

AGGIORNAMENTO DELL'ACCADEMIA DEI GEORGOFILI SU "CARNE COLTIVATA"

(A CURA DELL'ACCADEMICO EMERITO PAOLO FANTOZZI)

Premessa

Come Membro del Comitato consultivo multidisciplinare dell'Accademia dei Georgofili, il 17 di Ottobre 2025 ho ricevuto dal presidente Vincenzini la richiesta di aggiornare la tematica sulle Proteine Coltivate (e.g. Carne Coltivata), richiesta che ho accettato con piacere data la rilevanza e l'attualità della tematica.

Tenuto anche conto di quanto era stato recentemente pubblicato dall'EU e dall'EASAC (unione europea delle accademie di scienze) sulle "Carni alternative": ([doi: https://doi.org/10.1553/EASAC_Report_Meat-Alternatives_2025](https://doi.org/10.1553/EASAC_Report_Meat-Alternatives_2025))

(<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130437>)

(<https://innovation-radar.ec.europa.eu/innovation/54293>)

ho preventivamente contattato rapidamente quanti professionisti consideravo potessero a mio avviso essere coinvolti come esperti aggiornati sull'argomento.

Avendo ricevuto la gradita disponibilità dei seguenti professori, ricercatori e i colleghi:

- **Prof. Ferdinando Albisinni**, già professore di Diritto agrario nell'Università della Tuscia (albisinni@unitus.it)
- **Prof. Alessandro Bertero**, professore associato di Biologia applicata nell'Università di Torino, (alessandro.bertero@unito.it)
- **Prof. Giuseppe Bertoni**, già professore di Fisiologia Animale nell'università del Sacro Cuore di Piacenza, (giuseppe.bertoni@unicatt.it)
- **Prof.ssa Federica Cheli**, professoressa di Nutrizione e alimentazione animale nell'Università di Milano (federica.cheli@unimi.it)
- **Prof. Cesare Gargioli**, professore di Biologia Applicata nell'Università di Roma Tor Vergata2 (cesare.gargioli@uniroma2.it)
- **Prof.ssa Carlotta Giromini**, professoressa di Nutrizione e alimentazione animale nell'Università di Milano (carlotta.giromini@unimi.it)
- **Dr. Stefano Lattanzi**, Amministratore delegato BRUNO CELL srl, Trento (ceo@brunocell.com)
- **Prof.ssa Anna Nudda**, professoressa di Qualità dei prodotti di origine animale nell'Università di Sassari (nudda@uniss.it)
- **Prof. Giuseppe Pulina**, professore di Etica e Sostenibilità degli Allevamenti nell'Università di Sassari (gpulina@uniss.it)
- **Prof.ssa Giada Ragone**, professoressa di Diritto costituzionale e pubblico nell'Università di Milano (giada.ragone@unimi.it),

ho inviato loro nello stesso mese una ipotesi di studio da svolgere insieme, suggerendo inizialmente alcuni argomenti che ho ritenuto utili e necessari affrontare per addivenire a conclusioni ragionate sulla base delle loro singole esperienze.

Allego, per memoria, qui di seguito l'elenco degli argomenti sottoposti allora alla attenzione dei colleghi contattati:

1. Letteratura aggiornata
2. Legislazione vigente negli Stati UE
3. Legislazione vigente extra-UE
4. Stato dell'arte della ricerca (UE ed Extra UE)
5. Stato dell'arte della produzione pilota (UE ed Extra UE)
6. Stato dell'arte della produzione industriale (UE ed Extra UE).

Nel corso di novembre e dicembre 2025 ho ricevuto, in tempi diversi, una elevata mole di materiale bibliografico (reperibile all'interno dell'allegato posto a pag. 26 del presente Focus) da tutti i colleghi coinvolti, unitamente, da parte di molti di loro, anche di una completa e dettagliata risposta ed ampliamento nei quesiti proposti.

Nei mesi di Gennaio e Febbraio 2026 ho provveduto ad integrare il materiale ricevuto che, previa loro approvazione, fa adesso parte di questa relazione conclusiva.

Sapevo in partenza che su alcuni aspetti della problematica avrei potuto aspettarmi e ricevere opinioni diverse e non sempre concordanti, ma questo era sicuramente e assolutamente necessario per addivenire ad una completa conoscenza della problematica.

Spero che quanto qui relazionato possa essere di utilità alla Accademia ed ai suoi lettori per formare ad una ragionata opinione su questo argomento, tuttora largamente dibattuto in ambito nazionale ed internazionale.

Prof. Paolo Fantozzi
Perugia, 9 marzo 2026

Osservazioni generali introduttive

Come verrà in seguito dettagliatamente commentato dai vari esperti, la produzione globale di carne dovrebbe crescere entro il 2030 di 44 milioni di tonnellate, raggiungendo le 373 milioni di tonnellate, grazie alla ripresa della produzione e dei prezzi della carne dopo il COVID-19.

E' noto che il consumo di carne è influenzato da diversi fattori, tra cui prezzi, tradizione, preoccupazioni ambientali, benessere animale e salute. La crescita della popolazione ed i cambiamenti strutturali che ne derivano sono il principale motore dell'aumento dei consumi. È stato rilevato che questo aumento della domanda è problematico, poiché gli attuali sistemi di allevamento intensivo sono associati a rischi per la salute pubblica, degrado ambientale e problematiche legate al benessere animale.

Per quanto sia indiscutibile il problema delle zoonosi, è bene precisare che l'accresciuto problema trae origine "dall'aumento della popolazione" cui fanno seguito: "all'allevamento, alla perdita degli habitat naturali". Pertanto, logica vorrebbe che – non potendo eliminare il problema aumento della popolazione – si proceda alla mitigazione delle conseguenze; in particolare:

- i rischi da virus "mantenuti in vita" da animali selvatici sono reali, ma hanno ben poco in comune con la deforestazione, semmai col fatto che sempre più vengono facilitati gli scambi con i "mercati umidi" (non solo in Cina e, guarda caso, da lì è venuto il SARS-CoV-2, non dal Brasile deforestato) e con i fenomeni turistici più o meno estremi nelle aree naturali (**Predicting wildlife reservoirs and global vulnerability to zoonotic Flaviviruses, P. Pandit et al. (2018) su *Nature Communications***)
- pur senza negare un ruolo agli squilibri ambientali, ci si deve render conto che le pandemie non si evitano "bloccando nelle foreste i virus"...Piuttosto vi è la necessità di controlli sanitari per l'identificazione precoce di nuovi patogeni potenzialmente zoonosici nelle popolazioni di animali selvatici, al fine di prevedere interventi tempestivi (**Jones et al, 2008, Global trends in emerging infectious diseases, *Nature***) e (UNEP Frontiers 2016 Report Emerging Issues of Environmental Concern)

Circa la comparsa di fenomeni infettivi – con rischi o meno per l'uomo – negli allevamenti intensivi, la logica e la prassi raccontano che il loro controllo è relativamente più facile rispetto ai piccoli allevamenti tradizionali. Ne sono riprova i recenti casi di influenza aviaria H5N1 nei bovini da latte negli Usa (portata dagli uccelli selvatici, quindi più difficile entri negli allevamenti intensivi "protetti") e la Peste Suina Africana in Italia (portata dai cinghiali). In entrambi i casi, gli allevamenti intensivi razionali sono risultati meno raggiungibili e comunque meglio controllabili, se coinvolti. (**Bertoni, comunicazione personale**).

