello di 20 grandi alberi. Progettato per essere integrato in edifici sia esistenti che nuovi, è composto da moduli di 16,2 x 7 metri, ognuno dei quali funziona come un fotobioreattore - un contenitore di bioplastica progettato digitalmente e su misura - che utilizza la luce del giorno per alimentare le colture microalgali viventi e rilasciando sfumature luminescenti di notte. L'aria urbana non



Gazebo di coltura - ecoLogic studio  
Fonte: <https://www.photosynthetica.co.uk/canopy>



Cortina urbana - ecoLogic studio  
<https://www.photosynthetica.co.uk/cladding>

filtrata viene introdotta sul fondo della facciata e le bolle d'aria si alzano naturalmente attraverso il mezzo acquoso all'interno dei fotobioreattori in bioplastica. Le molecole di CO2 e gli inquinanti atmosferici vengono catturati e immagazzinati dalle alghe e diventano biomassa riutilizzabile. L'ossigeno fotosintetizzato viene quindi rilasciato dalla parte superiore di ciascun modulo.

-Algae Curtain: I tubi trasparenti sono intrecciati a formare grandi tende. Le alghe vive vengono pompate attraverso il tessuto assorbendo il sole diurno e fotosintetizzando per produrre o un biocarburante o cibo.

-Progettata per introdurre le alghe nella nostra vita di tutti i giorni, la micro fattoria Coral è un bioreattore a parete che mira a incoraggiare le persone a utilizzare le alghe come componente più sostenibile di una dieta nutrizionale. Come parte del suo progetto di laurea presso la Rhode Island School of Design, il designer Hyunseok An ha proposto di integrare il consumo di alghe nei nostri rituali quotidiani attraverso attività di allevamento domestico.

-Spirawline: il fotobioreattore permette di far crescere la piccola coltura casalinga nelle migliori condizioni di temperatura, pH ed illuminazione. Le informazioni sulla vasca vengono comunicate in tempo reale allo smartphone, dal quale tramite una app si possono modificare. Il bioreattore per la spirulina fatta in casa funziona grazie ad una pompa ad aria, un sistema di riscaldamento per acquari, strisce di diodi LED ed un sistema di isolamento esterno.

-Il nuovo negozio per Estar Moveis a San Paolo, in Brasile: SuperLimao Studio ha progettato la nuova struttura come una piazza con facciate concave mascherate da pannelli esagona-



Algae Curtain- loop.ph  
Fonte: <http://loop.ph/portfolio/algae-curtain/>



Micro fattoria Coral - Hyunseok An  
Fonte: <https://www.innaturale.com/coltivare-alghe-a-casa-oggi-si-puo-e-fa-bene/>



Spirawline  
Fonte: <http://www.spirawline.com/>



li. Questi pannelli sono un gioco di materiale e traslucenza per esporre alcune aree del negozio e per modulare la quantità di luce che penetra nell'edificio durante il giorno. La loro decisione di utilizzare il modello a nido d'ape è per ragioni pratiche, poiché si adatta facilmente alle superfici curve mantenendo allo stesso tempo una qualità estetica unica.

-Hexelace: considerando le difficili condizioni climatiche come il caldo estremo, la facciata è emersa come un cuscinetto di elementi stratificanti. Come elemento di ombreggiatura è stato utilizzato uno strato di cemento spesso 3 pollici con interstizi esagonali. Per preservare meglio l'ombra, lo schermo scorre organicamente creando un dilemma visivo artistico sia all'interno che all'esterno. Un altro strato di sagoma esagonale fatto di telai metallici è sovrapposto orizzontalmente attraverso lo schermo di cemento semipermeabile che funge anche da recinzione del balcone. Inoltre, la facciata continua principale è stata utilizzata per ridurre il guadagno di calore.



Facciata di Estar Movies - Super Limao Studio  
Fonte: <https://www.archdaily.com/460873/estar-moveis-superlimao-studio>



Hexelace | Studio Ardete  
Fonte: <https://www.archilovers.com/projects/240288/hexelace.html>



