



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-ALIMENTARI  
CAMPUS DI CESENA  
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN  
TECNOLOGIE ALIMENTARI

**AGRICOLTURA CELLULARE PER LA PRODUZIONE DI  
ALIMENTI DI ORIGINE ANIMALE**

Tesi di laurea in  
Produzione Animali

Relatore:

Prof. Massimiliano Petracci

Candidato: Michele Di Giuseppe

Matricola N° 1043258

---

Sessione Marzo 2025  
Anno Accademico 2023/2024

## INDICE:

1. STORIA E CONCETTI FONDAMENTALI DELL'AGRICOLTURA CELLULARE	4
1.1 Origini e sviluppo storico	4
1.2 Esigenze che hanno fatto nascere l'agricoltura cellulare	6
1.3 Tecnologie di base nell'agricoltura cellulare	7
2. PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE OTTENUTI DA AGRICOLTURA CELLULARE	8
2.1 Carne coltivata	8
2.2 Latte coltivato	11
2.3 Uova coltivate	15
3. ANALISI DI VANTAGGI, SVANTAGGI E CRITICITÀ DELL'AGRICOLTURA CELLULARE	18
3.1 Benefici ambientali	18
3.2 Aspetti etico-sociali	19
3.3 Rischi legati al processo produttivo	20
3.4 Incertezze normative	23
4. LIVELLO DI EVOLUZIONE DEI PRODOTTI DA AGRICOLTURA CELLULARE	24
4.1 Carne coltivata: progresso tecnologico e fattibilità commerciale	24
4.2 Latte coltivato: sfide e limiti attuali	26
4.3 Innovazioni nella produzione di uova coltivate	28
5. START-UP NEL SETTORE DELL'AGRICOLTURA CELLULARE	30
6. PROFILO NUTRIZIONALE E ACCETTAZIONE DEI PRODOTTI.	33
6.1 Profilo nutrizionale della carne coltivata	33
6.2 Test di accettazione del formaggio coltivato	35
6.3 Test di accettazione delle uova coltivate	39
7. PROSPETTIVE FUTURE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	42
8. BIBLIOGRAFIA	45

## **Introduzione**

Negli ultimi anni, l'agricoltura cellulare ha suscitato un crescente interesse come possibile soluzione alle sfide ambientali, etiche ed economiche legate alla produzione alimentare tradizionale, questo settore emergente si propone di rivoluzionare l'approccio all'agricoltura, sfruttando le biotecnologie per produrre alimenti di origine animale senza la necessità di allevamenti intensivi. Carne coltivata, latte coltivato e uova coltivate rappresentano le prime innovazioni più promettenti di questa "nuova" frontiera scientifica.

L'obiettivo di questa tesi è analizzare la nascita e l'evoluzione dell'agricoltura cellulare, mettendo in luce le sue potenzialità e le sfide ancora da superare. Verranno esaminati gli impatti di queste nuove produzioni, nonché le prospettive future per la sua diffusione su larga scala.

Attraverso questa analisi, la ricerca intende fornire un quadro chiaro e aggiornato sul ruolo dell'agricoltura cellulare nel futuro del sistema agroalimentare, valutandone i benefici e le possibili criticità, ma soprattutto mettendo al corrente le persone dell'evoluzione di tecniche innovative per la produzione di alimenti di origine animale.



# **CAPITOLO 1**

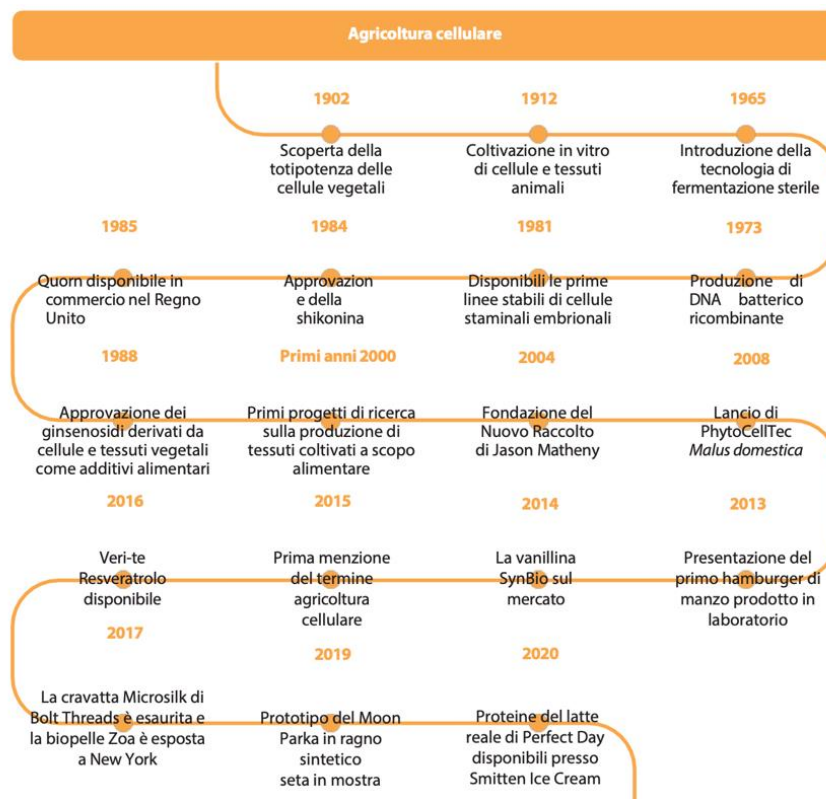
## **Storia e concetti fondamentali dell'agricoltura cellulare**

L'agricoltura cellulare rappresenta una rivoluzione nel settore agroalimentare, offrendo metodi innovativi per produrre alimenti di origine animale senza la necessità di allevare e/o macellare animali. Questa disciplina si basa sull'ottenimento di prodotti di natura acellulare o cellulare; dei primi ne fanno parte le proteine del latte e dell'uovo, ottenuti utilizzando microrganismi geneticamente modificati mentre i secondi vengono prodotti partendo da cellule vegetali o animali viventi che non vengono modificate geneticamente. L'obiettivo principale è creare prodotti alimentari più sostenibili, che vengano prodotti in maniera più etica e con meno emissioni di gas serra e utilizzo di meno risorse naturali come terra e acqua.

### **1.1 Origini e sviluppo storico**

L'idea di produrre carne senza la necessità di allevare e macellare animali ha radici profonde e risale a più di un secolo fa (**Figura 1.1**). Le prime ricerche sulla coltivazione di tessuti animali iniziarono nel XIX secolo, quando gli scienziati iniziarono a esplorare la possibilità di far crescere cellule al di fuori di un organismo vivente. Questi studi gettarono le basi per il futuro sviluppo dell'agricoltura cellulare.

Nel **1912**, il fisiologo francese Alexis Carrel dimostrò che era possibile mantenere in vita cellule di tessuto cardiaco di pollo in un ambiente controllato, riuscendo a mantenerle attive per diversi decenni. Anni più tardi Winston Churchill, nel suo saggio *Fifty Years Hence risalente al 1931*, scrisse di un futuro in cui l'uomo avrebbe potuto coltivare solo le parti commestibili degli animali, invece di allevare e macellare interi esemplari (*Eibl, et al., - 2021*). Questa si trattò semplicemente di un'intuizione visionaria che sarebbe diventata realtà nel tempo a venire.



**Figura 1.1**  
**Le pietre miliari nello sviluppo dell'agricoltura cellulare (Eibl, 2021)**

Negli anni '50 e '60, la scienza della biologia cellulare e dell'ingegneria tissutale iniziò a svilupparsi rapidamente, con il biologo olandese Willem van Eelen diventò consapevole il fatto che le tecnologie di coltura cellulare potessero essere applicate alla produzione alimentare mentre nel **1971** ci fu un passo molto importante nella crescita della materia quando il biochimico Russell Ross pubblicò uno studio che dimostrò la fattibilità di far crescerle al di fuori del corpo, un passo fondamentale per la futura produzione di carne coltivata (Eibl, et al., - 2021). Nel **1995**, Willem van Eelen ottenne il primo brevetto per la produzione di carne coltivata, ufficializzando la possibilità di coltivare tessuti animali per scopi alimentari. Questo evento segnò una svolta significativa, stimolando ulteriori ricerche nel settore ma soprattutto aumentando la consapevolezza nelle persone e nelle aziende che questa produzione fosse fattibile e sostenibile.

Agli inizi degli anni **2000** la NASA iniziò a finanziare esperimenti sulla coltivazione di tessuti muscolari di tacchino e pesce in laboratorio con l'obiettivo di sviluppare una fonte proteica per gli astronauti nelle missioni spaziali di lunga durata (Ferri, et al., - 2024).

Negli anni successivi, visti i risultati dei numerosi studi effettuati e l'accrescere della consapevolezza che poteva essere realmente prodotto carne in laboratorio, molte aziende profit e non-profit iniziarono a finanziare gli studi di alcuni esperti, come nel **2001**, quando il medico e ricercatore olandese Wout R. van Eelen, figlio di Willem van Eelen, ottenne un finanziamento per studiare l'applicazione della coltura cellulare alla produzione alimentare e nello stesso periodo il governo olandese

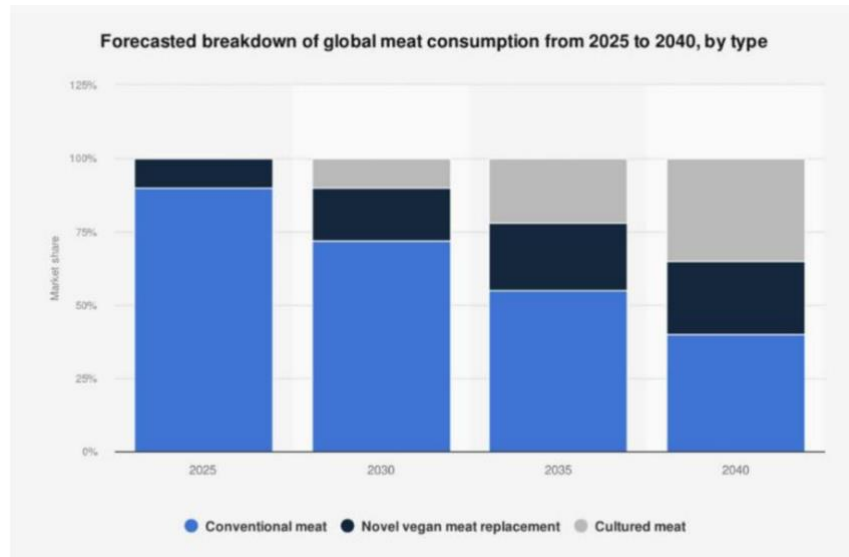
investì oltre 2 milioni di euro in progetti di ricerca sulla carne (Eibl, et al., - 2021). La vera svolta la abbiamo nel **2013** quando nell'Università di Maastricht il professor Mark Post presentò il primo prototipo di hamburger coltivato in laboratorio prodotto a partire da cellule staminali bovine senza l'allevamento e la macellazione di animali, nonostante l'elevato costo di produzione, circa 250.000 euro, questo episodio segnò definitivamente ma soprattutto dimostrò per la prima volta la reale capacità di produrre alimenti di origine animale attraverso l'agricoltura cellulare. (Ferri, et al., - 2024).

Dopo il successo riscosso dalla scoperta di Mark Post numerose start-up e aziende decisero di finanziare progetti e ricerche per la produzione di carne coltivata, tra le più importanti abbiamo l'azienda Upside Foods che nel **2016** presentò una polpetta di carne coltivata, seguita da strisce di pollo e anatra nel **2017** e la società Eat Just la quale divenne la prima azienda a ottenere l'approvazione regolamentare per vendere carne coltivata a Singapore, con i suoi nuggets di pollo a base di carne coltivata (Ferri, et al., - 2024).

## **1.2 Esigenze che hanno fatto nascere l'agricoltura cellulare**

Oltre allo sviluppo dell'attività e allo sviluppo della scienza diverse sono le problematiche e le necessità che hanno portato alla nascita ma soprattutto allo sviluppo dell'agricoltura cellulare. Uno dei principali motivi è **l'impatto ambientale** prodotto dall'allevamento intensivo, principale causa di deforestazione, di consumo di enormi quantità di suolo e acqua ma soprattutto causa principale delle emissioni di gas serra, circa il **14,5%** delle emissioni totali secondo la FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura) (Eibl, et al., - 2021). Inoltre, secondo uno studio effettuato dalla società di consulenza globale AT Kearney (**Figura 1.2**), a causa dell'elevato impatto ambientale e dei problemi di benessere degli animali associati alla produzione di carne convenzionale, entro il **2040** il **60%** del fabbisogno globale di carne sarà soddisfatto da metodi di produzione non convenzionali come la carne in vitro (35%) o analoghi di origine vegetale per un valore di circa **630 miliardi di dollari**.

*Figura 1.2*  
*Ripartizione*  
*prevista del*  
*consumo globale di*  
*carne dal 2025 al*  
*2040, per tipologia*  
*(Kearney, 2021)*



Inoltre, oltre al problema ambientale, sorge un altro problema legato al costante aumento demografico della popolazione e al costante aumento della domanda di carne che comporterebbe un enorme aumento del sovrasfruttamento delle risorse naturali (suolo, acqua, etc.) (Eibl, et al., - 2021). Oltre a queste esigenze principali che hanno causato la nascita dell'agricoltura cellulare ci sono altre motivazioni di cui parleremo nel capitolo 4.