La FAO, nel 2023 (<https://doi.org/10.4060/cc9029en>) ha riportato relativamente al bestiame al riguardo dati più prudenti (**12%**). Inoltre, sembrerebbe corretto tenere conto del fatto che, poiché i dati vengono riferiti genericamente al "bestiame", per un calcolo più esatto, realistico e conservativo, potrebbe (o dovrebbe) essere anche opportuno prendere in considerazione altri fattori ulteriormente correttivi.

Quanto possono incidere, ad esempio, la produzione di latte, uova, letame etc?

Infatti, almeno 3-5 punti di quei 12 sono imputabili a MANURE (che serve a migliorare il suolo), a LUC (Land Use Change) (che esiste solo dove non c'è agricoltura intensiva) e ad animali allevati con altre finalità (lana, pellami, lavoro ecc.) oppure a selvatici ben noti e talora in espansione. Ne consegue che l'incidenza degli animali allevati per la carne è di molto inferiore al 12% (inoltre, essi occupano spesso aree altrimenti inutilizzabili).

Se si facesse riferimento alla sola "carne" il citato valore di **12%** potrebbe probabilmente scendere, avvicinandosi all'**8%**).

In risposta alle crescenti preoccupazioni sulla sostenibilità dell'agricoltura intensiva, che peraltro, ad oggi, non presenta ancora vere alternative quantitativamente valide, stanno comunque emergendo nuove tecnologie per una produzione proteica più efficiente, ma qualitativamente tuttora ininfluente o marginale.

Una di queste è la carne coltivata (CM, *cultivated meat*); nota anche come carne cellulare o carne coltivata in vitro), che consiste nella produzione di carne tramite coltivazione in vitro di cellule staminali animali, replicando il naturale processo di crescita e divisione cellulare e ottenendo un prodotto simile alla carne tradizionale per gusto e valore nutritivo. L'obiettivo è affrontare i problemi ambientali e di benessere animale, rispondendo al contempo ai bisogni di una popolazione mondiale in crescita. **(Gargioli, Comunicazione. personale).**

Le cellule staminali ottenute da una biopsia di un animale vivente possono essere coltivate in vitro per ottenere grandi masse cellulari. Queste cellule staminali versatili hanno la capacità di differenziarsi in cellule muscolari o adipose, a seconda della tipologia **(Post, 2014).**

Le cellule primarie utilizzate per la produzione di carne coltivata (CM) devono essere in grado di auto-rinnovarsi adeguatamente e di differenziare nei tipi cellulari maturi che caratterizzano la carne. Le cellule staminali rappresentano l'opzione migliore come fonte cellulare iniziale per soddisfare queste necessità. Le cellule staminali adulte e le cellule staminali pluripotenti (PSC) sono le due categorie cellulari con la capacità proliferativa e il potenziale di differenziamento necessari per produrre CM. Tradizionalmente, le cellule staminali tessuto-specifiche sono state la fonte cellulare preferita per la produzione di carne coltivata. Esse sono progenitori indifferenziati presenti negli organi e nei tessuti animali. Sono multipotenti, cioè in grado di differenziarsi in diversi tipi cellulari, per lo più rilevanti per il tessuto in cui risiedono. Nel microambiente del tessuto muscolare, i tre tipi principali di cellule progenitrici/staminali sono: cellule satelliti muscolari, cellule staminali/mesenchimali stromali (MSC) e progenitori fibro/adipogenici (FAP). **(Gargioli, Comunicazione. personale).**

L'uso di PSC per la produzione di carne coltivata non ha ancora raggiunto il mercato per via delle maggiori complessità tecniche, bensì tale tipologia cellulare ha il vantaggio di essere naturalmente immortale oltre a poter differenziare in tutti i tessuti che compongono la carne **(Bertero, Comunicazione personale).**

Passiamo adesso ad esaminare quanto pervenuto e avviare un suo esame analitico ed un confronto ragionato.

1 Letteratura aggiornata

Hanno contribuito a questo capitolo Albisinni, Bertero, Bertoni, Cheli et al., Pulina. Il materiale bibliografico aiuterà i lettori ad ampliare le proprie conoscenze attingendo alle referenze inserite in questo documento o nell'allegato.

2 Legislazione vigente negli Stati UE

Hanno contribuito a questo capitolo Bertero, Pulina, Cheli et al., Gargioli.

Nel mondo accademico la ricerca rimane fortemente pre-competitiva. Le linee di indagine si concentrano su sostituzione del siero fetale bovino con mezzi di crescita sintetici o vegetali,

riduzione dei costi dei bioreattori e aumento della stabilità delle linee cellulari e ottimizzazione energetica dei processi di purificazione.

In Europa, le principali iniziative di ricerca sono concentrate nei Paesi Bassi, in Germania e in Spagna, finanziate in parte da programmi Horizon Europe dedicati all'innovazione agroalimentare.

Negli Stati Uniti, Israele e Singapore si sono attivati anche impianti pilota ma nessuno ha raggiunto una scala industriale. Le stime più accreditate (**Good Food Institute, 2025**) collocano la produzione globale sotto le 100 tonnellate annue complessive, equivalenti a una singola giornata di produzione di un grande impianto zootecnico convenzionale.

La legislazione attualmente in vigore nell'UE fa riferimento al Regolamento (UE) 2015/2283 sui Novel Food. La carne coltivata, non essendo ancora stata valutata da EFSA, non può essere oggetto di un divieto preventivo; al massimo possono essere adottate restrizioni temporanee su uno specifico prodotto in caso di rischio comprovato dopo l'autorizzazione (**vedi: Bertero, Pulina, Cheli et al**)

Nel 2024 è stata presentata la prima domanda europea per un prodotto di carne coltivata (Gourmey, foie gras). La valutazione è in corso. Come precedente, nel 2023 è stata autorizzata la biomassa di cellule di mela, che dimostra la compatibilità del percorso Novel Food con prodotti derivati da coltura cellulare. (**vedi: Bertero**)

Alcuni Stati membri, in particolare l'Italia con la legge 172/2023, hanno introdotto divieti preventivi di produzione e commercializzazione di carne coltivata. Provvedimenti simili sono stati discussi in Francia, Romania e Polonia. L'Ungheria ha recentemente approvato un bando preventivo simile a quello italiano (**vedi: Bertero, Pulina, Cheli et al.**).

Pulina sottolinea altresì che il confronto tra carne artificiale e carne naturale non può limitarsi alla "sicurezza" intesa come assenza di contaminanti: va considerato anche il profilo nutrizionale complessivo. Una parte dei micronutrienti tipici della carne (es. vitamina B12, ferro in forme e disponibilità biologica comparabili, zinco e altri) e di componenti nutrizionali associati alla matrice animale può richiedere fortificazione/additivazione e/o scelte di formulazione che rendono il prodotto ancora più distante dall'alimento "naturale". Questo punto è rilevante sia per la comunicazione al consumatore sia per la valutazione complessiva di sostenibilità "people-planet-prosperity", perché l'adeguatezza nutrizionale è parte della sostenibilità.