Circa 20 grammi di spirulina fresca appena raccolta



Spirulina essiccata in polvere

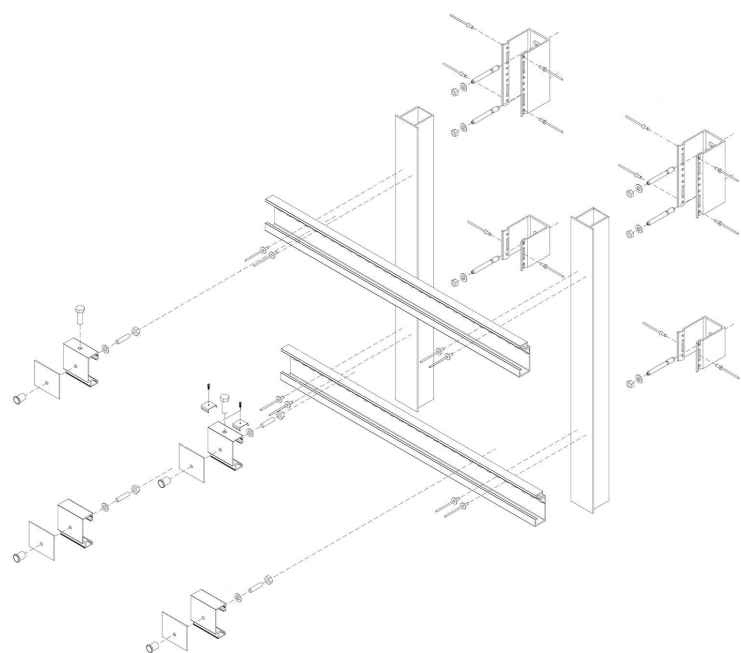
Fonte: <https://www.znaturalfoods.com/spirulina-powder-organic>

### 6.3 SPIRULINA FRESCA VERSO SPIRULICA ESSICCATA

Adesso che conosciamo tutte le incredibili proprietà delle microalghe è bene sapere che quelle che troviamo in commercio, per motivi logistici, sono tutte alghe essiccate sotto forma di compresse, scaglie o polvere, ma sfortunatamente il processo di essiccazione degrada le vitamine, i minerali e le proteine termolabili e lascia il prodotto finale impoverito della sua vitalità. Un altro aspetto importante da considerare è che la spirulina essiccata ha un sapore molto caratteristico, che può piacere e non piacere, e che ha scoraggiato molte persone a includerla nella loro dieta.

Il punto del paragrafo è quello di far notare che consumare le microalghe fresche e crude è la scelta preferibile. La spirulina viva è quasi completamente insipida e conserva tutti i principi attivi che la rendono un super integratore. Ecco che un sistema di coltivazione in loco prende molto più valore poiché ci permette di avere la nostre dosi quotidiane fresche.

## 7. ESAGONALGHE



Alistone 3 - Aliva  
 Fonte: [https://www.aliva.it/sistemi/ali-stone-3\\_15/](https://www.aliva.it/sistemi/ali-stone-3_15/)

Arrivati finalmente al clou della trattazione è il momento di parlare di Esagonalghe. Esso è il prodotto nato dalla fase di ricerca, il quale mira a valorizzare le potenzialità delle microalghe inserendole nel contesto urbano, in modo da sfruttarne le incredibili proprietà e produrre dei benefici diretti per i cittadini. Il nome nasce dalla fusione del termine "esagono", che è la forma dei vari moduli e del termine "alga", contenuta all'interno degli stessi.

Questo involucro edilizio, che possiamo considerare una facciata ventilata, protegge dai raggi UV l'edificio e immagazzina durante il giorno, nella sua massa d'acqua, calore che viene lentamente poi ceduto di notte mitigando la temperatura.

Il sistema è modulare ed i moduli sono di tre tipologie che da ora in poi chiameremo: modulo di raccolta, modulo di coltura e modulo angolare.

Per entrambi i primi due moduli abbiamo una struttura portante e una cornice di contenimento; entrambe sono prodotte a partire da fogli di lamiera di alluminio, che piegati tridimensionalmente a mo' di origami, diventano delle cornici esagonali che vanno ad ospitare i vari elementi. Le viti che legano la cornice alla struttura portante sono posizionate sulla faccia più interna della cornice stessa, in modo da non condizionare l'estetica del modulo.

Tutto il sistema è ancorato alla facciata grazie alla struttura a scomparsa "Ali Stone 3". Esso è un sistema Aliva (affermata azienda italiana del settore dei rivestimenti edilizi) di sottostruttura per rivestimento con pannelli di un certo peso. Il sistema, in lega di alluminio, è composto da staffe a U, montanti verticali scatolari a elevata resistenza strutturale e correnti orizzontali, ai quali vengono assicurati i telai dei moduli per mezzo di griffe fissate in maniera meccanica occulta sul retro degli stessi.

I vari moduli sono collegati tra loro dall'alto in basso o diagonalmente tramite delle condutture e dei raccordi che permettono la sostituzione delle vasche mentre tutta la struttura portante

te è totalmente montata. Essi fanno sì che le varie colonne di moduli siano come una unica vasca. Sulla cima delle colonne è poi posto un tappo che permette la fuoriuscita dell'aria ma non del vapore, in questo modo si minimizza il dispendio idrico del sistema.