### **1.3 Tecnologie di base nell'agricoltura cellulare**

Il processo produttivo generale si basa sull'allevamento del prodotto all'interno di **bioreattori**, contenitori chiusi in materiale plastico, in vetro o in acciaio all'interno del quale le cellule vengono mischiate ed agitati assieme a dei nutrienti essenziali per il loro sviluppo, è molto importante che l'ambiente all'interno del bioreattore sia asettico ma soprattutto che il trasporto del ceppo di produzione venga fatta in maniera accurata per **evitare che la crescita di microrganismi contaminanti superi quella delle cellule oggetto di studio** (Ferri, et al., - 2024). Una volta che viene raggiunta la concentrazione richiesta di biomassa cellulare, il prodotto viene raccolto, separato, purificato in modo da garantire la corretta selezione e standardizzare il prodotto in modo da avere una corretta riproducibilità nel tempo.



## **CAPITOLO 2**

### **Prodotti di origine animale ottenuti da agricoltura cellulare**

Al giorno d'oggi l'agricoltura cellulare ha guadagnato un'attenzione crescente come risposta innovativa alle problematiche causate dalla classica produzione alimentare. Grazie all'innovazione e all'aumento della tecnologia è stato possibile produrre diversi prodotti sulla base dello stesso approccio, tra cui carne coltivata, latte coltivato e uova coltivate, i quali rappresentano una totale rivoluzione nel settore agro-alimentare poiché offrono alternative sostenibili e umane alle tradizionali risorse animali.

#### **2.1 Carne coltivata**



*Figura 2.1*  
*La carne coltivata*  
*(Ferri et al,2024)*

La produzione di carne coltivata (**Figura 2.1**) rappresenta una delle innovazioni più straordinarie nel panorama agroalimentare contemporaneo, nonché il prodotto al momento più studiato e più “vicino” alla commercializzazione finale. Questo processo avanguardistico sfrutta tecnologie avanzate derivate dall'utilizzo di cellule staminali e dall'ingegneria tissutale, settori di enorme potenziale nella medicina rigenerativa. Il processo produttivo si basa sull'idea di rigenerare tessuti o sostituire cellule danneggiate utilizzando tecniche che possono essere facilmente adattate per creare alimenti (*Ferri, et al., - 2024*).

## PROCESSO PER LA PRODUZIONE DI CARNE COLTIVATA

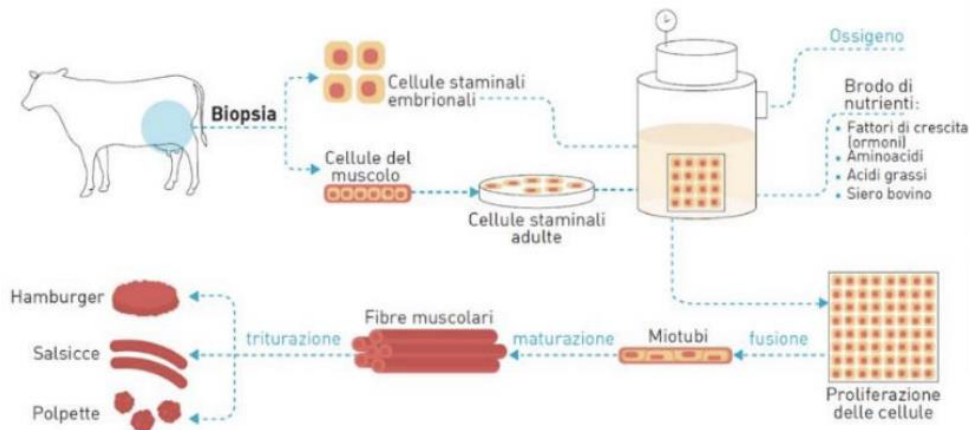


Figura 2.2

Schema del processo di produzione della carne coltivata (Ferri et al,

Il processo (**Figura 2.2**) inizia con il prelievo di un piccolo campione di tessuto muscolare da un animale vivo, attraverso una **biopsia** che va ad isolare le cellule oggetto di studio. Questo campione è fondamentale poiché contiene cellule satelliti, principalmente **mononucleate**, cellule staminali specializzate che hanno la capacità di proliferare e differenziarsi in fibre muscolari mature, costituendo la base per la produzione di carne. Una volta raccolto il campione, si procede a un processo di isolamento cellulare, in cui il tessuto è sottoposto a digestione enzimatica e rottura meccanica con lo scopo di separare le singole cellule dalla matrice completa, ottenendo un prelievo di **mioblasti, fibroblasti, e adipociti**, cellule essenziali non solo per la riproduzione della carne muscolare (Ferri, et al., - 2024), ma anche del tessuto adiposo, fondamentale poiché va a costituire il gusto e le caratteristiche sensoriali al momento del consumo del prodotto finale.

Le cellule isolate vengono quindi **trasferite** in un **terreno di coltura** appositamente formulato, cruciale per il loro sviluppo. composto da una soluzione nutriente arricchita di nutrienti essenziali, come glucosio, amminoacidi, sali minerali e vitamine, affinché le cellule possano sopravvivere e proliferare, è inoltre fondamentale che il terreno sia privo di antibiotici.

In buona parte dei terreni di coltura è presente **siero fetale** di vitello o di cavallo, fattore fondamentale per la crescita e per la differenziazione delle cellule, nonostante negli ultimi anni a seguito dell'insorgenza di proteste

etiche e tecniche si sta provando a sostituirlo con un terreno a ridotto contenuto o a contenuto nullo di siero (*Eibl, et al., - 2021*). Questo è un passo significativo verso la sostenibilità, poiché l'uso del siero richiede l'abbattimento di animali gravidi e introduce variabili indesiderate, come la variabilità tra differenti lotti di produzione.

All'interno dei terreni di coltura abbiamo principalmente alcuni fattori di crescita come il fattore di crescita dei fibroblasti **2 (FGF2 o FGF basico)**, il fattore di crescita epidermico (**EGF**), il fattore di crescita insulino-simile 1 (**IGF1**), la neuregulina 1 (**NRG1**), il fattore di crescita trasformante beta (**TGFβ1 o β3**), subunità B del fattore di crescita derivato dalle piastrine (**PDGFB**), albumina e transferrina, queste ultime sono proteine del plasma sanguigno fondamentali nel trasporto dei nutrienti.

Dopo l'aggiunta di terreno di coltura le cellule vengono immerse in **bioreattori**, strutture simili a fermentatori, dove le condizioni ambientali come temperatura, pH e livelli di ossigeno, vengono standardizzate e regolate garantendo un ambiente ottimale per la crescita cellulare, per la proliferazione e la riproduzione delle cellule coltivate (*Ferri, et al., - 2024*).

I sistemi di coltura possono essere di due tipologie differenti:

1- **Statici**: Questi strumenti hanno lo svantaggio di fornire una superficie limitata per il processo produttivo che si può tradurre in limitazioni di ossigeno e quindi la produzione non sarà ottimale;

*Es. Piastre di Petri*

2- **Dinamici**: Strumenti che permettono di regolare in base alla fase del processo i parametri ambientali.

*Es. Bioreattori agitati, bioreattori a parete e letto rotante, bioreattori a onda mista, bioreattori a fibra cava*

Questi tipi di bioreattori sono spesso integrati con scaffold, supporti costituiti da materiale di origine animale (**Idrogeli, perline, membrane o spugne di collagene, cellulosa e chitosano**) che hanno lo scopo di aumentare la superficie di proliferazione, consentire le contrazioni e massimizzare la diffusione e la successiva separazione dal terreno di coltura dopo la raccolta (*Eibl, et al., - 2021*).

Questi inoltre possono essere anche dissolvibili, aspetto molto importante perché in questo modo vengono evitati i costi di eliminazione alla fine del processo ma soprattutto perché donano una consistenza aggiuntiva alla carne.

Durante la fase iniziale di proliferazione, le cellule possono svilupparsi in due modi differenti:

1- **in sospensione** aderendo a scaffold come i **microcarrier** (piccole sfere che fungono da scaffold);

I **microcarrier** sono strutture fondamentali che offrono un buon rapporto superficie/volume, consentendo densità cellulari elevate, ottimale per l'economia della produzione (Eibl, et al., - 2021).

2- Formazione di **sferoidi cellulari** (solo in bioreattori statici)

Una volta raggiunto un numero sufficiente di cellule, segue la fase di differenziazione, dove le cellule muscolari vengono indotte a svilupparsi in fibre muscolari mature, questo processo avviene attraverso manipolazioni mirate delle condizioni del terreno di coltura, attraverso l'introduzione di stimolazioni meccaniche o elettriche. Questo passaggio è importante perché determina la formazione e l'allineamento delle fibre muscolari andando a simulare la naturale crescita di esse. Nel corso della differenziazione, le cellule staminali/satelliti si trasformano in **mioblasti** successivamente in miociti, i quali iniziano a formare le basi delle fibre muscolari, chiamate **miotubi**, i quali infine iniziano ad allinearsi per formare i **fasci muscolari** (Eibl et al., - 2021).

Durante la fase di maturazione, che può richiedere diverse settimane, oltre ad essere molto importante per l'acquisizione della struttura muscolare e della forma voluta è molto importante per conferire alla carne tutte le caratteristiche sensoriali che sono fondamentali trovare nel prodotto finale, per aiutare questo processo possono essere aggiunti ulteriori ingredienti come **oli** che possono aiutare ad **umentare il profilo e il contenuto nutrizionale della carne**.

La fase finale del processo consiste nella raccolta e nella lavorazione, una volta accertato che sia stata raggiunta la maturità desiderata, del terreno attraverso la rimozione di componenti non muscolari come residui del terreno di coltura e l'elaborazione del tessuto per arrivare al prodotto finito.

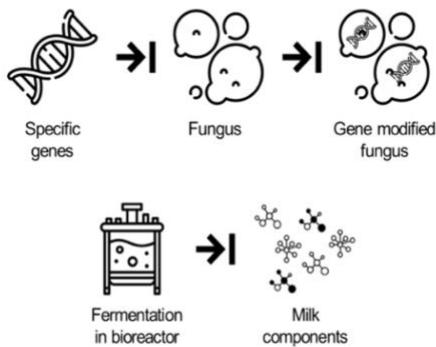
## **2.2 Latte coltivato**

Nonostante la maggior parte degli studi siano concentrati sulla produzione di carne coltivata, numerose aziende stanno approfondendo la produzione di latte derivante da agricoltura cellulare (Kwon, et al., - 2024).

Questo prodotto può essere elaborato seguendo **due procedimenti differenti (Figura 2.3)**, quello derivante dalla fermentazione e quello derivante dalla coltura di cellule animali.

## Cellular agriculture technology in the dairy sector

### Fermentation-based cellular agriculture technology



### Animal cell culture-based cellular agriculture technology

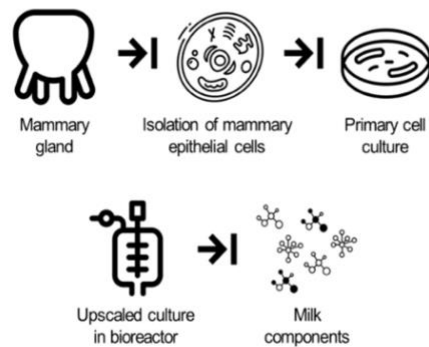


Figura 2.3 Tecnologia di agricoltura cellulare nel settore lattiero-caseario e aziende startup globali per produrre componenti del latte (Kwon et al, 2024)

### 2.2.1 TECNICA DERIVANTE DALLA FERMENTAZIONE

La produzione di latte coltivato derivante da fermentazione coinvolge diverse fasi chiave che integrano biologia sintetica, ingegneria genetica e processi di fermentazione.

La prima fase consiste nella selezione di microrganismi appropriati, come batteri, lieviti o funghi, in grado di produrre le proteine del latte desiderate. I funghi, soprattutto, svolgono una funzione molto importante, quella di facilitare la corretta modifica post-traduzionale delle proteine, il fungo più utilizzato è il *Trichoderma reesei* per la sua elevata produttività proteica e per la sua sicurezza alimentare.

Una volta scelti i microrganismi, questi vengono introdotti in cellule delle ghiandole mammarie, precedentemente prelevate attraverso la mungitura di bovini con la funzione di codificare proteine del latte, come caseina, **lattoglobulina (BLG)**, siero di latte o lattoferrina. Durante questa fase, vengono spesso utilizzate tecniche come **CRISPR** o altre metodologie di modificazione genetica (Kwon, et al., - 2024) per garantire che i microrganismi possano esprimere efficacemente le proteine desiderate.

Il passo successivo è la preparazione del terreno di fermentazione, che fornisce i nutrienti necessari per la crescita dei microrganismi. Questo terreno deve essere ottimizzato per garantire la massima produttività e qualità del prodotto finale attraverso l'aggiunta di nutrienti, come zuccheri, sali minerali e fattori di crescita,

essenziali per favorire un ambiente ideale per i microrganismi scelti (Kwon, et al., - 2024). Infine, quando abbiamo pronto il terreno di coltura e le cellule procediamo all'inoculazione di esse nel terreno e può iniziare la **fermentazione in bioreattori** (gli stessi utilizzati per la produzione della carne coltivata, come nel capitolo precedente) dove grazie alla regolazione di temperatura, pH e livello di ossigenazione avviene la fermentazione e quindi la produzione di proteine bersaglio dopo che è stata raggiunta la concentrazione sufficiente di microrganismi.