Accanto ai profili regolatori, è anche opportuno segnalare in modo sobrio, ma chiaro che, trattandosi di novel food, esistono rischi "di frontiera" ancora poco caratterizzati e tra questi, reazioni allergiche o di sensibilizzazione potenzialmente legate a componenti del mezzo di coltura, residui di fattori di crescita, o materiali di scaffold. In assenza di popolazioni esposte su larga scala e a lungo termine, questi aspetti rientrano tra le ragioni che giustificano un approccio prudente e basato su evidenze incrementalmente disponibili.

NB. Si rimanda poi ad una lettura dettagliata dei successivi **singoli** interventi degli esperti su alcune osservazioni specifiche, soprattutto quando esse non rivestono aspetti di base ma sono aperte alla discussione.

3 Legislazione vigente extra-UE

Hanno contribuito a questo capitolo Bertero, Pulina, Cheli et al, Gargioli.

Tutti concordano che fuori dall'Unione Europea, la regolazione della carne coltivata segue modelli nazionali con differenti gradi di maturità:

- **Singapore** è stato il primo Paese al mondo ad approvare la carne coltivata nel 2020,
- **Israele**: grazie a una strategia governativa di innovazione agroalimentare, è diventato nel 2024 il primo Paese ad approvare la vendita di carne bovina coltivata a uso umano
- **Hong Kong e SAR** ha avviato un percorso di valutazione di sicurezza tramite il Centre for Food Safety (CFS), che richiede la sottomissione di dati di safety assessment prima dell'importazione o della vendita. Nel 2024 sono stati riportati i primi servizi commerciali in ristorazione di prodotti a base di quaglia coltivata (Vow/Forged), che rappresentano un caso di “market test” in un contesto regolatorio ancora in consolidamento.
- **Stati Uniti**: Nel 2023-2024, la FDA ha completato il processo di “no questions” per due prodotti di pollo coltivato (Upside Foods e GOOD Meat), seguiti da ispezione USDA e concessione dell'autorizzazione alla vendita
- Nel **Regno Unito**, nel 2024 è stata concessa un'autorizzazione per l'uso di carne coltivata nel pet food (pollo coltivato), mentre per l'alimentazione umana il percorso resta in fase di valutazione da parte delle autorità competenti.
- In **Australia e Nuova Zelanda**, nel 2025 il Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) ha autorizzato l'uso alimentare di quaglia “cell-cultured” come novel food, segnando un ulteriore ampliamento delle giurisdizioni con prodotti autorizzati.
- **Corea del Sud, Giappone, India, Cina, Malesia e Thailandia**: Le domande pervenute son attualmente in corso di valutazione

4 Stato dell'arte della ricerca (UE ed Extra UE)

NB. Ho creduto opportuno aggiungere 3 nuovi sottocapitoli in tabella a seguito della recente ricezione, da parte del Prof. Gargioli, di una importante ed interessante documentazione suppletiva, utile per una maggiore conoscenza delle problematiche relative legate alla produzione di fonti proteiche coltivate.

Hanno contribuito a questo capitolo Bertero, Cheli et al., Gargioli e Pulina.

A. Bertero

La ricerca sulla carne coltivata ha conosciuto negli ultimi anni un'accelerazione significativa, sostenuta da progressi nella biologia cellulare, nell'ingegneria dei bioprocessi e nella scienza dei materiali, ma anche da nuove riflessioni etiche, economiche e sociali. Il focus si è spostato dal solo proof-of-concept verso temi abilitanti per lo scale-up: standardizzazione delle linee cellulari (stabilità, tracciabilità, banking), media completamente serum-free e compatibili con supply chain “food-grade”, bioreattori e strategie di coltura ad alta densità (batch/perfusione), scaffold e strutture 3D per prodotti “structured”, e metodi di downstream e formulazione che preservino qualità sensoriale e sicurezza.

Ricerca nell'Unione Europea

Alcuni centri accademici nei Paesi Bassi, in Germania, Spagna, Francia e Italia conducono ricerche su:

- Derivazione e caratterizzazione di linee cellulari animali pluripotenti o progenitrici Idonee per uso alimentare.
- Progettazione di mezzi di coltura “food-grade”, privi di siero fetale e formulati con componenti derivati da fonti vegetali o microbiche.
- Studio dei processi di differenziazione cellulare per ottenere fibre muscolari e tessuti adiposi con caratteristiche sensoriali ottimali.
- Sviluppo di scaffold commestibili e bioreattori modulari per la crescita tridimensionale dei tessuti.

Ricerca extra-UE.

Fuori dall’Europa, la ricerca si concentra su tre macro-aree: (1) ingegneria cellulare e genetica (stabilità, resa, proprietà nutrizionali), (2) ottimizzazione dei bioprocessi (densità cellulare, trasferimento di ossigeno, riduzione dei consumi di mezzo e utilities), (3) studi su sostenibilità e accettabilità e governance, inclusi aspetti di regolazione e comunicazione del rischio.

Negli Stati Uniti, centri di eccellenza come UC Davis, Harvard, Tufts e North Carolina State University collaborano con start-up (Upside Foods, Wildtype, Believer Meats) per sviluppare linee cellulari ad alta stabilità genetica e media di coltura a basso costo.

Sostenibilità e valutazione ambientale. Le analisi LCA (Life Cycle Assessment) rappresentano oggi un campo di ricerca in espansione e di notevole impatto politico. La letteratura più recente evidenzia che i risultati sono altamente sensibili alle assunzioni su: (i) composizione e origine del mezzo di coltura (farmaceutico vs “food-grade”), (ii) mix energetico ed efficienza dell’impianto, (iii) gestione del mezzo esausto e recupero/riciclo di nutrienti. In scenari con media serum-free “food-grade”, processi efficienti e quota elevata di energia rinnovabile, le stime indicano un potenziale di riduzione di diversi indicatori ambientali rispetto alla carne bovina; tuttavia, rimangono ampie incertezze finché non saranno disponibili dati operativi su scala industriale e benchmark indipendenti.

B. Cheli et al.

Gli autori, in linea con i due precedenti esperti, presentano la seguente interessante evoluzione storica:

1998 – Jon F. Vein ottiene un brevetto per la produzione di carne “tissue-engineered” per il consumo umano, in cui muscolo e tessuto adiposo vengono coltivati per formare prodotti alimentari.

1997–1999 – Willem van Eelen deposita e vede pubblicato il brevetto internazionale “Industrial scale production of meat from in vitro cell cultures” (WO1999031222), spesso indicato come primo brevetto specifico sulla produzione industriale di carne coltivata.

2013. Presentazione del primo hamburger cellulare da parte del Prof Mark Post

2016. Nasce the Good Food Institute

2020. Singapore Food Agency autorizza la vendita di carne coltivata Good Meat (eat just)

2023. Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) autorizza la vendita di prodotti a base di pollo coltivato (Good Meat e Upside Foods)

2023. Approvazione alla commercializzazione di carne coltivata nel settore del pet food (Repubblica ceca)- oggi invia campioni per assaggio- European Feed Materials Register.