## 7.1 MODULO DI RACCOLTA

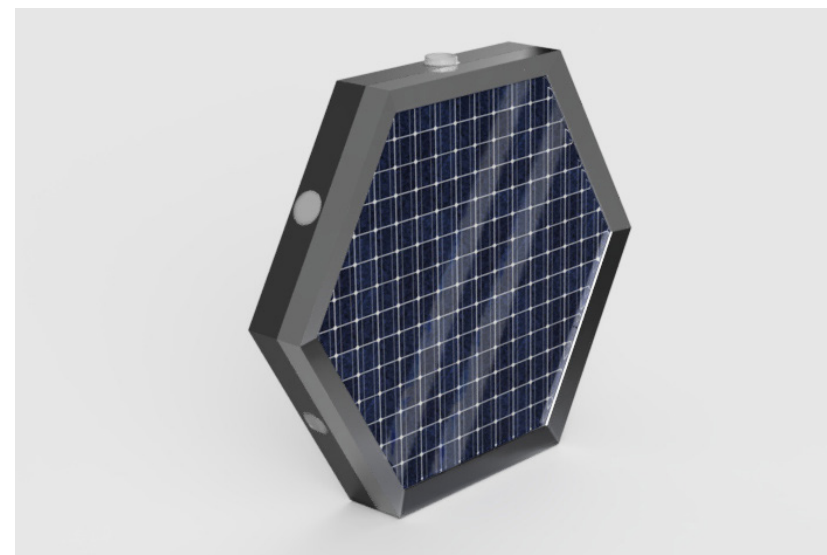
Il modulo di raccolta custodisce al suo interno tutte le componenti elettroniche e meccaniche necessarie al proseguimento del ciclo di vita delle microalghe.

In evidenza troviamo il pannello solare che, oltre a fungere da tappo per l'intero modulo, svolge la funzione di raccogliere l'energia necessaria al funzionamento dello stesso.

L'energia serve principalmente ad azionare durante il giorno l'aeratore. Esso serve ad ossigenare tutta la colonna di coltura corrispondente. Inietta quindi nel sistema, dopo averla filtrata, aria presa dall'ambiente cittadino circostanze, normalmente ricca di CO<sub>2</sub>, che va a nutrire la coltura.

L'altro elemento fondamentale presente nel modulo è il sistema di raccolta. Esso è formato da un'elettrovalvola che aprendosi permette al flusso di coltura di arrivare al filtro, il quale separa l'acqua dall'alga. L'acqua filtrata arriva poi alla pompa di risalita che la rigetta nella vasca. L'alga, separata dalla soluzione acquosa, si trova adesso nel cilindro del filtro dal quale viene estratta sotto forma di una poltiglia che può ulteriormente essere strizzata e poi consumata o congelata.

Il pannello solare è un pannello di tipo policristallino. Esso ha una superficie di 324 cm<sup>2</sup>, una potenza di picco di circa 50 w ed è in grado di produrre mediamente 250 w/h al giorno. Questa quantità di energia è in grado, anche in stagioni di scarsa luminosità, di alimentare la pompa dell'aria (che ha un consumo di 3w) per tutto il giorno e di immagazzinare la restante parte di energia che verrà utilizzata per l'alimentazione del microcon-



Modulo di raccolta



Modulo di raccolta - Esploso

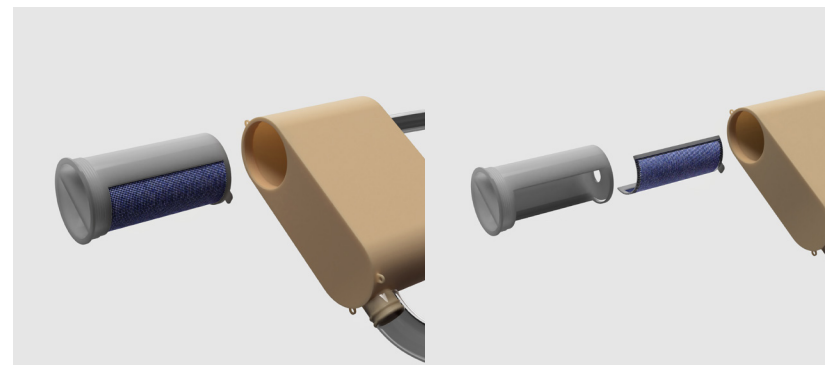
trollore del sistema e di azionare la pompa di raccolta quando necessario.

## 7.2 MODULO DI COLTURA

Andando ad analizzare nel dettaglio il modulo di coltura possiamo affermare che esso, oltre che dal telaio e dalla cornice, è composto da una sacca trasparente che ospita la coltura e ne garantisce l'irradiazione luminosa.