La quantità di proteine che viene prodotta usa come unità di misura il **“titer”** che corrisponde alla quantità di proteina, in questo caso BLG, che è stata prodotta dal microrganismo oggetto di studio in condizioni favorevoli alla sua crescita. Per quanto riguarda la BLG, ad oggi, abbiamo un titer che è di **1 g/L**, questo risultato è stato raggiunto negli ultimi 30 anni, basti pensare che fino al **1990** il suo valore era di **0,001 g/L**, confrontandolo con quello del latte bovino (**BLG= 3g/L**) il valore è ancora basso ma gli studi si stanno evolvendo per minimizzare il più possibile questo divario (Kwon, et al., - 2024).

Ad oggi la misurazione dei valori di titer è riferita all'utilizzo principale di 3 tipi di microrganismi principali quali **T.reesei**, **E. coli** e **K. phaffii** .

Raggiunta la concentrazione voluta, le proteine sintetiche vengono recuperate dalla miscela fermentativa e attraverso tecniche di purificazione come centrifugazione, filtrazione e cromatografia vengono isolate e concentrate (Kwon, et al., - 2024).

## **2.2.2 TECNICA DERIVANTE DALLA COLTURA DI CELLULE ANIMALI**

Il procedimento di produzione di latte coltivato attraverso la coltura di cellule animale si basa sui concetti simili che ho trattato nel capitolo precedente relativo alla carne coltivata (**Figura 2.4**).

Il primo passo nel nostro protocollo prevede **l'isolamento delle cellule** presenti nel tessuto delle ghiandole mammarie o nel latte bovino fondamentale al fine di ottenere esclusivamente le cellule oggetto di studio, garantendo così l'accuratezza e la riproducibilità dei risultati ottenuti in seguito. A tale scopo, utilizziamo metodiche di separazione cellulari avanzate, che ci permettono di isolare efficacemente le cellule desiderate da altre componenti presenti nel tessuto o nella matrice del latte.

Successivamente, **le cellule** isolate **vengono inoculate** all'interno di un terreno di coltura appositamente formulato, il quale contiene una combinazione di acidi grassi, amminoacidi e ormoni indispensabili per la proliferazione cellulare, la composizione del terreno è di vitale importanza per

promuovere un ambiente ottimale che favorisca la crescita e la divisione delle cellule (Kwon, et al., - 2024).

Dopo l'**inoculo**, trasferiamo le cellule all'interno di bioreattori dinamici, progettati per garantire una perfetta aerazione e miscelazione del mezzo, contribuendo così a una crescita cellulare uniforme e controllata attraverso la facilità di regolazione delle condizioni ambientali interne ad esso. Un elemento chiave di questo processo è rappresentato dagli **scaffold**, supporti di origine animale che vengono inseriti all'interno dei bioreattori con lo scopo di fornire una superficie di riproduzione ampliata, facilitando non solo la proliferazione cellulare, ma anche la successiva separazione del prodotto finale. In particolare, gli scaffold impiegati nel nostro studio sono i **microcarrier**, che offrono vantaggi strutturali significativi, consentendo alle cellule di aderire e proliferare in modo più efficiente (Kwon, et al., - 2024).

Dopo aver raggiunto la concentrazione cellulare predefinita, ci si prepara a effettuare una purificazione delle cellule, step cruciale per isolare quelle cellule che sono state selezionate per ulteriori analisi o applicazioni, questa fase è facilitata attraverso l'applicazione di diverse tecniche di separazione:

- 1- **Microfiltrazione**: consente di rimuovere efficacemente i globuli di grasso presenti nel mezzo culturale.
- 2- **Ultrafiltrazione**: utile per isolare le micelle di caseina, componenti che rivestono un'importanza notevole nella formazione della struttura del latte.
- 3- **Nanofiltrazione**: separa le proteine isolate, assicurandoci di ottenere un prodotto altamente purificato e conforme agli standard richiesti.

Alla fine di queste fasi avremo il latte coltivato pronto. (Kwon, et al., - 2024).

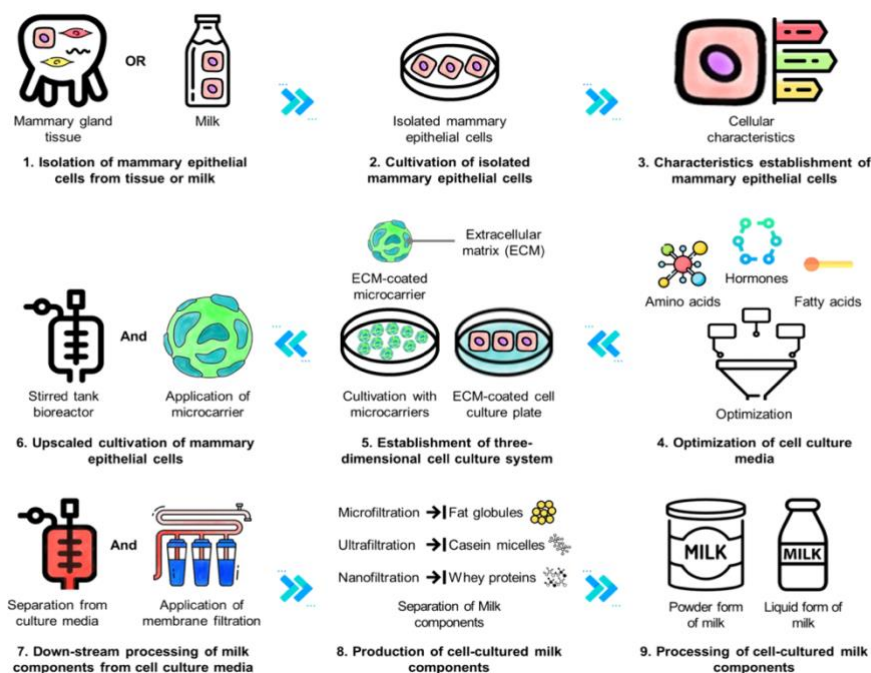


Figura 2.4 Principali processi e sfide tecniche per la produzione di latte coltivato in laboratorio utilizzando tecnologie basate sulla coltura cellulare animale (Kwon et al,2024)

### 2.3 Uova coltivate

La produzione di uova coltivate, come quella del latte, viene principalmente effettuata attraverso la **fermentazione di precisione** rappresenta un'importante innovazione nel settore alimentare, così come la carne e il latte coltivato è stata creata con lo scopo di ridurre l'impatto ambientale e soddisfare la crescente domanda di alimenti ricchi di proteine e sostenibili vista la crescita esponenziale della domanda di proteine animali. Il processo produttivo è molto simile a quello delle proteine del latte basandosi su una fermentazione di precisione (Nielsen, et al., - 2023).

Il processo inizia con la **scelta di un'ospite** adeguato al processo, quale può essere un fungo filamentoso, un lievito o un batterio. La scelta deve ricadere su un organismo che abbia caratteristiche precise e note quali:

- 1- **Capacità di secrezione elevata;**
- 2- **Abilità di crescere su substrati economici;**
- 3- **Capacità di eseguire modifiche post-traduzionali per l'ottenimento delle proteine ricercate**



Gli organismi più comunemente utilizzati sono il *Trichoderma reesei* e l'*Aspergillus niger* grazie alla loro alta capacità di produrre proteine e la loro alta adattabilità a diversi substrati di crescita, la scelta ricade sui funghi filamentosi grazie alle caratteristiche precedentemente menzionate nonostante essi abbiano un tasso di crescita nettamente inferiore rispetto ai batteri ma performance più elevate sulla trascrizione delle proteine, punto più importante nel nostro processo (Nielsen,2023).

Dopo la selezione dell'organismo, il passo successivo è l'**inoculo** dei geni di produzione delle proteine, come l'**ovoalbumina**, all'interno del genoma dell'ospite. Questo processo viene aiutato grazie all'utilizzo di tecniche avanzate di editing genetico come il CRISPR che permette di affinare e ottimizzare la produzione della proteina.

Successivamente, l'organismo viene coltivato in un **bioreattore** (Figura 2.5). Vengono preferiti bioreattori dinamici con scaffold in modo da avere una quantità di biomassa più elevata e una capacità estrattiva migliore, durante questa fase, è fondamentale fornire **aria, sostanze nutritive e zuccheri**, poiché questi elementi sono necessari per la proliferazione delle cellule e la produzione della proteina desiderata e mantenere le condizioni ambientali all'interno del reattore (T°, pH, livello di ossigeno, agitazione, etc.) favorevoli al processo di proliferazione delle cellule (Nielsen, et al., - 2023).



Figura 2.5

Batteria di bioreattori biodinamici utilizzati in agricoltura cellulare

Durante questa fase avremo l'aumento della biomassa, cruciale per l'economia della produzione poiché maggiore sarà la biomassa e maggiore sarà la quantità di **ovoalbumina** prodotta. I substrati che si possono utilizzare sono diversi, devono essere selezionati in base a diversi fattori quali sostenibilità, costi, velocità di disgregazione e la scelta ricade spesso su monosaccaridi o disaccaridi come **glucosio** e **saccarosio**, inoltre, visto il costo elevato degli zuccheri si possono eventualmente utilizzare substrati alternativi come scarti agricoli per ridurre i costi e aumentare la sostenibilità del processo ma bisogna tenere in conto che questi ultimi richiedono tempi di degradazione più lunghi a causa della loro complessità (*Nielsen, et al., - 2023*).

Una volta raggiunta una concentrazione elevata di cellule, inizia la fase di produzione proteica. Durante questa fase, le cellule iniziano a produrre la proteina bersaglio attraverso la trascrizione dei geni che sono stati precedentemente inseriti. La quantità di proteina prodotta è misurata come "**titer**" e rappresenta la concentrazione della proteina prodotta attraverso il microrganismo che funge da substrato. Un titer più elevato indica un processo più efficiente (**T.reesei – titer 2 g/L**) (*Nielsen, et al., - 2023*).

Al termine della fermentazione, la proteina deve essere recuperata e purificata, questo avviene in base a dove è avvenuta la secrezione della proteina, se essa è stata secreta **intracellularmente** allora dovremmo prima rompere la membrana cellulare attraverso processi come la disgregazione cellulare e poi procedere con l'estrazione mentre se la proteina è stata secreta nel **fluido extracellulare** procederemo direttamente con i processi di estrazione quali centrifugazione o filtrazione.

L'ultima fase è costituita dalla purificazione delle proteine attraverso tecniche di filtrazione più precise come **microfiltrazione, nanoprecipitazione, ultrafiltrazione e precipitazione**, metodi poco costosi ma molto efficaci per garantire la qualità finale della proteina (*Nielsen,2023*).

Per concludere, la tecnologia della fermentazione di precisione è un processo costituito da più fasi altamente tecnologiche e meccanizzate che ci si aspetta vengano sviluppate e studiate in modo continuativo per mirare a una produzione alimentare più sostenibile e su scala globale.

## **CAPITOLO 3**

### **ANALISI DI VANTAGGI, SVANTAGGI E CRITICITÀ DELL'AGRICOLTURA CELLULARE**

Dopo aver accennato principalmente le motivazioni per cui l'agricoltura cellulare si sia sviluppata in maniera esponenziale negli ultimi 50 anni ora approfondiremo i vantaggi che essa ha portato ma anche gli svantaggi e le criticità che tutt'ora quest' agricoltura rivoluzionaria ha fatto insorgere col suo avvento attraverso un'analisi tecnico-sociale.

#### ***3.1 Benefici ambientali***

A livello ambientale, sono molteplici i vantaggi che porta l'agricoltura cellulare rispetto alla produzione alimentare convenzionale, come:

***Riduzione delle emissioni di gas serra:*** Attraverso diversi studi di **Life Cycle Assesment (LCA)** è stato dimostrato come la produzione di alimenti da agricoltura cellulare ha il potenziale di ridurre in modo significativo l'emissione di gas serra meno gas serra rispetto alla carne tradizionale difatti secondo l'analisi condotta da CE Delft nel **2021**, la produzione di carbonio derivante da, ad esempio, carne coltivata è **ridotta del 92%** rispetto alla quantità di carbonio prodotta dall'allevamento convenzionale di bovini e del 44% dall'allevamento convenzionale di suini (*Ferri,2024*). L'emissione di carbonio in **agricoltura cellulare** è di circa **2,5 kg di CO2 per kg di carne** prodotta mentre nel caso dell'agricoltura convenzionale il dato è visibilmente più alto, infatti, si aggira sui **13,6 kg di CO2 per kg di carne convenzionale** prodotta (*El Wali, et al., - 2024*).

***Minor utilizzo di suolo e acqua:*** Un altro dato che salta all'occhio è l'utilizzo del suolo e delle acque, fondamentali per idratare gli animali nel caso dell'acqua e per il pascolo nel caso del terreno. Secondo alcuni studi l'uso del suolo e dell'acqua in agricoltura cellulare è circa il **50%** rispetto all'allevamento tradizionale (*Wood, et al., - 2023*). Questo, di conseguenza, causa, oltre al minor utilizzo di risorse naturali, una quantità maggiore di terre libere che possono essere utilizzate per altre pratiche o per il rimboschimento.

**Minore necessità di mangimi:** Oltre all'acqua, limitando il numero di animali allevati, si ridurrebbe drasticamente l'**utilizzo di mangimi** come il mais e la soia destinando i terreni sostituiti alla produzione di alimenti per gli esseri umani (Ferri, et al., - 2024), in questo modo limiteremo la deforestazione per la preparazione dei terreni a queste coltivazioni e si contribuirebbe a un **minor utilizzo del suolo terrestre**.