2023. Governo italiano vieta la produzione di carne coltivata (Legge n. 172/2023)

2024. Approvazione al commercio di carne coltivata da cellule bovine in Israele (Aleph farms)

2024 La start-up parigina Gourmey ha presentato la prima richiesta di approvazione alla commercializzazione di foie gras coltivato (Europa, Svizzera, Singapore, USA e UK)

2024 Il Regno unito autorizza la vendita di carne coltivata per il pet food, approvando un prodotto della startup londinese Meatly

2025 Mosa Meat ha presentato la richiesta di approvazione alla commercializzazione di grasso bovino coltivato (Europa, UK)

2025 USDA autorizza la vendita di prodotti a base di grasso suino coltivato e salmone

C. Gargioli

Introduzione

La produzione globale di carne dovrebbe aumentare di quasi 44 milioni di tonnellate entro il 2030, raggiungendo le 373 milioni di tonnellate, grazie alla ripresa della produzione e dei prezzi della carne dopo il COVID-19, secondo la pubblicazione “*OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*” (OECD/FAO, 2021).

Il consumo di carne è influenzato da diversi fattori, tra cui prezzi, tradizione, preoccupazioni ambientali, benessere animale e salute. La crescita della popolazione è il principale motore dell'aumento dei consumi: si prevede infatti un incremento del 14% del consumo globale di carne, associato a un aumento dell'11% della popolazione mondiale entro il 2030. In particolare, questo aumento sarà del 12% in America Latina, 18% nell'Asia-Pacifico, 30% in Africa, 0,4% in Europa e 9% in Nord America.

La crescita economica e i cambiamenti strutturali che ne derivano incoraggiano un maggior consumo di carne. Secondo studi empirici sul comportamento dei consumatori, un reddito più elevato favorisce un maggior consumo di alimenti di alto valore, come le proteine animali, e un minore consumo di alimenti di basso valore, come i carboidrati. Tutti questi fattori hanno contribuito, nell'ultimo decennio, a un aumento significativo della produzione zootecnica, con una crescente domanda di alimenti di origine animale da parte di una quota importante della popolazione mondiale, rappresentata dai Paesi in via di sviluppo (Delgado et al., 1999).

Questo aumento della domanda è problematico, poiché gli attuali sistemi di allevamento intensivo (che generano oltre il 50% dell'offerta mondiale di carne) sono associati a rischi per la salute pubblica, degrado ambientale e problematiche legate al benessere animale (Rao et al.,

2005). Ad esempio, il 75% delle nuove malattie infettive umane è causato da fonti animali (zoonosi), principalmente come conseguenza dell'aumento delle interazioni uomo-animale dovute all'allevamento, alla perdita degli habitat naturali e alla crescita della popolazione mondiale (Jones et al., 2013; Wolk, 2017).

Gli allevamenti contribuiscono inoltre alla resistenza antibiotica: negli Stati Uniti rappresentano l'80% degli antibiotici utilizzati e il 73% di quelli venduti a livello globale, aumentando i rischi per la salute umana. Secondo il rapporto UNEP 2020 sulla prevenzione delle future pandemie, l'incremento della domanda mondiale di prodotti proteici animali e l'intensificazione insostenibile dell'agricoltura — compresa l'espansione dell'allevamento intensivo — rappresentano due dei sette fattori antropici più significativi alla base dell'emergere di malattie zoonotiche.

Oltre ai rischi per la salute umana, il bestiame è responsabile del 14,5% di tutte le emissioni antropiche di gas serra espresse in CO₂ equivalenti. Inoltre, la produzione di mangimi animali ha un forte impatto ambientale in termini di uso del suolo e risorse idriche (Godfray et al., 2018).

In risposta alle crescenti preoccupazioni sulla sostenibilità dell'agricoltura intensiva, stanno emergendo nuove tecnologie per una produzione proteica più efficiente. Una di queste è la carne coltivata (CM, *cultivated meat*; nota anche come carne cellulare o carne coltivata in vitro), che consiste nella produzione di carne tramite coltivazione in vitro di cellule staminali animali, replicando il naturale processo di crescita e divisione cellulare e ottenendo un prodotto simile alla carne tradizionale per gusto e valore nutritivo. L'obiettivo è affrontare i problemi ambientali e di benessere animale, rispondendo al contempo ai bisogni di una popolazione mondiale in crescita.

Il primo assaggio ufficiale di carne coltivata avvenne nel 2013, quando il team del Dr. Mark Post creò un hamburger da cellule muscolari bovine, ottenendo grande risonanza mediatica. Attualmente, un numero crescente di aziende sta commercializzando e scalando la carne coltivata (almeno 70 nel 2021) (Post, 2012).

Per questi motivi, nel novembre 2022 la Food and Drug Administration (FDA) ha valutato la sicurezza del “materiale cellulare di *Gallus gallus* coltivato” fornito da UPSIDE Foods, giudicandolo sicuro e senza evidenze di rischi legati al processo produttivo (US FDA, 2022). Allo stesso modo, nel marzo 2023 la FDA ha valutato il materiale cellulare di *Gallus gallus* coltivato prodotto da GOOD Meat, azienda che commercializza già carne coltivata a Singapore. Singapore è stato il primo Paese ad approvarne la produzione nel dicembre 2020, autorizzando i bocconcini di pollo coltivato prodotti dalla start-up statunitense Eat Just, composti al 70% da cellule coltivate e al 30% da componenti vegetali (US FDA, 2023; Singapore Food Agency, 2021; Failla et al., 2023).

Le normative sulla sicurezza alimentare variano tra Paesi e regioni. Negli Stati Uniti, la FDA supervisiona la sicurezza alimentare, eccetto per carne e pollame, che rientrano nelle competenze dell'USDA-FSIS (Food Safety and Inspection Service) ai sensi del *Federal Meat Inspection Act* (FMIA) (Post et al., 2020).

Per quanto riguarda le normative sulla carne coltivata destinata al consumo umano, nel 2018 USDA e FDA hanno rilasciato una dichiarazione congiunta (Grossman, 2019). In base a tale accordo, la FDA supervisiona le fasi iniziali dello sviluppo, inclusi prelievo delle cellule, sviluppo, differenziazione e proliferazione (US FDA, 2024). Questa supervisione vale per prodotti derivati da linee cellulari di specie animali regolamentate dall'USDA e richiede il

marchio di ispezione USDA (Broucke et al., 2023). Una volta che le cellule o i tessuti sono pronti per la raccolta, la supervisione passa all'USDA-FSIS, che garantisce sicurezza, etichettatura e qualità dei prodotti finali. Entrambe le agenzie ispezionano gli impianti di produzione, con USDA-FSIS che si concentra sulle fasi finali (US FDA, 2024).

A differenza degli Stati Uniti, in Europa la carne coltivata ricade nel Regolamento UE sui Novel Foods, che riguarda alimenti non consumati in modo significativo prima del 15 maggio 1997 (Broucke et al., 2023; UE 2015/2283), oppure nella normativa sugli OGM (Direttiva 2001 e Regolamento 2013), qualora vengano utilizzate cellule staminali pluripotenti indotte (iPSC) (Stephens et al., 2018; US FDA, 2024).

Gli Stati membri conducono consultazioni per stabilire quale normativa applicare a un determinato prodotto, mentre le valutazioni di sicurezza sono effettuate dall'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA).