Il polimero scelto per la sacca è l'ETFE. Materiale futuristico, esso è da molti considerato l'alternativa ecologica al vetro ed è ultimamente molto usato in architettura per le sue ottime proprietà di resistenza ai raggi UV, infatti esso può essere esposto al sole senza ingiallire per tempi lunghissimi stimati di circa 40 anni. L'ETFE, essendo considerato autolubrificante, ha proprietà autopulenti e nel nostro caso sfavorisce l'attaccamento di residui di alghe alle superfici. E' riciclabile al 100% e quindi considerato ecologico, è ignifugo e ha un peso specifico di 1,7 g/cm<sup>3</sup>, molto meno del vetro (2,51,7 g/cm<sup>3</sup>); in più, essendo usato in sottili film, esso permette di creare pareti trasparenti da esporre agli agenti atmosferici con un peso veramente irrisorio e un dispendio energetico in termini di produzione abbondantemente inferiori rispetto al classico vetro. Due degli esempi lampanti dell'uso in architettura di questo polimero sono l'Allianz Arena e il Centro Aquatico Nazionale di Pechino. Nel nostro caso la sacca è ottenuta tramite taglio e termosaldata in modo da contenere la coltura con una tecnologia molto simile a quella usata per i materassini gonfiabili. Il tubo di collegamento centrale serve a contenere lo spanciamento della sacca.

Ogni modulo di coltura contiene 3,5 litri di coltura. Esso può quindi produrre una quantità giornaliera pari a circa 1 grammo. L'impianto produce quindi circa 1,5 grammi al m<sup>2</sup>. Se consideriamo il sistema applicato a un palazzo di 4 piani e di conse-



Filtro 40 micron chiuso e aperto



Sistema di filtraggio completo

guenza con circa 24 abitanti e circa 200 m<sup>2</sup> di facciata utilizzabile, esso produrrebbe circa 300 g di alghe fresche al giorno, corrispondenti a 12,5 grammi a persona. Un'ottima dose per l'integrazione giornaliera.