**Miglioramento della qualità dell'aria e miglioramento della biodiversità:** Andando a ridurre i terreni per la produzione di mangimi destinati agli animali da allevamento questo porterebbe a un ripristino delle foreste (Wood, et al., - 2023), molto importanti perché hanno la **capacità di assorbire carbonio** che quindi porterebbe a un **miglioramento della qualità dell'aria** e ad un ripristino della biodiversità tradotto in un arricchimento di specie animali e piante.

**Minor inquinamento:** Riducendo il numero di allevamenti di bovini o suini, diminuiranno di conseguenza anche l'**utilizzo di fitofarmaci, antibiotici ed ormoni** utilizzati negli allevamenti intensivi, che quindi non defluiscono nel suolo e nell'acqua con potenziale inquinamento (Wood, et al., - 2023).

### **3.2 Aspetti etico-sociali**

Oltre ad avere numerosi aspetti positivi a livello di clima, biodiversità e ambiente la produzione cellulare si avvicina a comunità religiose come quella ebraica nel caso della **certificazione kosher** e quella islamica nel caso dell'**halal** per il rispetto dei requisiti igienico-sanitari che dovrebbero avere le carni durante la macellazione, in accordo col fatto che questa tecnologia non prevede la macellazione per renderla disponibile al consumo umano perché non è presente un vero e proprio "animale" quindi è una pratica che rispetta il loro welfare (Ferri, et al., - 2024).

L'esempio lampante e concreto di questi vantaggi lo abbiamo in due start-up, la prima è **SuperMeat**, un'azienda di impronta israeliana che ha ottenuto la certificazione kosher per la loro **carne di pollo** coltivata ottenuta da cellule staminali di uova fecondate in laboratorio senza la produzione di macchie di sangue andando a rispettare le normative della comunità ebraica (Ferri, et al., - 2024).

L'altro esempio è quello dell'azienda **Good Meat** che ha, collaborando con l'agenzia di certificazione **Halal di Singapore**, istituito una équipe di

ricercatori esperti della sharia per produrre carne coltivata halal e attraverso degli studi hanno affermato che essa può essere prodotta solo a partire da cellule proveniente da animali che rispettano le norme igienico-sanitarie della comunità islamica, ad oggi non hanno ancora la certificazione ma l'azienda si sta muovendo verso quell'obiettivo (Wood, et al., - 2023).

Ultimo aspetto di eguale importanza è la **riduzione significativa della sofferenza animale**, soprattutto negli allevamenti intensivi dove vengono utilizzati metodi di stordimento che non rispettano il benessere animale o metodi come nel caso delle galline che portano a una sovrapproduzione di uova che non rispetti l'attività fisiologica delle galline.

Secondo una stima della **Humane Society International**, circa **70 miliardi di animali** vengono macellati ogni anno a livello globale, e la ricerca indica che la maggior parte di questi subiscono condizioni di vita inadeguate e stress durante la loro vita e nel momento della macellazione (Wood, et al., - 2023).

### 3.3 Rischi legati al processo produttivo

	Transmission of zoonotic infectious diseases	Residues and by-products	Novel inputs	Biological contamination
1. Cell selection	x	x		x
2. Production	x	x	x	x
3. Harvesting		x	x	x
4. Food processing		x	x	x

*Tabella 3.1 Pericoli riscontrabili durante la produzione di carne sintetica (FAO/WHO, 2023).*

Nonostante gli aspetti potenzialmente vantaggiosi dell'agricoltura cellulare sono presenti anche alcuni svantaggi e alcune criticità sui loro prodotti, ora descrivo i principali rischi concentrandomi principalmente sulla carne coltivata e parlando dei suoi **rischi mutageni, chimici e microbiologici (Tabella 3.1)**

La sicurezza microbiologica nella produzione di carne coltivata è un elemento che desta preoccupazione dato l'aumento della tecnologia e l'aumento della necessità di processi industriali per la produzione.

## **PERICOLI MICROBIOLOGICI**

Il rischio principale è quello derivante dalla **contaminazione batterica**, virale e fungina che può avvenire durante il processo produttivo la trasformazione e lo stoccaggio del prodotto finale, diventa quindi fondamentale valutare la presenza di patogeni, come **Salmonella**, **Campylobacter ed E. coli**, che possono contaminare il prodotto (*Wood et al, 2023*), oltre ad adottare corrette **GHP** e **GMP** per minimizzare al massimo il rischio di contaminazione proveniente da agenti esterni (*Ferri, et al., - 2024*).

Nei prodotti derivanti da cellule ottenute tramite biopsia è inoltre molto importante andare a studiare ed analizzare la **storia clinica dei donatori** e l'**igiene** degli allevamenti dove selezioniamo gli animali da cui si prendono le cellule staminali per evitare di andare ad acquisire cellule già contaminate.

Analizzando l'intero processo produttivo, il rischio più alto di contaminazione lo troviamo nella fase iniziale quindi nella scelta di ingredienti, nella mancata igiene delle strumentazioni, delle macchine di lavorazione o degli operatori; quindi, dopo aver individuato le fonti di contaminazioni principali che abbiamo nella linea dovremmo produrre un **piano HACCP** per minimizzare il rischio e rispettare manuali di buona prassi igienica (GHP e GMP) (*Ferri, et al., - 2024*).

## **PERICOLI CHIMICI**

Parallelamente ai rischi microbiologici, parlando di sicurezza alimentare, si tiene conto anche dei pericoli chimici che può avere la carne coltivata, derivano dall'utilizzo di additivi, dalla presenza di **tossine o di allergeni**.

Il pericoli chimici derivano quasi totalmente da sostanze presenti nel terreno di coltura o sostanze che vengono aggiunte durante la fase di coltura nel bioreattore, per ovviare a questo problema bisogna in primis concentrare l'approvvigionamento degli ingredienti e dei materiali utilizzati durante l'iter produttivo da **fornitori di qualità elevata** per assicurarsi che le caratteristiche igienico-sanitarie vengano rispettate mentre per altri prodotti bisognerà valutare il loro impatto a livello umano che causano dopo che vengono consumati e se resistono ai processi che subiscono gli alimenti come la cottura o se rimangono all'interno dell'individuo dopo la digestione con una

soglia superiore a quella limite del rischio e quindi essere dannosi o tossici per la salute umana. In merito a ciò alcune sostanze presentano già dei dati certi che attestino la loro soglia rischio al di sotto della quale sono sicuri per il consumo umano come il fattore di crescita **insulino-simile IGF 1** che può essere utilizzato perché già presente nella carne derivante dall'agricoltura convenzionale (*Ferri, et al., - 2024*).

Al contrario, ci sono altri prodotti, di cui non sono presenti dei dati disponibili nelle banche dati, ma che sono fondamentali per l'efficienza del processo produttivo come:

- **Molecola SB 203580**, un inibitore fondamentale per la differenziazione proliferazione delle cellule staminali;
- **Fenoltaleina**, indicatore utilizzato per il pH nei terreni di coltura che non è autorizzato come additivo alimentare dall'EFSA e quindi non può essere presente nel prodotto finale perché causa allergie ed è cancerogeno per l'uomo;
- **Il collagene**, componente fondamentale per gli scaffold nei bioreattori dinamici è ricco in glicina che, se consumata in quantità elevate, può provocare effetti collaterali al consumatore (*Ferri, et al., - 2024*).

Per questi prodotti devono essere effettuati test tossicologici come il **(Threshold of toxicological concern-TTC)** o implementare l'**approccio read-across** che ci darà linee guida basate non sulle sostanze oggetto di studio ma su sostanze molto simili ad esse (*Wood, et al., - 2023*).

Inoltre, durante la fase di purificazione finale, è prevista una riduzione/rimozione delle endotossine che vengono prodotte durante la crescita batterica perché se rimangono nel prodotto finale anche una concentrazione molto bassa come **1 ng/ml può ridurre i tassi di gravidanza durante la fertilizzazione in vitro di ovociti**.

## **PERICOLI MUTAGENI**

Durante il processo produttivo si va incontro al rischio di mutagenesi quindi a una variazione della sequenza del DNA di un organismo, la quale, soprattutto in agricoltura cellulare deve rimanere invariata in modo da garantire sempre la stessa stabilità genetica, alta produttività e riproducibilità nel tempo.

Per evitare che si verifichi questo problema vengono utilizzate **cellule staminali pluripotenti o cellule immortalizzate** per favorire proliferazioni estese e ridurre la variabilità che causerebbe shift (epi)genetici quindi divergenze nella sequenza del DNA rispetto alla sequenza della linea cellulare originale che porterebbe alla produzione di nuovi metaboliti indesiderati (*Wood, et al., - 2023*).

Gli shift possono essere causati dalla presenza di **micoplasmi** che possono contaminare le linee cellulari con una probabilità compresa tra il **5% e il 35%** alterando la velocità di proliferazione cellulare, il metabolismo e la fisiologia cellulare. Parlando di rischio legato alla salute derivato dalla consumazione, ad oggi non esistono dati o studi che attestino la comparsa di mutazioni genetiche che causino tumori nonostante alcune autorità, come FAO/WHO, considerano **improbabile** la **sopravvivenza di cellule potenzialmente cancerogene** attraverso i processi di produzione e consumo. Pertanto, la stabilità genetica e la sicurezza sono priorità per i ricercatori e i produttori, che devono monitorare costantemente la deriva genetica e le variazioni indesiderate (*Ferri, et al., - 2024*).

### **3.4 Incertezze normative**

Spostando il focus sulla commercializzazione di prodotti derivanti da agricoltura cellulare nel 2020 le crocchette di pollo prodotte dall'azienda **Good Meat** sono state approvate dalla **Singapore Food Agency**, stessa cosa è successa negli stati uniti dove nel **2023 l'USDA** ha approvato l'autorizzazione a due aziende produttrici.

Spostandoci sul fronte internazionale, recentemente, Israele ha ottenuto l'autorizzazione per la carne coltivata mentre nell' **Unione Europea** l'**EFSA** sta sviluppando delle procedure che hanno lo scopo di valutare questi "nuovi alimenti" per permettere la loro commercializzazione. Sul fronte internazionale, anche Israele ha recentemente dato il via libera alla carne coltivata, mentre in Europa l'EFSA sta sviluppando procedure di valutazione per questi nuovi alimenti, vitali per **l'approvazione della commercializzazione nell'UE**. La **prima** azienda europea che ha chiesto l'autorizzazione per la commercializzazione di questi prodotti è l'azienda **The Cultivated B**, di stampo **tedesco** che ha inviato una richiesta di pre-autorizzazione per la commercializzazione di **salsiccia coltivata**, composta da alimenti vegani e in gran parte carne coltivata, prodotta in collaborazione con un'altra azienda **The Family Butchers** (*Ferri, et al., - 2024*).

Mentre la situazione in maggior parte degli stati europea sta avendo una forte evoluzione, in **Italia**, lo sviluppo legale sulla commercializzazione della carne coltivata ha subito una forte battuta d'arresto a seguito **dell'emanazione di una legge ad ottobre 2023**, che vieta non solo la produzione e l'importazione di tale carne, ma anche l'utilizzo di termini come "burger" o "bistecca" per i prodotti vegetali. Ad oggi, visto che non è stata approvata alcuna legge da parte dell'Unione Europea l'Italia non subirà



alcuna conseguenza ma se dovesse essere approvata e la situazione nel nostro paese dovesse rimanere così, la legge contravviene a normative comunitarie fondamentali, come il **principio di precauzione del Regolamento CE 178/2002** e **l'articolo 34 del Trattato sul funzionamento dell'UE**, che vietano restrizioni quantitative alle importazioni. Oltre alle conseguenze sopracitate, l'Italia potrebbe essere sanzionata per violazione del mercato libero europeo poiché non autorizza la commercializzazione, cosa che nell'intera Unione Europea sarà possibile, ed invitata a adeguarsi alla normativa comunitaria (*Ferri, et al., - 2024*).



## **CAPITOLO 4**

### **LIVELLO DI EVOLUZIONE DEI PRODOTTI DA AGRICOLTURA CELLULARE**

Ad oggi, il commercio di questi prodotti è legalmente possibile solo in alcuni paesi, in più, visti i costi di produzione il costo del prodotto finale è molto più alto rispetto al prodotto ottenuto dall'agricoltura convenzionale, per questo, gli studi necessitano maggiori approfondimenti per scoprire nuove tecniche o per allargare su scala globale le produzioni con l'obiettivo di diminuire i costi finali dei prodotti e renderli quindi più competitivi, in questo capitolo approfondiremo la situazione attuale dei prodotti cellulari e il loro livello di evoluzione raggiunto.

#### ***4.1 Carne coltivata: progresso tecnologico e fattibilità commerciale***

La carne coltivata rappresenta un'innovazione significativa nel settore alimentare, ma allo stesso tempo è anche un campo che, ad oggi, si trova ad affrontare sfide importanti a vincerle per poter riuscire a raggiungere un livello di produzione sostenibile e globale. Il punto che scaturlisce più preoccupazione ai critici è l'alto tasso di consumo energetico causato dalla produzione di carne coltivata, in particolare se come fonte di energia i laboratori di coltura cellulare utilizzano fonti di energia fossile, in questo caso e solo in questo l'impronta di carbonio generata da questa produzione è maggiore rispetto a quella prodotta dalla carne convenzionale.