Fonti cellulari

La carne è composta prevalentemente da fibre muscolari, insieme a una quota minore di tessuto adiposo e connettivo, formata da diversi tipi cellulari. Per la produzione di carne coltivata (CM) è necessario disporre di cellule capaci di proliferare e differenziarsi nei principali componenti della carne. Le cellule staminali rappresentano la fonte cellulare più idonea a questo scopo. Le cellule staminali adulte, in particolare quelle tessuto-specifiche del muscolo scheletrico, sono state tradizionalmente le più utilizzate. Tra queste rientrano le cellule satelliti muscolari, le cellule staminali/stromali mesenchimali (MSC) e i progenitori fibro-adipogenici (FAP). Queste popolazioni possono generare miociti, adipociti e fibroblasti, contribuendo alla struttura e alle proprietà della carne. Tuttavia, la loro capacità proliferativa in vitro è limitata. Le cellule staminali pluripotenti (PSC), come ESC e iPSC, offrono un'elevata capacità di espansione e un ampio potenziale differenziativo. Le iPSC possono essere indirizzate verso destino miogenico mediante specifici protocolli. Nonostante il loro potenziale, l'uso delle iPSC richiede attente valutazioni di sicurezza e regolatorie.

Differenziamento cellulare

Le colture cellulari primarie, pur essendo rapidamente utilizzabili, presentano una limitata capacità proliferativa e vanno incontro a senescenza, rendendo complessa la produzione di carne coltivata su larga scala. Inoltre, il loro impiego richiede biopsie ripetute e controlli regolatori stringenti. Le linee cellulari immortalizzate, al contrario, possono proliferare indefinitamente e rappresentano una risorsa chiave per la produzione industriale. Tuttavia, esistono ancora poche linee cellulari idonee, in grado di garantire sicurezza alimentare e qualità sensoriale e nutrizionale della carne. Recenti iniziative stanno avviando la creazione di banche di linee cellulari, ma la disponibilità rimane limitata.

Il differenziamento delle cellule muscolari in vivo avviene quando le cellule satelliti passano dalla quiescenza alla proliferazione, generando mioblasti. In vitro, proliferazione e differenziamento sono fasi distinte e sequenziali. Il differenziamento viene indotto riducendo i fattori di crescita o rimuovendo il siero dal mezzo di coltura, e può essere ulteriormente potenziato da stimolazioni meccaniche ed elettriche. Gli scaffold mimano l'ambiente extracellulare e favoriscono la maturazione cellulare tramite segnali mecano-mediati. La stimolazione elettrica contribuisce a regolare proliferazione e differenziamento miogenico.

Nella carne coltivata, si privilegiano approcci semplici ed efficienti per ottenere texture e valore nutrizionale adeguati. Il tessuto adiposo è essenziale per il metabolismo energetico e per le proprietà sensoriali della carne. Un'efficace adipogenesi richiede l'accumulo lipidico negli adipociti. Il differenziamento adipocitario può essere indotto da siero, insulina e fattori chimici specifici. Sono tuttavia necessari protocolli scalabili e food-grade per la produzione di tessuto adiposo commestibile.

Terreni di cultura

La produzione di carne coltivata richiede la coltura simultanea di diversi tipi cellulari, tra cui cellule progenitrici muscolari, mioblasti, miociti, cellule adipose e fibroblasti, rappresentando una sfida tecnica rilevante. La proliferazione e il mantenimento cellulare dipendono da ormoni e fattori di crescita che regolano divisione e differenziamento. I terreni di coltura forniscono nutrienti essenziali, molecole segnale e supportano adesione e crescita cellulare. I terreni basali contengono glucosio, amminoacidi, vitamine e sali, ma spesso necessitano di integrazioni. Tradizionalmente, tali terreni sono supplementati con siero di origine animale, ricco di fattori di crescita. Tuttavia, l'uso del siero è incompatibile con la produzione di carne coltivata. È quindi necessario sviluppare terreni food-grade, privi di componenti animali, economicamente sostenibili e scalabili. Recenti formulazioni prive di siero hanno dimostrato di supportare efficacemente la proliferazione dei mioblasti. Ormoni e fattori di crescita sono fondamentali per controllare il destino cellulare. Insulina e IGF favoriscono l'adipogenesi, mentre FGF2 stimola la proliferazione muscolare inibendo il differenziamento. I glucocorticoidi, come il desametasone, modulano proliferazione e maturazione miogenica. Il differenziamento adipocitario può essere indotto con cocktail specifici anche in assenza di siero. Fattori come TGF- β , GDF e BMP regolano lo sviluppo tissutale. Il controllo preciso di questi segnali è essenziale per ottenere tessuti commestibili funzionali.

D. Pulina

Ricerca nell'Unione Europea e Ricerca extra-UE.

Nel mondo accademico la ricerca rimane fortemente pre-competitiva. Le linee di indagine si concentrano su sostituzione del siero fetale bovino con mezzi di crescita sintetici o vegetali, riduzione dei costi dei bioreattori e aumento della stabilità delle linee cellulari e ottimizzazione energetica dei processi di purificazione.

In Europa, le principali iniziative di ricerca sono concentrate nei Paesi Bassi, in Germania e in Spagna, finanziate in parte da programmi Horizon Europe dedicati all'innovazione agroalimentare.

Negli Stati Uniti, Israele e Singapore si sono attivati anche impianti pilota ma nessuno ha raggiunto una scala industriale. Le stime più accreditate (Good Food Institute, 2025) collocano la produzione globale sotto le 100 tonnellate annue complessive, equivalenti a una singola giornata di produzione di un grande impianto zootecnico convenzionale.

Occorre inoltre precisare che le valutazioni comparative tra carne artificiale e carne naturale non dipendono soltanto dal mix energetico o dall'efficienza del mezzo di coltura, ma anche dalla metrica climatica adottata e dall'unità funzionale utilizzata nel confronto. L'uso esclusivo del GWP100, ad esempio, può non rappresentare in modo pienamente aderente l'effetto temperatura dei gas a vita breve, mentre metriche dinamiche alternative (quali GWP* oppure GTP) possono

modificare in modo significativo la percezione comparativa degli impatti. Analogamente, confronti espressi “per kg di prodotto” possono produrre esiti diversi rispetto a raffronti “per qualità proteica” o “per densità di nutrienti”. In assenza di standardizzazione metodologica e di dati industriali consolidati su scala commerciale, le affermazioni di superiorità ambientale della carne artificiale devono pertanto essere ancora del tutto provate.

5 **Stato dell’arte della produzione pilota (UE ed Extra UE)**

Hanno contribuito a questo capitolo Bertero, Cheli et al e Lattanzi.

A. Bertero

Quadro generale. Nel 2024–2025 il passaggio dalla ricerca alla scala pilota ha compiuto un salto di qualità, trainato da tre fattori: (i) disponibilità di terreni di coltura completamente privi di siero a costi drasticamente inferiori rispetto a formulazioni farmaceutiche; (ii) introduzione di bioreattori e accessori pensati per la crescita di cellule aderenti e per la produzione continua; (iii) apertura di impianti condivisi (CDMO/CMC) per de-rischiare la fase di scaling. Questi elementi hanno reso possibili dimostrazioni tecniche credibili della produzione continua e un primo consolidamento della catena di fornitura “food-grade” per media e ausiliari di processo.

Permangono sfide per: (i) supply chain di fattori di crescita e proteine funzionali a costo alimentare e in volumi adeguati; (ii) gestione di shear e trasferimento di ossigeno in sistemi ad alta densità di cellule aderenti; (iii) robustezza dei cicli di differenziazione su periodi prolungati; (iv) accesso a capitali pazienti per il ramp-up di impianti da 10–50 m³ con linee di processo ridondanti. Queste criticità spiegano perché gli investimenti rimangano inferiori ai picchi del 2021 e perché il settore ricorra a fonti miste di finanziamento.