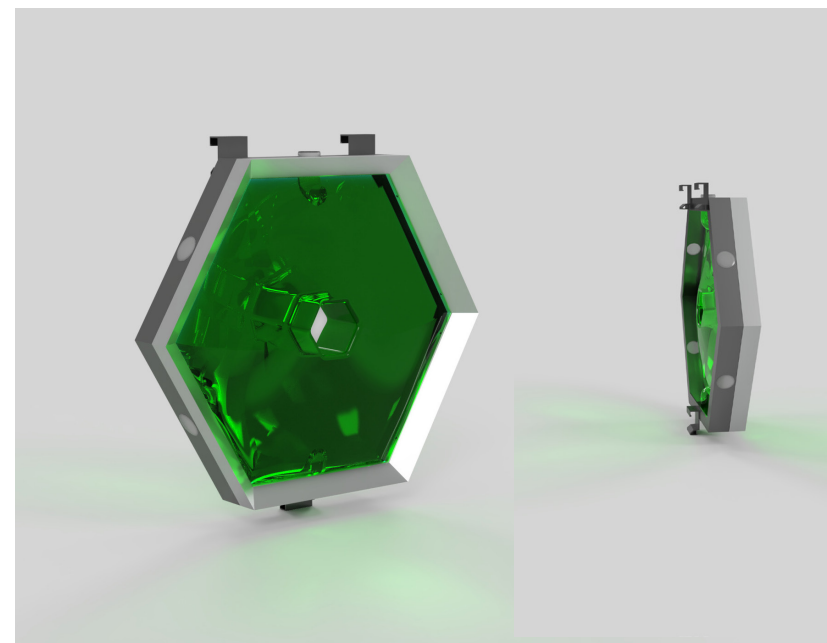
Alliance Arena

Fonte: <https://www.calciofinanza.it/2019/06/17/allianz-arena-lavori/>

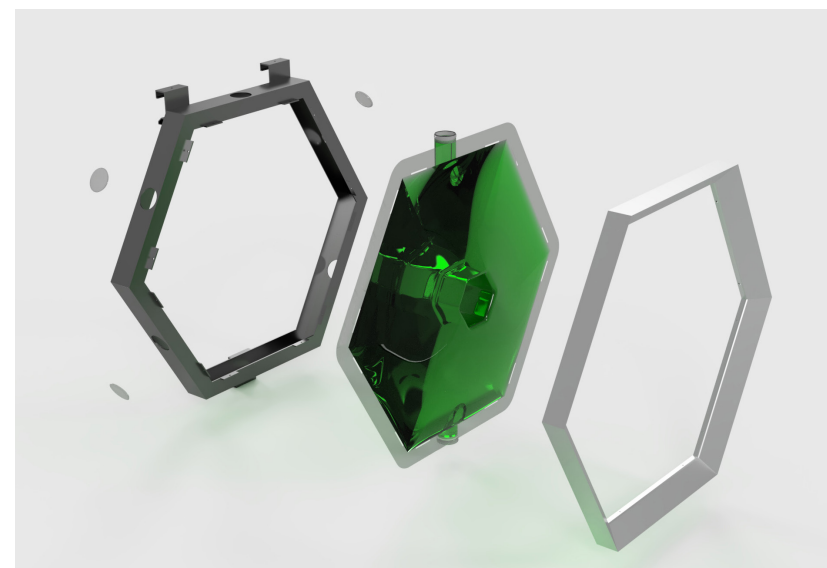


Centro acquatico nazionale di Pechino

Fonte: <https://www.caleffi.com/italy/it/case-study/centro-acquatico-nazionale-di-pechino>



Modulo di coltura



Modulo di coltura - Esploso

### 7.3 IL COLLEGAMENTO ANGOLARE

Il sistema necessita di un terzo modulo che entra in gioco quando la facciata ventilata raggiunge lo spigolo di un edificio e continua lungo la nuova faccia. Esso è composto da un modulo in alluminio molto semplice con la stessa forma esagonale dei primi due, ma piegato a 90° e con dei supporti.

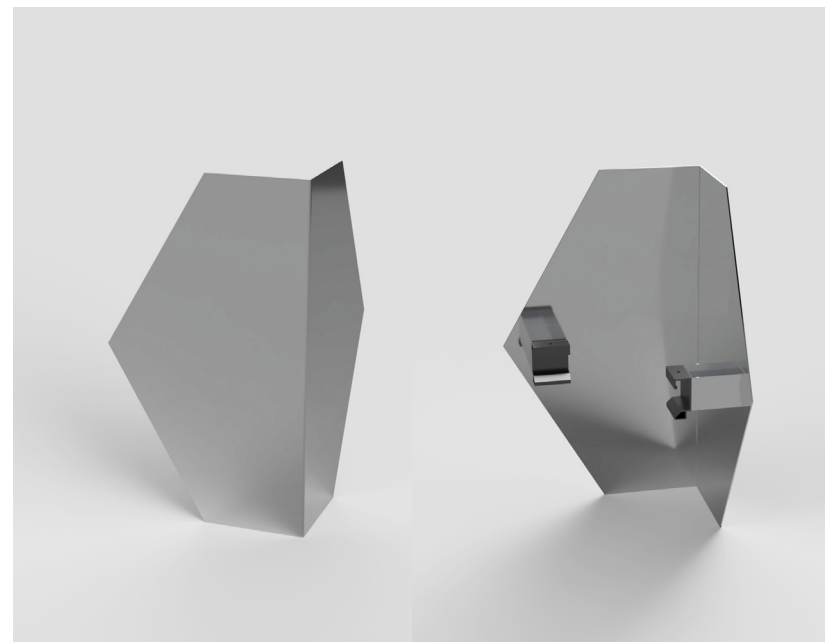
### 7.4 LA COLTIVAZIONE

Il sistema è stato pensato per poter accogliere le specie di micro alghe più diffuse e di cui ho parlato nel capitolo 5.1, si tratta appunto dell'alga Spirulina, dell'alga Chlorella e dell'alga Dunaliella. Tuttavia le varietà che è possibile coltivare con Esagonalghes sono illimitate; tutto dipende dal settaggio del sistema di nutrizione e ossigenazione.

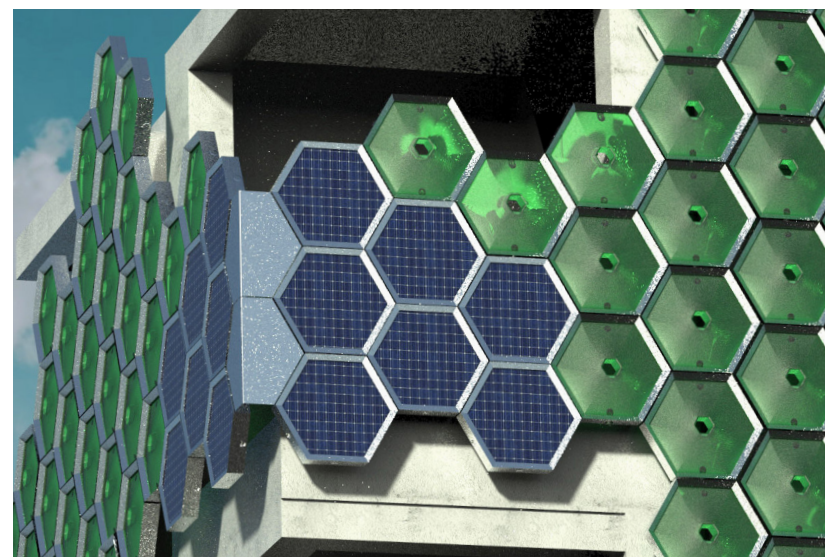
Le tre varietà scelte permettono comunque, non solo di ottenere uno spettro vario di nutrienti per gli utilizzatori, ma essendo di vario colore anche di donare delle colorazioni particolari e varie alle facciate.