Per affrontare questo problema le start-up stanno conducendo degli studi di valutazione del ciclo di vita (**Life Cycle Assessment, LCA**) con lo scopo di esaminare l'impatto energetico e ambientale che hanno le varie fasi dell'iter produttivo della carne coltivata ma soprattutto l'emissione di gas serra con l'obiettivo di andare ad effettuare azioni correttive in modo mirato sulle fasi produttive di maggior impatto (*Ferri, et al., - 2024*).

Ulteriore problema, di uguale importanza a quello descritto precedentemente è quello del costo finale del prodotto, secondo uno studio approfondito condotto da Delft nel 2021 sono stati rivelati i costi futuri di produzione della carne coltivata, i quali sono risultati, ad oggi, tra le **10 e le 100 volte superiori** rispetto ai prodotti a base di carne tradizionale.

Al giorno d'oggi questa è la barriera più grande da superare per due semplici motivi ma fondamentali, il primo è relativo alla produzione perché sono presenti poche aziende che hanno la possibilità di investire un sufficiente quantitativo

economico per sostenere la produzione e secondo motivo è la competitività del prodotto poiché ad oggi sono più le famiglie che ricercano la convenienza piuttosto che prodotti di nicchia come può essere la carne coltivata con questo prezzo.

Le voci di costo che influenzano maggiormente il prezzo finale sono quelli del terreno di coltura cellulare costituiti da fattori di crescita e proteine ricombinanti fondamentali per la crescita delle cellule staminali, il loro contributo va a costituire circa il **55/95% del costo finale**, oltre che sul potenziale di riscaldamento globale complessivo (**GWP**).

Ad esempio, Il fattore di crescita **TGF- $\beta$**  ha un prezzo di diversi **milioni di dollari** al grammo, mentre **l'insulina** e **transferrine** proteine ricombinanti **mille dollari/grammo**; quindi, l'obiettivo è quello di abbassare al minimo questi costi e grazie alle innovazioni tecnologiche raggiunte oggi è possibile sintetizzare prodotti meno costosi e più efficaci. Riducendo questi costi, il prezzo finale può **scendere di quasi il 90%**, quindi, l'obiettivo della ricerca in questo ambito è quello di ottenere una notevole riduzione del prezzo della carne coltivata di circa **4000 volte**: da oltre **10.000 dollari** al kg a circa **2,50** nei prossimi nove anni attraverso l'abbattimento di specifiche barriere tecniche ed economiche e ottimizzando le fasi di produzione (*Ferri, et al., - 2024*).

Nonostante queste proiezioni ottimistiche, ci sono anche studi che forniscono dati di soluzione opposta a quelli sopracitati ma soprattutto ai vantaggi ambientali che porta l'agricoltura cellulare, in particolare uno studio di LCA dell'Università di Davis in California che utilizza modelli di stima econometrici TEA molto accurati di ha rilevato che il processo di purificazione dalle endotossine e raffinazione finale che avviene dopo l'estrazione delle proteine di interesse costituisce costo rilevante che può compromettere la competitività del prodotto su scala globale ed inoltre ha dei **livelli di emissione che vanno da un minimo di 246 a un massimo di 1.508 di CO2 e per 20 kg di prodotto**, da **4 a 22** volte superiore alla **carne convenzionale**. Stesso risultato in uno studio del 2015 che dichiarò che il carbon footprint della carne coltivata risulta circa cinque volte superiore a quella della carne di pollo e dieci volte superiore rispetto alle carni lavorate a base (*Ferri, et al., - 2024*).

Concludendo, è cruciale focalizzarsi sulla variazione dei terreni di coltura e l'ottimizzazione delle condizioni di crescita con **l'obiettivo di ridurre il carbon footprint e di avvicinarsi il più possibile al costo della carne**

**tradizionale**, secondo alcuni studi è risultato fondamentale la manipolazione delle condizioni nutrizionali e dei fattori di crescita per migliorare la resa delle cellule muscolari, questa è una delle ipotesi su cui si concentrano gli studi al giorno d'oggi per considerare il successo della carne coltivata sul mercato globale attraverso la realizzazione di un sistema di produzione più sostenibile implementato a strategie efficaci che possano aiutare a raggiungere gli obiettivi principali che sono stati posti dai critici.

#### **4.2 Latte coltivato: sfide e limiti attuali**

Le sfide attuali relative al latte coltivato sono molto più complesse rispetto a quelle della carne coltivata, la motivazione principale è quella che l'interesse per questo nuovo prodotto sono "nate" più recentemente rispetto a quelle della carne e l'evoluzione del prodotto è più acerba e anche perché il latte è un alimento molto più complesso data la sua complessità nutrizionale.

Come la carne coltivata, lo scoglio principale è relativo al **costo finale** del prodotto infatti secondo un'analisi tecnico-economica è stato rivelato che i costi per la produzione di componenti del latte coltivati in vitro sono notevolmente elevati come ad esempio, la produzione di  $\alpha$ -caseina e trigliceridi in quantità equivalenti a un litro di latte intero comporterebbe un carico economico all'azienda produttrice di circa **\$4,417 per la caseina** e di **\$574 trigliceridi** mentre per il solo **mezzo di coltura \$175 USD** per litro mentre il costo di un litro di latte negli **USA è di solamente \$1** . Inoltre, in questi costi non sono stati aggiunti quelli di manodopera, dei macchinari di produzione e di tutti i processi di separazione, estrazione e purificazione finale delle proteine del latte (*Kwon, et al., - 2024*).

Oltre al problema del prezzo finale, un grande punto interrogativo lo pone la **replicazione** della **struttura** complessa della ghiandola **mammaria (Tab. 4.1)**, un alveolo fondamentale per la varietà di cellule e strutture che presenta importanti per la sintesi e secrezione del latte; quindi, l'obiettivo è quello di replicare la condizione della ghiandola mammaria in un ambiente in vitro che riproduca gli aspetti fisiologici e le sostanze presenti all'interno di quest'organo.

Secondo uno studio recente è stato scoperto come le cellule **MAC-T**, se vengono fatte crescere in un terreno di coltura contenente di **progesterone (P4)**, sono in grado di produrre alcuni componenti chiave del latte, ma le attuali tecniche di coltura sono troppo acerbe e richiedono approfondimento, in generale l'obiettivo è comunque di, a breve termine, di produrre componenti individuali del latte utilizzando colture cellulari bidimensionali, mentre nel lungo periodo di perfezionare

le tecniche andando a produrre latte intero attraverso colture tridimensionali delle ghiandole mammarie (Kwon, et al., - 2024).

Di fondamentale importanza in questa produzione è la composizione del **terreno di coltura** che oltre ad essere composto da amminoacidi, vitamine, sali inorganici, glucosio sono composte da siero o alternative al siero contenente fattori di crescita e ormoni. Il terreno di coltura più utilizzato è il **Dulbecco's Modified Eagle's Medium/Nutrient Mixture F-12 Ham (DMEM/F12)** con **10% di siero bovino fetale (FBS)** per coltivare le cellule epiteliali mammarie e aggiunta di **penicillina ostreptomicina e anfotericina B** per l'1% delle prime e di **5 µg/mL** per il secondo.

L'importanza e il ruolo principale di amminoacidi, acidi grassi, glucosio, vitamine e minerali ma soprattutto degli **ormoni riproduttivi** e metabolici, contenuti nel siero come **PRL, P4, E2, CORT e INS** è quello di aiutare la produzione e la proliferazione delle **cellule epiteliali mammarie** fondamentali per la **produzione del latte**, ma non solo, anche per la produzione del **grasso** presente nel latte, più precisamente, il latte è composto da **trigliceridi (98%), digliceridi (circa 2%), colesterolo (meno dello 0,5%), fosfolipidi (circa 1%) e acidi grassi liberi (circa 0,1%)** tutti sintetizzati dalle cellule epiteliali a partire da oltre 400 acidi grassi diversi quindi **più ECs sono presenti e maggiore sarà simile il profilo nutrizionale del latte coltivato**, pertanto l'aggiunta di vari additivi, tra cui ormoni, amminoacidi e acidi grassi, al terreno di coltura è fondamentale per la produzione e proliferazione di cellule epiteliali mammarie (Kwon, et al., - 2024). Ad oggi le ricerche sono concentrate sull'ottimizzare i bioreattori per massimizzare la produzione, sul miglioramento dei metodi post-coltura per renderli più economici e sulla ricerca di nuove sostanze da mettere nel terreno di coltura che siano più economiche ma performanti allo stesso modo per diminuire il gap tra il costo del latte coltivato e di quello convenzionale.

Categories	Bioactive compounds	Concentration
Essential amino acids (µg/g of amino acids)	Arginine	13.24–33
	Isoleucine	10.75–33.5
	Histidine	4.65–42
	Leucine	15.20–93.4
	Lysine	9.21–74.7
	Methionine	3.28–8.6
	Phenylalanine	14.70–51.6
	Threonine	7.03–66
	Tryptophan	11.8–19.40
	Valine	22.26–67.3
Hormones (ng/mL in blood plasma)	INS	0.35 (puberty), 0.416–0.625 (pregnancy–lactation), 0.25–0.5 (5 d before the onset of lactation)
	CORT	9 (pregnancy), 3–5 (lactation), 5 (5 d before the onset of lactation)
	P4	0.5–3.5 (lactation), 4.5–6.5 (5 d before the onset of lactation)
	E1	3.5 (pregnancy), 0.05 (lactation)
	E2	0.55 (pregnancy), 0.025 (lactation), 0.5–0.8 (5 d before the onset of lactation)
	PRL	50 (5 d before the onset of lactation)
Fatty acids (µg/g of fatty acids)	Myristic acid (14:0)	7.7–10.2
	Palmitic acid (16:0)	120–209
	Palmitoleic acid (16:1)	25.4–58
	Stearic acid (18:0)	154.6–188
	Oleic acid (18:1)	86.5–149.6
	Linoleic acid (18: 2n-6)	280.2–376
	Docosahexaenoic acid (n-3)	10.3–34.2
	Arachidonic acid (n-6)	414–421
	SFA	402–405
	MUFA	141–174
	PUFA	425–456

*Tab 4.1 Concentrazione di amminoacidi, ormoni e acidi grassi nel plasma sanguigno bovino (Kwon et al, 2024)*

### **4.3 Innovazioni nella produzione di uova coltivate**

La produzione di uova coltivate attraverso la fermentazione di precisione presenta notevoli opportunità ma allo stesso tempo è costituita da dei veri e propri limiti tecnologici che la rendono altamente improbabile.

L'uovo è la seconda matrice proteica non carnea più utilizzata, superata solo dal latte, ed è stato stimato che nel mondo vengono prodotte circa **86,4 milioni di tonnellate di uova**, di questo numero circa il **36%** viene utilizzato per la produzione di **prodotti a base di uova** mentre il restante **64%** viene commercializzato sotto forma di **uova intere** (Nielsen, et al., - 2023).

A livello nutrizionale, le uova sono composte da circa il **13% di proteine**, della componente proteica totale il **54%** circa è occupato dall'**ovoalbumina**, la restante parte invece da altre proteine come l'ovotransferrina, l'ovomucoide, l'ovomucina e il lisosima che rappresentano rispettivamente il 12%, 11%, 3,5% e 3,5% della restante frazione proteica. L'ovoalbumina è una proteina essenziale poiché contiene tutto il pool degli amminoacidi in concentrazioni sufficienti e dona al prodotto importanti funzionalità come il **potere schiumogeno, emulsionante e gelificante**, importanti

per la produzione di alimenti derivanti dalle uova. Essendo così importante quindi la sua presenza deve essere replicata nelle uova coltivate, difatti questo rappresenta il limite tecnologico più importante, il rendimento in ovoalbumina è troppo basso, ad oggi l'azienda **Onego Bio** ha riportato un titolo di **2 g/L** di questa proteina utilizzando il **T.reesei** ma questo processo deve subire un miglioramento notevole per poter portare la produzione su scala globale sennò i costi di produzione finale sarebbero troppo elevati.

Secondo la stima dell'USDA dove il 36% delle uova prodotte sono destinate alla produzione di prodotti a base di uova, e di questo valore il **32,7%** è **tuorlo** e il **67,3%** è **albume**, ogni anno vengono prodotti **10,1 milioni di tonnellate** di **tuorlo** d'uovo e **20,8 milioni di tonnellate** di **albume**. L'ovoalbumina è contenuta solo nell'albume per il 54% della frazione proteica totale (12%) quindi la quantità totale di cui si necessita all'anno è di **1,35 milioni di tonnellate** di **ovoalbumina**, tenendo conto che proviamo a soddisfare solo il 10% del fabbisogno annuale di ovoalbumina utilizzando come titolo di resa quello di Onego Bio (2 g/L) dovrebbero essere utilizzati **oltre 13.6000 bioreattori** per soddisfare la produzione mentre se si riuscisse attraverso ricerca e studi ad aumentare la resa a **50 g/L** arriveremmo a solamente **550 serbatoi**, questo fa capire la necessità di migliorare la resa derivante dai microrganismi utilizzati nella fermentazione di precisione (*Nielsen, et al., - 2023*).