Le prospettive per il 2025-26 indicano che la maturazione della scala pilota dipenderà dalla messa in servizio e dalla stabilizzazione dei nuovi impianti, dall’ulteriore riduzione del costo dei media “animal-free”, e dalla validazione di configurazioni di processo continuo replicabili in più siti; il completamento con successo di queste tappe è considerato la premessa per sbloccare capitali e passare alla scala pre-commerciale/industriale.

Media di coltura e input critici. I costi dei media sono scesi di oltre il 99% rispetto ai baseline farmaceutici, grazie alla sostituzione di ingredienti chiave con equivalenti “food-grade” e a nuove piattaforme proteiche da fermentazione; ciò ha un impatto diretto sulla fattibilità della scala pilota, pur restando necessario qualificare ogni componente per uso alimentare e stabilire specifiche di qualità coerenti con HACCP e GMP alimentari.

Bioreattori e configurazioni di processo. Sul fronte hardware, il 2024 ha visto l’introduzione di nuove geometrie e accessori per bioreattori ottimizzati alla crescita di cellule aderenti, insieme a studi e dimostrazioni su approcci di manifattura continua che migliorano l’economia di scala; sono stati inoltre messi in funzione i bioreattori più grandi finora operativi per questa applicazione, segnando il passaggio da “demo” a vera scala pilota.

Capacità pilota e siti condivisi. L’apertura di strutture condivise (contract manufacturing/CMC), quali Cultivate at Scale (Maastricht) e The Cultured Hub (Zurigo), ha iniziato a colmare il “valley of death” tra laboratorio e pre-commerciale, consentendo a più soggetti di qualificare media, linee cellulari e cicli di differenziazione su piattaforme modulari senza investimenti con

“capital expense” (CapEx) eccessivo; questa infrastruttura facilita anche studi comparativi su rese/consumi e la messa a punto di piani di controllo qualità specifici per alimenti.

Investimenti e modelli di finanziamento. La fase pilota richiede capitali elevati e orizzonti di ritorno non compatibili con il solo venture capital; nel 2024 si è affermata la necessità di “blended finance” (partnership strategiche, leasing di equipment, fondi pubblici/sovereign, project finance) per sostenere la costruzione e l’avviamento dei primi impianti pilota e delle linee pre-commerciali.

Collocazione geografica e traiettoria regolatoria. Le traiettorie più dinamiche per la scala pilota si osservano in Asia e Medio Oriente (dove il quadro regolatorio e gli investimenti pubblici hanno accelerato gli impianti pilota), mentre in Europa si registra un avanzamento più cauto e focalizzato su progetti “ingredient-first” e su impianti condivisi; nel complesso, il 2025 è indicato come anno di svolta per la messa in marcia e il collaudo di nuove strutture.

Output, mercati test e canali di lancio. Nonostante i progressi, le quantità restano limitate e concentrate su canali ristretti (ristoranti selezionati, eventi, proof-of-market); la fase pilota ha l’obiettivo di validare consistenza del processo, costi per chilogrammo e qualità sensoriale, non di saturare la domanda retail.

Metriche tecniche chiave in fase pilota.

Le aziende e i centri pilota stanno convergendo su alcune metriche condivise per lo “stage-gate” tecnico: resa in biomassa e frazione muscolo/adipo per ciclo, consumo di medio per kg di biomassa (LM/Kg), intensità energetica per Kg, costi di COGS diretti (medio, fattori, utilities), stabilità genetica/fitness delle linee e robustezza a lotti; i dati raccolti nelle dimostrazioni di manifattura continua mostrano miglioramenti coerenti con i risultati di letteratura sul continuo serum-free.

Qualità, sicurezza e compliance. A livello pilota si stanno formalizzando piani HACCP e prerequisiti igienici specifici per processi cellulari, con enfasi sulla qualifica del mezzo di coltura “food-grade”, sulle strategie CIP/SIP dei bioreattori e sulla tracciabilità cell-to-lot; la convergenza con pratiche CMC della bioproduzione accelera la definizione dei dossier pre-market in giurisdizioni che lo richiedono.

B. Cheli et al.

· Al momento nessun prodotto è ancora sul mercato umano in UE, ma sono state presentate varie domande Novel Food e il settore è in forte sviluppo.

· Sul piano della ricerca pubblica, l’UE ha finanziato diversi progetti su carne coltivata e cellular agriculture, qui di seguito elencati:

- Meat4All (H2020): primo progetto UE con fondi pubblici dedicati alla carne (consorzio guidato dalla spagnola BioTech Foods).
- FEASTS (Horizon Europe, 2024–): progetto su carne coltivata che integra aspetti nutrizionali, salute, sicurezza alimentare, etica, impatti ambientali ed economici.

Iniziative EIT Food / Horizon Europe dedicate:

- PRIN 2022 – “The Future of Food, the Food of Future. Novel Food innovation, sustainability and legal issues” (PRIN F4F) “The Future of Food, the Food of Future. Novel Food innovation, sustainability and legal issues”
- PRIN 2022 – “CELLtoFOOD” “Cellular agriculture for sustainable and innovative food production
- CELLtoFOOD- Università degli studi di Milano Dipartimento Divas , PI Carlotta Giromini

Altri progetti degli autori su novel food e carne coltivata:

- Il progetto FeedInn – “Feeding Future Generations Sustainably: Legal Challenges and Scientific Innovation” è un modulo Jean Monnet dell’Università di Milano (2023–2026), finanziato dalla Commissione europea, che mette insieme giuristi costituzionalisti ed europeisti, esperti di nutrizione animale e scienziati degli alimenti/biotecnologi.
- Il progetto ONFOODS “Development of an eco-sustainable biotechnological process for production of alternative source of proteins: cellular agriculture for novel food” (PNRR), PI Federica Cheli.

B. Lattanzi

Esistono alcuni impianti pilota per produrre carne coltivata. In Europa, gli hub a Zurigo e Maastricht mettono a disposizione le loro *facilities* affinché le aziende interessate a testare il loro processo possano affittarle e produrre modeste quantità di prodotto, principalmente a fini di ricerca e raccolta dati. Altre aziende, quali Upside Foods e Wildtype negli USA hanno loro *facilities* con bioreattori, plausibilmente sempre su scala pilota. Per scala pilota nel nostro ambito si intende bioreattori da 1.000-2.000 L e una produzione di circa <100 kg per ciclo (fonte numeri: <https://gfi.org/resource/trends-in-cultivated-meat-scale-up-and-bioprocessing/>).

I costi di produzione sono sensibilmente diminuiti se si considera che il primo hamburger, "proof of concept", creato da Mark Post nel 2013, era costato circa 250mila EUR. Se è vero che i pochi prodotti in commercio hanno raggiunto dei costi più sostenibili per il consumatore (meno di 100 EUR/kg, comunque non ancora competitivi con la carne convenzionale), è vero anche che tali prodotti contengono alte percentuali di ingredienti vegetali e percentuali inferiori di biomassa cellulare (generalmente <50%, più spesso <10%), oltre a usare spesso cellule non differenziate in muscolo o grasso. L'uso di matrici vegetali (*plant-based*) permette di "diluire" la biomassa, mentre le cellule indifferenziate sono più veloci da crescere e dunque hanno costi inferiori. Nel complesso, entrambe le strategie aiutano a ridurre molto i costi iniziali, insieme ovviamente a diversi progressi tecnologici.