Per quanto riguarda l'impatto ambientale di quest'impianto, semplificando, possiamo affermare che per ogni Kg di biomassa prodotta una coltura di spirulina assorbe 1,9 Kg di CO<sub>2</sub>. Per ciascun kg di acciaio riciclato prodotto sono invece emessi in media 0,88 kg di CO<sub>2</sub>.

Ogni modulo è formato da circa 7 kg di acciaio e produce circa 0,7 g al giorno di biomassa. Quindi è calcolabile che il periodo necessario per ammortare la maggior parte dei suoi costi ambientali di produzione è di circa 6 anni.



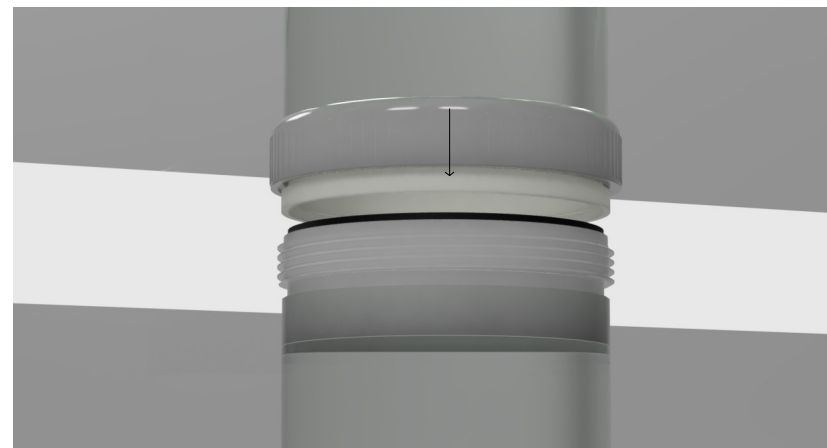
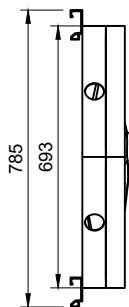
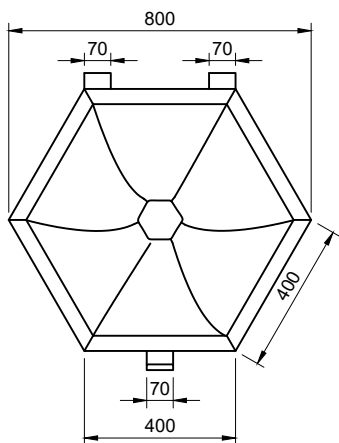
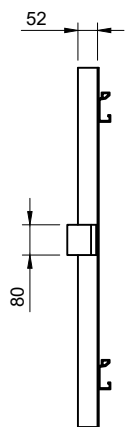
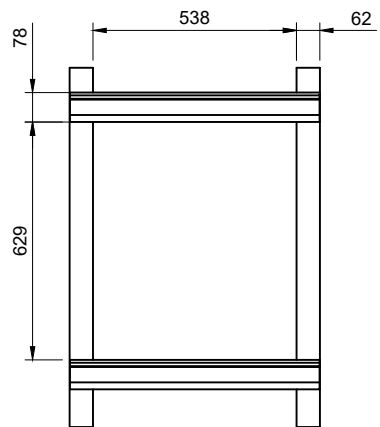
Modulo angolare