## CAPITOLO 5

### START-UP NEL SETTORE DELL'AGRICOLTURA CELLULARE

Le principali nazioni che fanno da portavoce in ambito di agricoltura cellulare sono senza dubbio gli **Stati Uniti, i Paesi Bassi e Israele**, non a caso sono le nazioni in cui sono avvenute le classiche “prime volte” e le scoperte più importanti, difatti uno degli episodi più importanti, come menzionato precedentemente nel capitolo 1, accadde nei Paesi Bassi nel **2005** quando il professore **Mark Post dell'Università di Maastricht** realizzò, grazie al finanziamento ricevuto da Sergey Brin, co-fondatore di Google, il **primo hamburger coltivato (Figura 5.1)** in laboratorio, presentato e cucinato durante una conferenza stampa a **Londra nel 2013**. Questo fu l'episodio che svoltò totalmente l'immagine culturale che la carne coltivata aveva poiché segnò il primo episodio reale che sancì il definitivo passaggio da un progetto alla realtà con la nascita di start-up che piano piano iniziarono a investire in questo “nuovo business” (Stephens & Ellis,2020).



*Figura 5.1*  
*Mark Post,*  
*l'inventore del*  
*primo prototipo di*  
*carne coltivata*  
*(Start-up*  
*Italia,2022)*

La prima azienda che ottenne un finanziamento per investire sull'agricoltura cellulare fu **Memphis Meats** a cui furono finanziati circa **17 milioni di dollari**, mentre **Just** (precedentemente nota come Hampton Creek), sempre un'azienda

statunitense, si concentrò sulla produzione di maionese vegana. Altre aziende americane di successo nel settore sono **Mission Barns**, **Wild Type** e **Finless Foods**, quest'ultima, molto importante perché si concentra sulla produzione di **Bluefin**, un tonno totalmente coltivato in laboratorio coltivato in laboratorio.

Mark Post, invece, nei **Paesi Bassi** fondò **Mosa Meat** di cui ne era a capo, con l'obiettivo di continuare l'espansione e la commercializzazione di prodotti cellulari, il quale **ottenne nel 2018 un finanziamento** dalla propria nazione di **7,5 milioni di euro**. Altra azienda olandese di spicco è la start-up **Meatable**, con sede a **Leiden**, la quale sta investendo sui modelli di produzione sostenibili a livello ambientale che verranno successivamente utilizzati, una volta perfezionati, da aziende che trattano questo tipo di agricoltura (Stephens & Ellis,2020).



*Figura 5.2 Prima Start-up Israeliana ad ottenere l'ok per la commercializzazione dei suoi prodotti (Remilk,2023)*

In **Israele**, **Future Meat Technologies** e **Aleph Farms** sono le aziende più gettonate, soprattutto quest'ultima che ha raccolto la quota di circa **11,65 milioni di dollari** per finanziare ricerche. Una svolta fondamentale nella commercializzazione di latte coltivato la abbiamo nel **2019** quando l'azienda israeliana **Remilk (Figura 5.2)**, ottenne il via libera per la commercializzazione dei propri prodotti sul **territorio canadese**, oltre al latte

coltivato anche a tutti gli altri prodotti derivanti da esso, prodotto da loro, e brevettati dall'azienda attraverso la **proteina beta-lattoglobulina (BLG)**, prodotta attraverso una fermentazione di precisione, senza l'ausilio di animali, ma del tutto equivalente alla sua omologa di origine bovina (*Mendly Zmbo, et al., - 2020*).

Un'altra nazione che piano piano sta provando a guadagnare il suo posto tra le grandi è il **Regno Unito** grazie ad aziende come **Higher Steaks**, fondata nel **2017** e specializzata nella creazione di carne coltivata partendo da **campioni di pelle bovina o da sangue suino**. Come detto dai fondatori, stanno investendo con l'obiettivo di sviluppare nuovi metodi di coltura che non utilizzino sieri di vitello fetale per evitare i costi eccessivi di produzione e i problemi etici che ne conseguono (*Stephens & Ellis,2020*).

Fare agricoltura cellulare non vuol dire solamente sviluppare nuove tecniche di produzione cellulare e produrre prodotti cellulari ma vuol dire anche produrre macchinari che vengano utilizzati in questa nuova tipologia di agricoltura, ne è l'esempio lampante l'azienda di marchio britannico **Cellular Agriculture Ltd**, fondata nel **2016**, che, collaborando con l'**università di Bath**, ha posto il focus sulla **progettazione, produzione e ottimizzazione di impianti di produzione cellulare come i bioreattori** in sinergia con la rete universitaria per portare avanti la ricerca e formare anche studenti universitari che in futuro potranno divenire veri e propri ricercatori.

Oltre alle aziende principali esistono alcuni **investitori privati** attivi nel settore come **CPT Capital**, un fondo inglese gestito a livello familiare da **Jeremy Coller**, che ha investito in aziende come **Geltor, Perfect Day, New Culture** con l'obiettivo di finanziare le aziende e supportare nuove ricerche e nuove tecnologie che portino a un'evoluzione del settore, oltre a CPT Capital anche **Agronomics Limited** decise di investire con l'obiettivo di diminuire l'impatto ambientale della produzione alimentare finanziando aziende come **BlueNalu, New Ages Meats e Shiok Meats**. (*Stephens & Ellis,2020*).

Parallelamente a **Jeremy Coller** anche Richard Branson, in America, finanziò **Memphis Meats** per dar voce all'importanza e al potenziale dell'agricoltura cellulare come settore innovativo e sostenibile.



## **CAPITOLO 6**

### **PROFILO NUTRIZIONALE E ACCETTAZIONE DEI PRODOTTI**

Oltre ai numerosi vantaggi ambientali che derivano dallo sviluppo dell'agricoltura cellulare, è fondamentale considerare che il prodotto finale deve anche soddisfare specifiche caratteristiche nutrizionali e organolettiche. Tra queste ultime, il gusto e l'appetibilità risultano cruciali per garantire il successo sul mercato. Infatti, se un prodotto non riesce a offrire un'esperienza sensoriale appagante, risulta difficile che possa competere efficacemente con le opzioni tradizionali. Pertanto, in questo capitolo, ci proponiamo di approfondire queste tematiche fondamentali, analizzando sia le qualità nutrizionali dei prodotti cellulari, sia le loro caratteristiche organolettiche, in modo da comprendere come possano influenzare l'accettazione da parte dei consumatori.

#### ***6.1 Profilo nutrizionale della carne coltivata***

La carne coltiva deve è regolata principalmente da due leggi, una ufficiale che è quella del **Regolamento (CE) 2015/2283** il quale stabilisce che tutti i **novel food**, quindi tutti quegli alimenti di nuova concezione che sono ottenuti attraverso l'utilizzo di nuove tecniche, tra cui fa parte la carne coltivata, devono avere obbligatoriamente un profilo nutrizionale simile ai prodotti mentre la legge "non-scritta" che i prodotti cellulari devono rispettare è quella relativa al rispetto del gusto dei prodotti, poiché essendo una popolazione, soprattutto quella italiana, legata alla cultura, se ci si dovesse presentare un prodotto ottenuto da nuove tecnologie davanti, a parità di prezzo ma che si differenziano per gusto, consistenza e appetibilità noi andremo sempre a scegliere e consumare quello a cui siamo sempre stati abituati, quindi finché le caratteristiche organolettiche del prodotto cellulare saranno distanti da quello a cui siamo abituati i prodotti potranno anche avere lo stesso prezzo ma il consumatore andrà sempre ad acquistare quello derivante da agricoltura tradizionale.

Questo concetto ha un'importanza cruciale per determinare il successo che avrà la carne coltivata a livello globale poiché il consumatore tiene conto, oltre che al prezzo, agli **attributi organolettici** del prodotto che va ad acquistare come il **sapore, l'aspetto, il colore, la consistenza e la succosità**, tutti fattori che giocano un ruolo determinante nell'accettazione e nella preferenza dei consumatori di

conseguenza la chiave di volta del successo sarà replicare nel miglior modo possibile o avvicinarsi il più possibile a soddisfare queste caratteristiche nei prodotti (Ferri, et al., - 2024).

Le caratteristiche nutrizionali della carne coltivata variano principalmente in base al **tipo di terreno di coltura** che è stato utilizzato all'interno dei bioreattori e all'**efficacia dei nutrienti** presenti in esso che portino ad avere una corretta proliferazione delle cellule.

Ad oggi, non essendo ancora presenti prototipi, in Italia, di carne coltivata risulta difficile effettuare un vero e proprio confronto tra prodotto tradizionale e cellulare, perciò, sono necessari degli approfondimenti degli studi in materia, nonostante ciò, alcune differenze si possono evidenziare già grazie a interviste rilasciate da ricercatori come il profilo amminoacidico più basso e il grado di digeribilità inferiore.

Se pensiamo al processo produttivo dei due prodotti, notiamo che nella carne coltivata, non essendoci macellazione ovviamente, mancano tutti quei **passaggi fondamentali** che avvengono **post-mortem** durante la conversione del muscolo in carne come l'**abbassamento del pH** dovuto a glicolisi, il **rigor mortis** nonché l'**attivazione delle calpaine** e il processo di maturazione della carne stessa. I processi appena elencati, come già detto, sono fondamentali per lo sviluppo del gusto, dell'appetibilità, del sapore e della qualità della carne che senno ci dovessero essere influenzano negativamente l'appetibilità della carne. Questi processi sono essenziali per lo **sviluppo della texture**, del **sapore** e della **qualità complessiva della carne**, e la loro assenza potrebbe influire negativamente sulla percezione sensoriale da parte dei consumatori.

Oltre alle fibre muscolari la carne presenta anche **tessuto epiteliale**, **tessuto circolatorio**, **tessuto adiposo** e **tessuto nervoso** che ad oggi non sono presenti nella carne coltivata difatti le aziende si stanno muovendo per provare a trovare delle soluzioni tecniche che portino alla **produzione di mioblasti con fibroblasti e condrociti** per sviluppare il tessuto connettivo, di **cellule endoteliali** per il sistema circolatorio e di adipociti per il tessuto adiposo che tutte insieme conferiscono caratteristiche importanti a livello di succosità e sapore della carne (Ferri, et al., - 2024).

Negli ultimi anni sono state proposte strategie per migliorare le qualità funzionali della carne come la **stimolazione elettrica o meccanica** che però prima deve essere discussa perché portando la produzione su scala globale questo comporterebbe un carbon footprint maggiore e un impatto a livello ambientale notevole, perciò, deve essere ancora discussa come tesi o ad

esempio l'utilizzo di ferro eme proveniente da tessuti vegetali per dare alla carne il colore rosso da cui viene riconosciuta sia per una questione di miglioramento del colore sia per un miglioramento del suo profilo nutrizionale.

Infine, sempre parlando di profilo nutrizionale, questo può essere migliorato con pratiche come **l'aggiunta di coloranti naturali**, di aromi riducendo il contenuto di acidi grassi saturi o aggiungendo **vitamine** come la **B12** e la **D** o del ferro come menzionato in precedenza, ovviamente sempre aggiungendo additivi alimentare che rispettino le normative del **Codex Alimentarius** dove sono presenti liste di additivi alimentari che è concesso utilizzare (Ferri, et al., - 2024).

## **6.2 Test di accettazione del formaggio coltivato**

Prima di avviare un business, come quello del latte coltivato, è fondamentale condurre **un'analisi approfondita degli stakeholder** al fine di valutare il potenziale profittabilità del business.

L'obiettivo dell'azienda era quello di reclutare circa 1000 partecipanti della popolazione media di 5 paesi oggetto di studio in modo da ottenere risultati plausibili, la dimensione totale dei partecipanti finali è quella di **5.054 individui**, con **1.020** partecipanti dal **Brasile**, **1.051 dalla Germania**, **825 dall'India**, **1.249 dal Regno Unito** e **1.009 dagli Stati Uniti**, tutti i partecipanti erano **maggioresni** (Bryant,2021).

Nei 3 Paesi più industrializzati si è riuscito a prendere più o meno la popolazione media presente in quello stato mentre in India e in Brasile, ovviamente per questioni economiche, hanno partecipato le persone più ricche che abitano nelle località più urbanizzate del paese che si potevano permettere una connessione internet ed erano disposte economicamente ad acquistare il prodotto.

All'inizio del questionario ciascun partecipante era sottoposto alla **lettura e allo studio di un testo** in cui veniva spiegato il prodotto e venivano spiegate le materie prime utilizzate e tutte le tecnologie innovative che permettevano la nascita del formaggio coltivato

Il prodotto presentato ai partecipanti era la **mozzarella** nel caso **degli Stati Uniti, Brasile, Germania e Regno Unito**, mentre in **India**, visto il basso consumo di mozzarella è stato mostrato il **Paneer** (Thomas, et al., - 2021).

Il **testo** utilizzato per mettere a conoscenza i partecipanti del prodotto di **Legendary Foods** è stato il seguente:

"Legendairy foods sta lanciando un nuovo prodotto di mozzarella, realizzato senza coinvolgere animali. Invece di fare affidamento sulle mucche per il latte, Legendairy utilizza un processo simile a quello della produzione di birra o salsa di soia, in cui i microrganismi producono gli ingredienti. I principali ingredienti del formaggio tradizionale sono le proteine siero di latte e caseina - queste sono ciò che il microrganismo produce. Per iniziare questo processo, la parte del DNA della mucca che produce le proteine del latte viene copiata e inserita nei geni dei microrganismi. Attraverso la fermentazione, questi microrganismi iniziano a produrre proteine, proprio come farebbe una mucca. Queste proteine vengono raccolte dai microrganismi e trasformate in prodotti come la mozzarella. Proteine reali e mozzarella reale. La produzione della mozzarella Legendairy non coinvolge animali (né gli antibiotici che vengono spesso somministrati agli animali), non contiene lattosio, ha un'impronta di carbonio molto più bassa rispetto al formaggio normale e ha lo stesso gusto e comportamento della mozzarella tradizionale" (*Thomas, et al., - 2021*).