Mancando un impianto industriale su larga scala, è impossibile al momento eseguire un *Life Cycle Assessment* (LCA) su dati empirici. I (pochi) LCA fatti finora si basano su modelli di processo, che permettono solo di fare ipotesi, che finora sembrano indicare un minore impatto ambientale della carne colturale rispetto alla carne di bovino, a patto che vengano usate energie rinnovabili e non fossili. Tuttavia, rimane da verificare le stime su un futuro impianto di produzione industriale. Lo studio che ha fatto scalpore nel 2023 riportando che "la carne coltivata inquina fino a 25 volte di più" partiva da un modello sbagliato che peraltro implicava costi di produzione insostenibili.

Diversi stati adottano percorsi regolatori diversi, ognuno con pro e contro, ma tutti di base chiedono dati sulla sicurezza del prodotto che si vuole commercializzare. In generale, non

condivido l'idea che esistano percorsi regolatori poco credibili. In ogni caso, l'UE è nota per essere tra i Paesi con una regolamentazione sul cibo più stringente e attenta al consumatore.

6 Stato dell'arte della produzione industriale (UE ed Extra UE).

Hanno contribuito a questo capitolo Bertero, Gargioli, Lattanzi.

A. Bertero

Quadro generale e definizioni operative. La produzione industriale di carne coltivata indica la capacità di operare linee con bioreattori di grande volume (oltre 10.000–20.000 litri), in modalità continua o semi-continua, con supply chain di materiali “food-grade” qualificata e standard di qualità equivalenti a quelli della trasformazione alimentare convenzionale. Tra il 2024 e il 2025, il settore ha iniziato a raggiungere questa soglia: sono stati attivati bioreattori oltre i 15.000 litri, aperti impianti condivisi e centri CDMO, e definite configurazioni di manifattura continua per ridurre costi di capitale e di esercizio.

Driver tecnologici per la scala industriale

Le innovazioni chiave riguardano: a) la manifattura continua, che riduce il consumo di materiali monouso e l'investimento iniziale, con economie di scala già comparabili a produzioni convenzionali premium; b) bioreattori specificamente progettati per cellule aderenti, che permettono la crescita e la differenziazione tridimensionale in un unico ciclo;

c) la nascita di hub di co-manufacturing, che consentono a start-up e PMI di accedere a capacità industriale senza costruire da zero impianti proprietari.

Mezzi di coltura e impatto ambientale.

Il mezzo di coltura resta la principale voce di costo, ma i progressi più recenti nella formulazione “food-grade” hanno permesso riduzioni di prezzo superiori al 90% rispetto ai riferimenti farmaceutici. Gli ingredienti derivano sempre più da fermentazioni microbiche e da sottoprodotti vegetali, migliorando al contempo la sostenibilità e la resilienza della filiera. L'adozione di energia rinnovabile e di sistemi di recupero dei nutrienti riduce ulteriormente l'impronta ambientale e il costo per chilogrammo di biomassa prodotta.

Panorama extra-UE: impianti e capacità.

Fuori dall'Europa, gli Stati Uniti e Israele guidano la fase industriale. Negli USA sono operativi impianti con bioreattori fino a 15.000 litri e in fase di avvio linee da 20.000 litri per prodotti a base di quaglia e pollo coltivato. Sono in costruzione stabilimenti dedicati all'integrazione del ciclo completo – da linee cellulari a trasformazione alimentare – con partenariati tra produttori di apparecchiature e aziende alimentari. Queste strutture dimostrano la fattibilità tecnica e l'economia di scala di sistemi continui “serum-free” su larga scala.

Panorama UE.

infrastrutture, hub e supply chain. In Europa la produzione industriale si concentra su impianti pilota avanzati e hub condivisi, in attesa della prima autorizzazione Novel Food. Tra le iniziative attive figurano: una facility per media serum-free nel Regno Unito, un impianto per la produzione di componenti di terreno “cell feed” nei Paesi Bassi, un sito tedesco per la carne e il pesce coltivato, e collaborazioni tra partner europei e asiatici per impianti in Malesia. Sono inoltre operativi centri di innovazione come The Cultured Hub (Svizzera) e nuove infrastrutture di scale-up in Scandinavia. Grandi gruppi alimentari europei e globali (Nestlé, Danone, Thai Union, JBS, Cargill) partecipano direttamente o tramite investimenti strategici, accelerando la maturità della filiera.

Dimensione del settore e investimenti.

Nel 2024 il database globale censiva circa 150–160 imprese attive nella filiera della carne coltivata, con 139 milioni di dollari raccolti in un anno di contrazione del capitale di rischio. Gli impianti industriali pianificati prevedono bioreattori con capacità da decine a centinaia di migliaia di litri, per una produzione stimata di diverse centinaia di tonnellate annue.

Principali criticità per l'industrializzazione.

Le sfide ancora aperte sono:

- a) l'incertezza regolatoria in alcune giurisdizioni, che rallenta la concessione di finanziamenti e autorizzazioni;
- b) la necessità di capitali pazienti e di strumenti di finanziamento misti per sostenere investimenti in linee da 25–50 m³;
- c) la scalabilità della supply chain di mezzi e fattori di crescita “animal-free”;
- d) la carenza di competenze specifiche in ambito CMC, qualità e sicurezza alimentare;
- e) la costruzione di mercati stabili attraverso canali business-to-business e ingredienti intermedi, prima del lancio esteso al consumo diretto.

Sostenibilità industriale

Le più recenti analisi di ciclo di vita hanno ridimensionato le stime pessimistiche di impatto ambientale, dimostrando che l'uso di media farmaceutici non riflette la realtà industriale. Con mezzi formulati per uso alimentare e impianti efficienti dal punto di vista energetico, le emissioni di gas serra risultano comparabili o inferiori a quelle della carne bovina convenzionale. Le produzioni industriali in corso mostrano inoltre una tendenza all'economia circolare, con riutilizzo di acque di processo e recupero dei nutrienti.

Prospettive 2025–2027

Il biennio 2025–2027 rappresenta la fase cruciale per il consolidamento industriale. Le proiezioni di settore indicano un incremento significativo dei volumi prodotti e un ampliamento dei mercati autorizzati, soprattutto in Asia e Nord America. La riduzione ulteriore dei costi del mezzo e l'espansione della capacità di bioreattori permetteranno di avvicinare la parità di prezzo con le carni premium convenzionali. Parallelamente, le collaborazioni tra start-up e multinazionali agroalimentari renderanno la produzione più stabile e diffusa.

Sintesi operativa

La carne coltivata è entrata nella fase di industrializzazione, con bioreattori di grande scala già operativi e supply chain “food-grade” in rapido consolidamento. I costi di produzione continuano a scendere grazie a innovazioni nei media e nei processi continui. Le strutture condivise e i partenariati industriali accelerano la transizione dal pilota al commerciale. Restano sfide di capitalizzazione e chiarezza regolatoria, ma il percorso verso la produzione su larga scala appare ormai tracciato, con il potenziale di contribuire in modo significativo alla sicurezza alimentare e alla sostenibilità globale.

B Gargioli

Attualmente, un numero crescente di aziende sta commercializzando e scalando la carne coltivata (almeno 70 nel 2021) (**Post, 2012**).