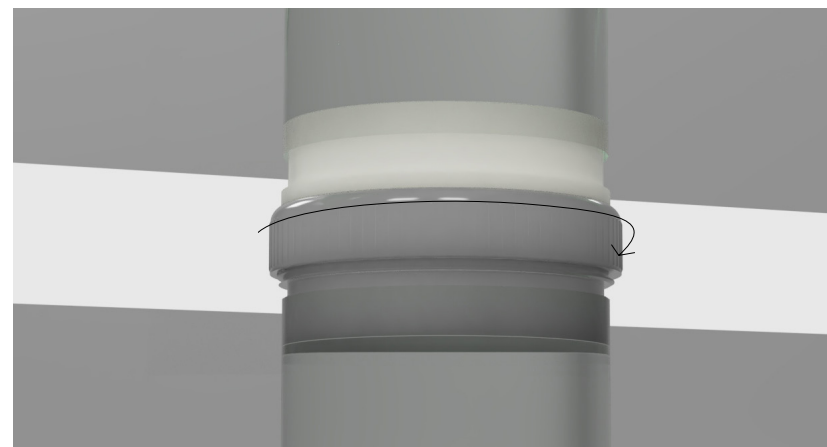
Sistema applicato



# QUOTE DI INGOMBRO



Collegamento serbatoi aperto



Collegamento serbatoi chiuso



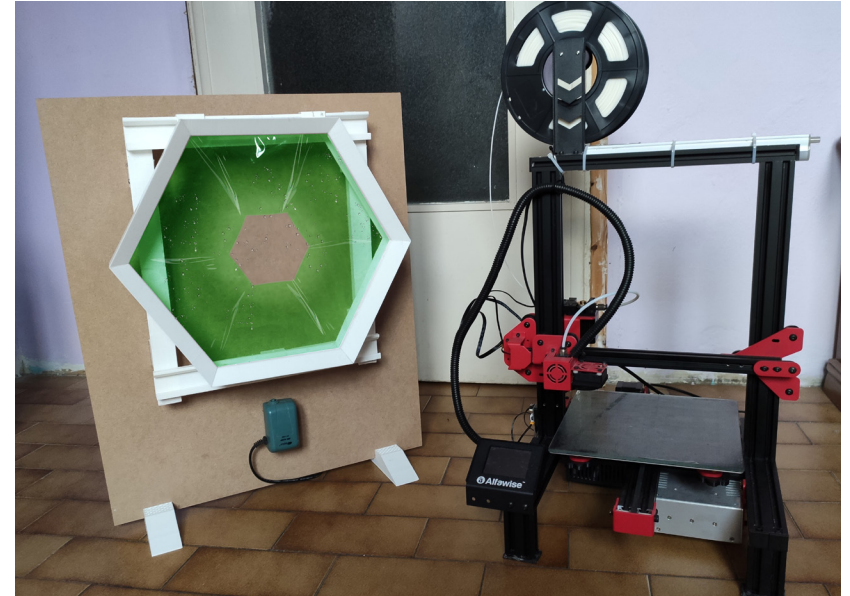
## 7.5 LA PROTOTIPAZIONE

Non è stato facile ottenere un prototipo funzionante. Inizialmente ho tentato di costruire la struttura del modulo in cartoncino. Così facendo ho ottenuto un prototipo dimensionalmente veritiero, il problema principale era che esso non era in grado di sostenere il peso del liquido e non resistendo all'acqua era troppo deperibile. Allora ho optato per la stampa 3D. Dato che era un mio sogno da tempo, ho deciso di cogliere l'occasione e di acquistare una stampante FDM per una modica cifra. Ho adattato il modello 3D alla stampa e ho cominciato a stampare. Ho dovuto stampare 30 pezzi, per un totale di circa 70 ore di stampa, che ho poi avvitato e incollato. Ho poi acquistato un telo trasparente in PVC e una termosaldatrice per film plastici, per costruire il serbatoio in modo ermetico. Ho avvitato il sistema assemblato su un pannello di legno MDF e ho collegato una pompetta dell'aria che ossigena la coltivazione.

Ovviamente non è perfetto, infatti differisce dall'ipotetico progetto definitivo, innanzitutto per la scala, poiché in questo caso è in scala 1:2, per i materiali, che per motivi pratici non corrispondono a quelli definitivi e per il sistema di ingresso dell'ossigenazione che, come visto nel progetto vero e proprio, dovrebbe arrivare dal basso e invece nel modello ha accesso dalla parte alta. Nonostante queste differenze, il prototipo, rende molto bene l'idea della fattibilità della proposta.



La fase di termosaldatura del serbatoio



Il prototipo semidefinito e la mia Allwaise U30 che mi ha aiutato a produrlo

## 8. CONCLUSIONI



La mia coltivazione personale di spirulina da 60 litri

Molti cibi al giorno d'oggi vengono blasonati come superfood, le alghe, ma soprattutto le microalghe non sono da meno. Ma a differenza di molti altri esempi, esse mantengono la promessa e rappresentano veramente un alimento fuori dal comune che sempre di più entrerà a far parte della dieta quotidiana di ognuno di noi. Possiamo considerarle un alimento del futuro e a pieno titolo dei superfood. Sono utili al benessere di noi stessi e al benessere del pianeta. Io in prima persona sto integrando la mia dieta quotidiana con 10 grammi al giorno di spirulina estratti dalla mia coltura personale e sono molto soddisfatto dei benefici.