Successivamente sono state poste ai partecipanti domande relative a:

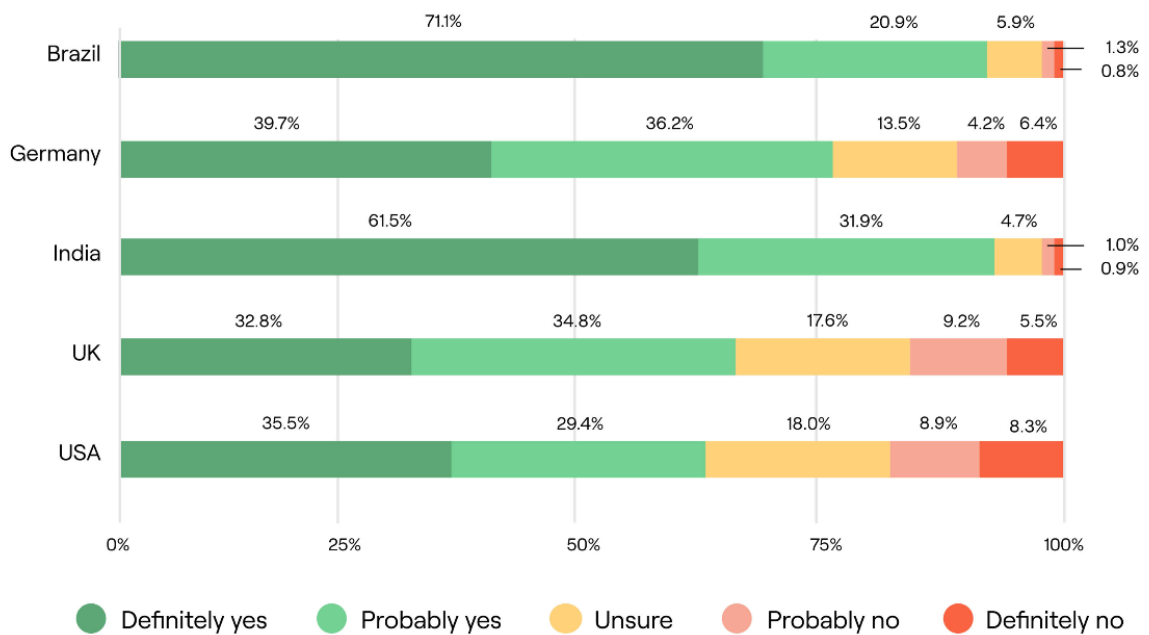
- 1- Età;
- 2- Sesso;
- 3- Sei domande sul testo a cui sono stati precedentemente sottoposti per verificare che il concetto fosse stato compreso, in caso di risposta sbagliata il concetto della domanda gli è stato rispiegato in modo da standardizzare la preparazione dei partecipanti;
- 4- Le loro abitudini alimentari e la loro dieta ordinaria
- 5- Vari prodotti caseari, valutandoli con una valutazione da 1 a 7

Dopo queste domande generali, l'attenzione è stata postata sul formaggio coltivato e i partecipanti sono stati sottoposti a tre ulteriori domande:

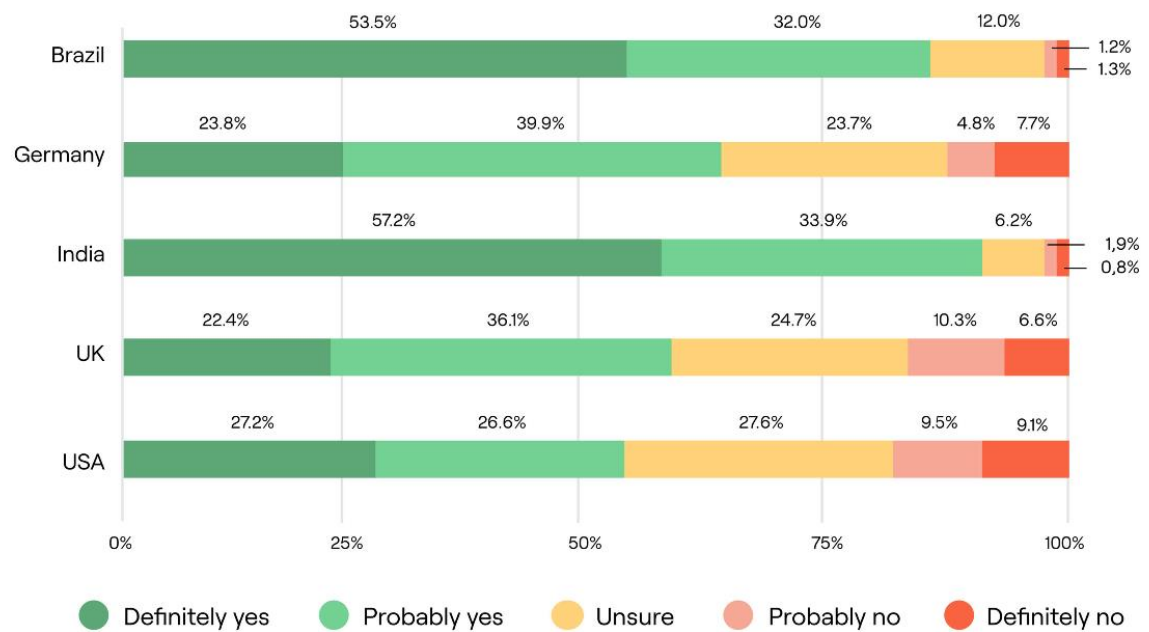
- 1- Quanto fosse probabile che provassero prodotti caseari coltivati;
- 2- Quanto fosse probabile che acquistassero prodotti caseari coltivati;
- 3- Quanto fosse probabile che acquistassero regolarmente prodotti caseari coltivati;



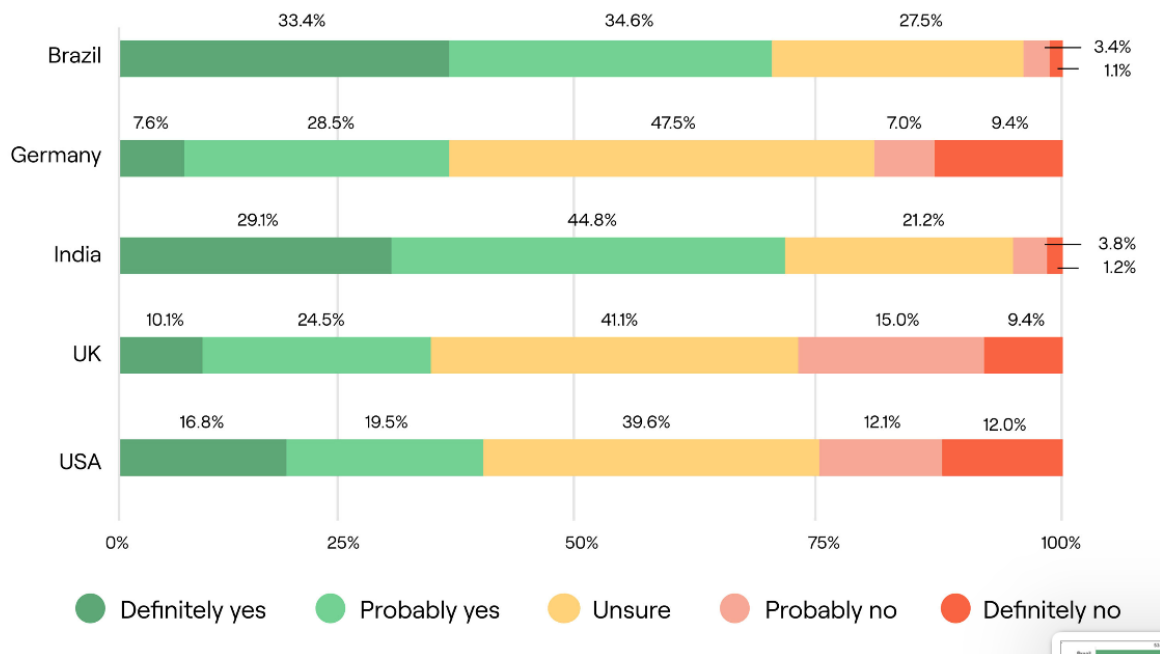
I partecipanti sono stati chiamati a rispondere alle precedenti domande con un punteggio che andava da 1 a 5 dove uno significava “Sicuramente no” e 5 significava “Sicuramente Si” e i risultati finali sono stati i seguenti (**Figure 6.1- 6.2 e 6.3**):



*Figura 6.1 Propensione a provare prodotti caseari privi di animali (Thomas et al,2021)*



*Figura 6.2 Propensione ad acquistare prodotti caseari privi di animali (Thomas et al,2021)*



*Figura 6.3 Propensione ad acquistare regolarmente prodotti caseari privi di animali (Thomas et al,2021)*

L'accettazione complessiva, come si può evincere dai grafici è stata alta, con un **70,5%** dei partecipanti che **acquisterebbe** il prodotto e un **49,8%** che lo **acquisterebbe regolarmente**.

Le percentuali sono state piuttosto alte in **Brasile** e in **India** dove, rispettivamente il **92,0%** e il **93,4%** delle persone probabilmente o sicuramente **provverebbero** il formaggio coltivato, mentre in **Germania, Regno Unito e Stati Uniti** le percentuali sono state le seguenti **75,9%, 67,6% e 64,9%**, relativamente all' **acquisto** del formaggio le percentuali più alte si sono registrate in **Brasile** e in **India** con l'**85,5%** e il **91,1%** mentre in **Germania, il 62,7%, negli Stati Uniti e nel Regno Unito, il 53,8% e il 58,5%**.

Gli ultimi dati erano invece riferiti all'acquisto regolare di prodotti caseari privi di animali e si è riscosso comunque una buona percentuale come: il **68,0%** in **Brasile**, il **36,1%** in **Germania**, il **73,9%** in **India**, il **34,6%** nel **Regno Unito** e il **36,3%** negli **Stati Uniti** (Thomas, et al., - 2021).

## 6.2 Test di accettazione delle uova alimentari

Lo stesso approccio è stato adottato da un'azienda britannica, la quale ha commissionato un sondaggio online a un'agenzia di ricerca. A tale indagine hanno partecipato individui di nazionalità **tedesca, singaporiana e statunitense**, con un'età compresa tra i **18 e i 75 anni** (Thomas, et al., - 2023).

I partecipanti sono stati interrogati riguardo **all'accettazione del consumo delle uova coltivate**. Inizialmente, è stata fornita una spiegazione dettagliata del prodotto e del processo di produzione associato. Successivamente, sono state presentate immagini di un'omelette e di uova strapazzate agli intervistati provenienti dalla Germania e dagli Stati Uniti, mentre ai partecipanti giapponesi sono state mostrate fotografie di uova strapazzate accompagnate da riso (**Figura 6.4**).

*Figura 6.4  
Immagini  
mostrate ai  
partecipanti  
durante la  
presentazione  
del prodotto  
ottenuto tramite  
fermentazione  
di precisione  
(Thomas et*



In seguito, i partecipanti sono stati invitati a esprimere il loro **grado di attrazione** nei confronti del prodotto, utilizzando una **scala da 1 a 5**. Inoltre, è stata richiesta una motivazione selezionata tra tredici opzioni, nonché informazioni riguardanti la loro **dieta attuale** e il **consumo settimanale di uova**. I risultati ottenuti da questa analisi sono illustrati nei seguenti grafici (**Figure 6.5- 6.6 e 6.7**).