Per tutti i motivi sopra elencati sono fiero di aver creduto e lavorato a un progetto che coinvolgesse le microalghe e sono contento del risultato ottenuto. A prescindere dal risultato, spero di aver trasmesso ad ogni lettore le potenzialità di questi vegetali o almeno di aver risvegliato in loro la consapevolezza della necessità di una condotta alimentare più attenta all'ambiente. Ringrazio e saluto chi ha impiegato il suo tempo a leggere questa mia creazione, la mia ricerca si conclude così ma solo su questo testo. Il mio viaggio continua.

## **9. RINGRAZIAMENTI**

Ringrazio di cuore il professore, nonché mio relatore, Guglielmo Ori per la sua infinita disponibilità e per il supporto psicologico e pratico che mi ha fornito, guidandomi e assistendomi in questo percorso. Ringrazio mia madre innanzitutto per avermi spinto e permesso di arrivare fin qui, senza di lei non sarei quello che sono e che sono contento di essere, per l'assoluta fiducia che ogni giorno lei ripone nei miei confronti, oneri che non potrò mai e poi mai ripagare e qui specificatamente per la revisione dei testi di questa tesi. Ringrazio mio padre per il supporto nella messa a punto del sistema di coltivazione casalingo di Spirulina che abbiamo realizzato e che continueremo a portare avanti con grande interesse. Ringrazio i miei colleghi Alessandro Giovannini, Riccardo Funicella e Alessandro Millione per essermi stati vicini, nel bene e nel male, durante questo biennio ricco di emozioni e colpi scena che nessuno può immaginare e che, anche grazie a voi ha cambiato la mia vita in meglio e mi auguro che questa non sia la conclusione della nostra avventura. Ringrazio Arianna Frondizi per essere stata la miglior coinquilina che avessi potuto incontrare. Ringrazio tutti i professori che mi hanno seguito durante questa Laurea Magistrale, ma anche tutti quelli che mi hanno seguito durante la mia laurea triennale che forse non ho ringraziato a dovere nella mia prima tesi, un saluto va a Dario Russo. Ringrazio Unibo. Infine un ringraziamento speciale va a te, Bologna, che hai fatto innamorare tanti studenti e ogni anno ne farai innamorare. Porterò nel cuore questa esperienza fino alla fine.

## **BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA**



Barilla Center For Food & Nutrition, *La dimensione culturale del cibo*, Mantova, Ambrosetti (2015)

Aaron Baum, *Grow Your Own Spirulina Superfood*, USA ,Algae Lab LCC (2013)

Paul Ehrlich, *The Population Bomb*, USA, A Sierra Club – Ballantine Book (1968)

FAO, *A review on culture production and use of spirulina as food for humans and feeds*, Rome, Sales and Marketing Group (2008)

Robert Henrikson, *Spirulina - World Food: How this micro algae can transform your health and our planet*, USA, Ronore Enterprises (2010)

Thomas Herzog, *Facade Construction Manual*, Gründung, Birkhauser edition detail (2004)

Roberto Lorusso, *14 passi verso le citta' sostenibili. L'efficacia della Pianificazione Strategica*, Bari, Amazon Media EU S.à r.l. (2016)

Leonel Pereira, *Edible Seaweeds of the World*, Portugal, CRC Press (2015)

Yimin Qin Professor, *Bioactive Seaweeds for Food Applications*, USA, Academic Press (2018)

D. Troy, B. Tiwari, *Seaweed Sustainability. Food and Non-Food Applications*, USA, Elsevier Science Publishing Co Inc (2015)

[www.annuario.isprambiente.it](http://www.annuario.isprambiente.it)

[www.arboristai.it](http://www.arboristai.it)

[www.barillacfn.com](http://www.barillacfn.com)

[www.bio.uniroma2.it](http://www.bio.uniroma2.it)

[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com)

[www.dissapore.com](http://www.dissapore.com)

[www.edilportale.com](http://www.edilportale.com)

[www.fanpage.it](http://www.fanpage.it)

[www.femonline.it](http://www.femonline.it)

[www.focus.it](http://www.focus.it)

[www.ideegreen.it](http://www.ideegreen.it)

[www.inversaonlus.it](http://www.inversaonlus.it)

[www.italiaxlascienza.it](http://www.italiaxlascienza.it)

[www.lacucinaitaliana.it](http://www.lacucinaitaliana.it)

[www.money.cnn.com](http://www.money.cnn.com)

[www.rinnovabili.it](http://www.rinnovabili.it)

[www.sapere.it](http://www.sapere.it)

[www.spirulinasource.com](http://www.spirulinasource.com)

[www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com)

[www.teknoring.com](http://www.teknoring.com)

[www.valigiablu.it](http://www.valigiablu.it)

[www.virtualwater.eu](http://www.virtualwater.eu)

[www.viverezen.it](http://www.viverezen.it)

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

[www.wri.org](http://www.wri.org)

[www.wwf.it](http://www.wwf.it)