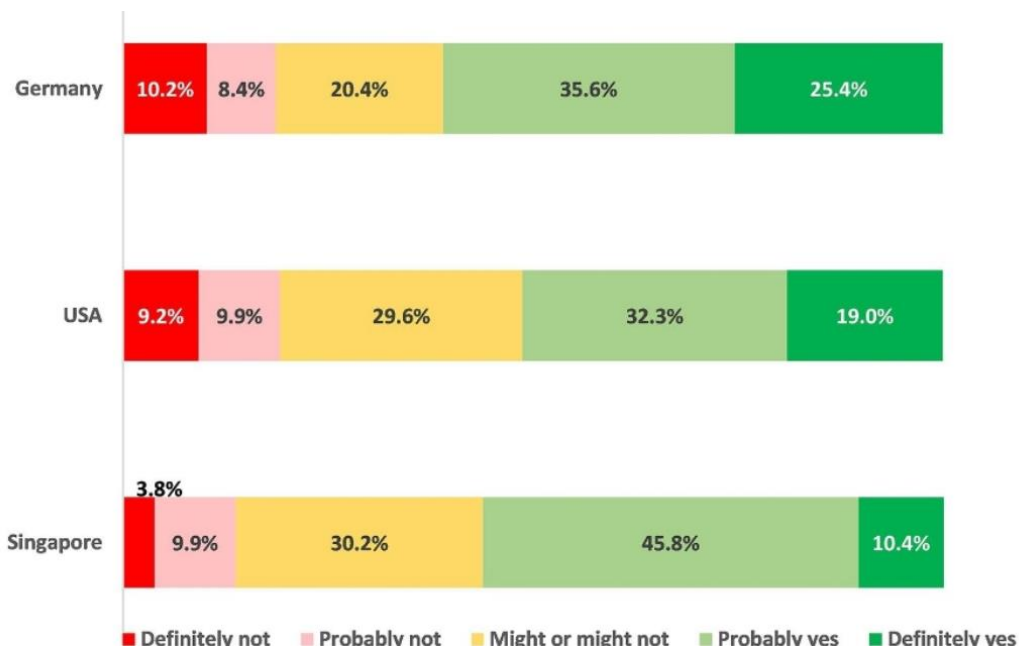
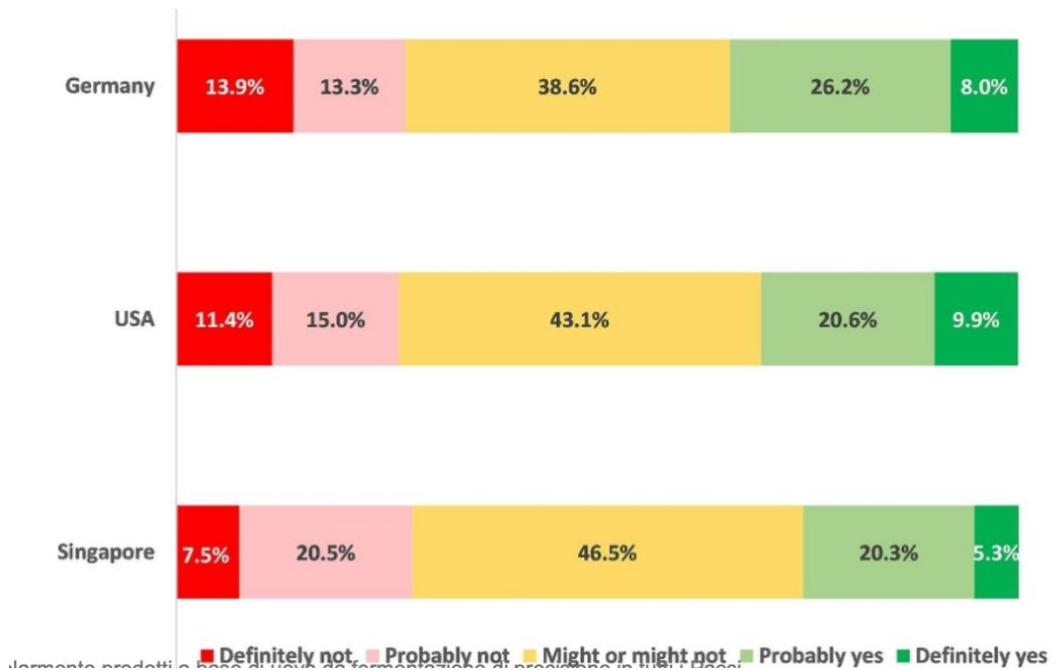


Figura 6.5: Disponibilità di provare prodotti a base di uova con fermentazione di precisione in tutti i paesi (Thomas et al,2021)



Figura 6.6: Disponibilità ad acquistare prodotti a base di uova con fermentazione di precisione in tutti i paesi (Thomas et al,2023)



*Figura 6.7: Disponibilità ad acquistare regolarmente prodotti a base di uova con fermentazione di precisione in tutti i paesi (Thomas et al,2023)*

Concludendo, come si evince dai grafici, le differenze sono significative rispetto all'accettazione dei prodotti, come possiamo notare la popolazione asiatica è più propensa a questo cambiamento e al consumo delle uova coltivate rispetto alla popolazione tedesca, l'unica cosa certa e comune a tutti e 3 i gruppi di persone è l'accettabilità a provare questo nuovo tipo di prodotto, infatti secondo una probabilità compresa tra il **51 % e il 61%** i partecipanti hanno dichiarato la propensione al **consumo del prodotto**.



## **CAPITOLO 7**

### **PROSPETTIVE FUTURE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Visti gli effetti negativi dell'agricoltura tradizionale sull'ambiente e sul clima, le scoperte relative all'agricoltura cellulare rivestono un ruolo molto importante per invertire il trend e provare a eliminare gli effetti presenti ad oggi, per effettuare ciò la produzione cellulare deve essere allargata a livello globale in modo da soddisfare il fabbisogno proteico della popolazione mondiale la quale sarà soddisfatta, secondo stime, nel **2050** attraverso e solamente se avverrà un incremento della produzione del **40%** (**Figura 7.1**) perciò occorre ricercare metodi alternativi di produzione che possano ridurre le emissioni ma soprattutto avere una resa maggiore e la produzione di carne coltivata e proteine animali offre una soluzione promettente per contrastare gli effetti indesiderati dell'agricoltura industriale, come il **riscaldamento globale e l'uso intensivo di terre agricole** (*Glaros, et al., - 2023*).

Tuttavia, bisogna considerare, inoltre, che l'agricoltura cellulare è un'attività ad alta intensità energetica e che quindi potrebbe aumentare il consumo di energia industriale, sostituendo i processi biologici con quelli chimici e meccanici perciò in questi anni diventa essenziale la produzione di energia derivante da fonti rinnovabili con a basso consumo di carbonio, evitando quella derivante da combustibili fossili, quindi diventano fondamentali le energie eoliche e idriche che entro il **2050** dovrebbero **soddisfare 2/3** del fabbisogno energetico mondiale.

Sempre entro il **2050** il fabbisogno energetico globale aumenterà dal **19% nel 2016 al 49% del 2050** e quello derivante dovrebbe passare dal **24% all'86%** quindi sarà fondamentale l'approvvigionamento delle materie prime per investire in **energia rinnovabile** (*Glaros, et al., - 2023*).

Infine, parallelamente all'agricoltura cellulare sarà fondamentale integrare politiche di gestione delle risorse non solo per **ridurre il divario tra il fabbisogno proteico derivante dall'agricoltura cellulare e quello globale** ma anche per contribuire a un **sistema alimentare** globale più **ecologico e sostenibile** (*Glaros, et al., - 2023*).

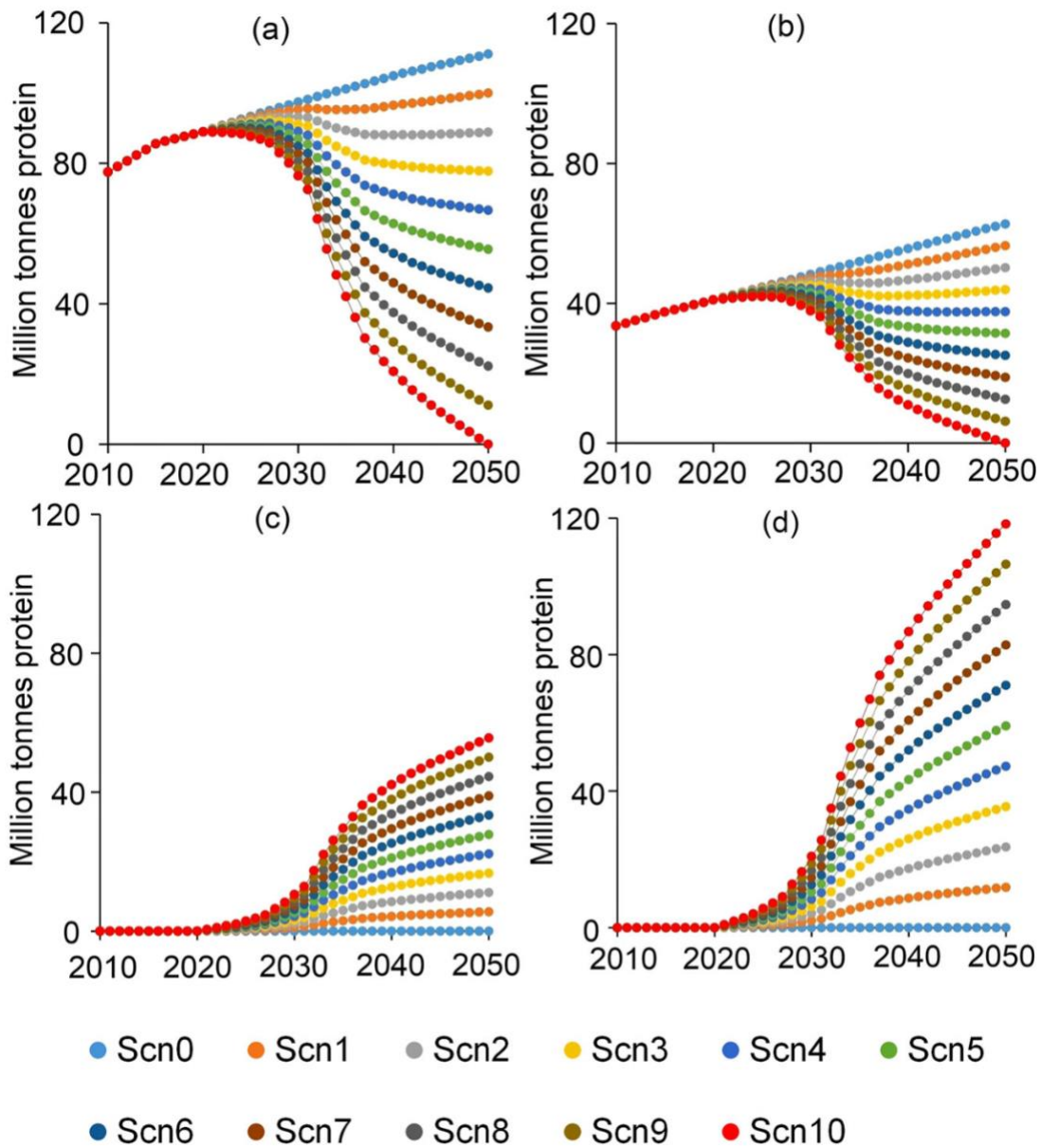


Figura 7.1 Produzione globale di carne, latte e uova sotto differenti scenari di sostituzione, dal 10% della produzione globale al 100%

a) Produzione di carne convenzionale. b) Produzione di latte e uova convenzionale. c) Produzione di carne derivante da agricoltura cellulare MP d) Produzione di uova e latte da agricoltura cellulare (Glaros et al,2023)



In conclusione, ritengo che l'agricoltura cellulare rappresenti un'evoluzione necessaria del settore agricolo, simile ai progressi già osservati in ambiti come quello scientifico e farmaceutico. È essenziale accogliere questa transizione, considerandola non solo inevitabile, ma anche fondamentale per la salvaguardia del nostro pianeta. Negli ultimi anni, abbiamo assistito a numerosi disastri ambientali, tanto accidentali quanto consequenziali al comportamento umano nei confronti della natura. Questo rende il tema trattato nella mia tesi di particolare rilevanza.

Le dovute ricerche e approfondimenti sono necessari per mitigare gli effetti negativi potenzialmente associati alla produzione di prodotti cellulari, particolarmente considerando che tale settore è ancora in una fase di sviluppo. È fondamentale affrontare e risolvere queste problematiche affinché la produzione cellulare possa integrarsi a livello globale con quella convenzionale. Prevedo che, nei prossimi anni, si possano raggiungere risultati significativi, facilitando un equilibrio tra le due forme di agricoltura.

Il presente lavoro di tesi è stato finalizzato per sensibilizzare l'opinione pubblica riguardo ai rapidi sviluppi scientifici e tecnologici che stanno investendo il settore alimentare. Infatti, è cruciale raggiungere un giusto equilibrio tra agricoltura convenzionale e cellulare, poiché nel futuro non ci sarà spazio esclusivo per una delle due, ma entrambe saranno verosimilmente protagoniste in un nuovo scenario agricolo.

## Bibliografia

Bryant, T. O. (2021). Don't have a cow, man: consumer acceptance of animal-free dairy products in five countries. *Front. Sustain. Food System.*, 5:678491.

Eibl R., Senn Y., Gubser G., Jossen V., Van Den Bos C., Eibl D. (2021). Cellular agriculture: opportunities and challenges. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12:123940.

El Wali M., Golroudbary R.S., Kraslawski A. & Tuomisto H.L. (2024). Transition to cellular agriculture reduces agriculture land use and greenhouse gas emissions but increases demand for critical materials. *communications earth & environment*, 61:01227-8.

Ferri M., Schiavo N., Cofelice M.G. & Lombardo F. (2024). La carne coltivata: stato dell'arte e criticità. *Società Italiana di Medicina Veterinaria Preventiva*, 28.

Glaros A., Newell R., Fraser E. & Newman L.L. (2023). Socio-economic futures for cellular agriculture: the development of a novel framework. *Front. Sustain. Food System*, 7:970369.

Kwon C. H., Jung S.H., Kothuri V. & Han G.S. (2024). Current status and challenges for cell-cultured milk technology: a systematic review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 81:01039.

Mendly-Zambo Z., Powell J.L. & Newman L.L. (2021). Dairy 3.0: cellular agriculture and the future of milk. *Food, Culture & Society*, 24:675-69

Nielsen B.M., Meyer S.A., Arnau J. (2023). The next food revolution is here: recombinant microbial production of milk and egg proteins by precision fermentation. *Annual Review of Food Science and Technology*, 15:034256.

Stephens N., Di Silvio L., Dunsford I., Ellis M., Glencross A. & Sexton A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends Food Sci. Technol.*, 78:155-166

Stephens N. & Ellis M. (2020). Cellular agriculture in the UK: a review. *Wellcome Open Research*, 5:12688.

Thomas O.Z., Chong M., Leung A., Fernandez T.M. & Ng S.T. (2023). Not getting laid: consumer acceptance of precision fermentation made egg. *Front.Sustain.Food System*, 7:1209533.

Wood P., Thorrez L., Hocquette J., Troy D. & Gagaoua M. (2023). "Cellular agriculture": current gaps between facts and claims regarding "cell-based meat". *Animal Frontiers*, 13, 68-74