Per questi motivi, nel novembre 2022 la Food and Drug Administration (FDA) ha valutato la sicurezza del “materiale cellulare di Gallus gallus coltivato” fornito da UPSIDE Foods, giudicandolo sicuro e senza evidenze di rischi legati al processo produttivo (**US FDA, 2022**). Allo stesso modo, nel marzo 2023 la FDA ha valutato il materiale cellulare di Gallus gallus coltivato prodotto da GOOD Meat, azienda che commercializza già carne coltivata a Singapore. Singapore è stato il primo Paese ad approvarne la produzione nel dicembre 2020, autorizzando i bocconcini di pollo coltivato prodotti dalla start-up statunitense Eat Just, composti al 70% da cellule coltivate e al 30% da componenti vegetali (**US FDA, 2023; Singapore Food Agency, 2021; Failla et al., 2023**).

C Lattanzi

Per il progresso tecnologico sta risultando dunque fondamentale il passaggio da investimenti di tipo privato, che inizialmente hanno alimentato diverse start-up pioneristiche, a investimenti di tipo pubblico. In Europa è stato così finanziato il progetto FEASTS, appartenente alle misure Horizon Europe, che con un finanziamento di 7 milioni EUR a 35 partner mira a capire in modo trasparente lo stato dell’arte e avanzare la ricerca in ambito tecnologico, economico, sociale ed etico, con un particolare focus al contesto europeo (www.feasts-innovation.eu). All’interno dell’UE, i Paesi Bassi hanno finanziato un progetto da 60 milioni EUR per lo sviluppo dell’ecosistema olandese. I nostri vicini inglesi hanno finanziato un progetto di 7 anni da quasi 14 milioni EUR per fini analoghi (CARMA project, <https://www.greenqueen.com.hk/u-k-research-hub-cultivated-meat-precision-fermentation/>).

Ma in quale direzione sta andando questa tecnologia? Un recente report di un’agenzia indipendente

(https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/ADL%20Cultivated%20meat%200225_0.pdf) ipotizza che per abbassare drasticamente i costi di produzione sia opportuno evitare di differenziare le cellule, ottimizzare il liquido di coltura, adattare le cellule a crescere

in sospensione ed infine rendere il processo continuo. Alcune aziende stanno già implementando tali strategie, altre stanno sviluppando tecnologie per risolvere diversamente i problemi tecnici.

Indipendentemente dall'approccio, lo scale-up è una sfida attuale per molte aziende, complicata generalmente dalle ingenti quantità di investimenti necessari per sostenere le spese delle infrastrutture (CapEx), i lunghi tempi per un potenziale ritorno dell'investimento (Return Of Investment o ROI) e le incertezze talvolta ancora legate alla regolamentazione e all'accettazione dei consumatori. La presenza di centri di sviluppo sicuramente riduce il rischio d'impresa per quanto riguarda il capitale necessario, ma i costi rimangono ancora considerevoli.

La produzione globale di carne coltivata si aggira probabilmente su 500 tonnellate, prodotte principalmente all'interno di impianti pilota in aziende che hanno ricevuto l'approvazione al commercio in determinati Paesi (vedi Figura 1).

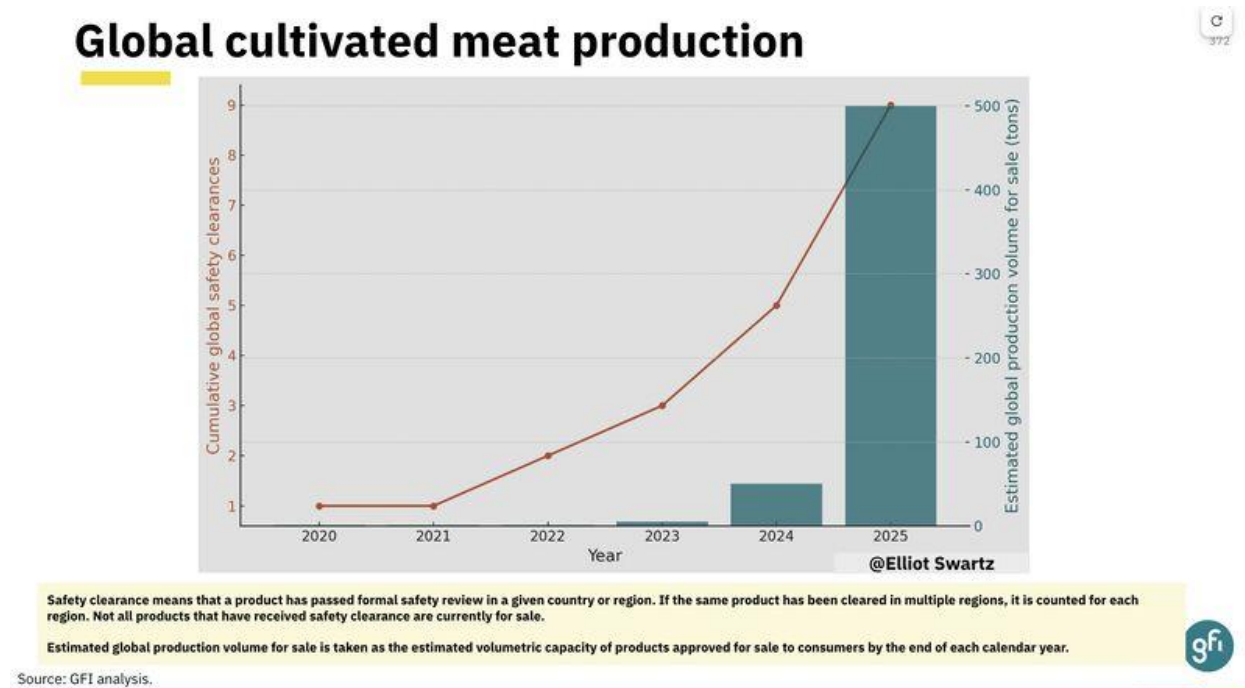


Figura 1. Stima della produzione globale di carne colturale basata sulle autorizzazioni al commercio. Analisi del **Good Food Institute (2025)**, presa dal profilo LinkedIn di Elliot Swartz.

Al momento è noto solo un impianto probabilmente su scala industriale, realizzato da Believer Meats in North Carolina (USA) per 123 milioni USD (<https://www.greenqueen.com.hk/believer-meats-lab-grown-cultivated-chicken-fda-approval-factory/>). Scienziati dell'azienda hanno precedentemente pubblicato due articoli che illustrano una parte della loro tecnologia (<https://www.nature.com/articles/s43016-022-00658-w> e <https://www.nature.com/articles/s43016-024-01022-w>), ipotizzando di produrre un prodotto "blended" al 50%, cioè mescolato a ingredienti vegetali, per un volume di circa 2000 tonnellate per anno a un costo di circa 6 USD/lb (equivalenti a circa 12 EUR/kg). L'azienda ha anche recentemente ottenuto l'approvazione al commercio in USA; tuttavia, non sarà possibile valutare se le stime di produzione saranno soddisfatte dato che l'azienda ha cessato l'attività a pochi mesi dalla messa in funzione dell'impianto.

Altre aziende in passato hanno pubblicizzato la costruzione di facility pre-industriali, come UPSIDE Foods (costato 140 mln USD in Illinois e potrebbe produrre circa 200 tonnellate all'anno, <https://www.cell.ag/blog/september-2023-month-in-review> e <https://www.greenqueen.com.hk/upsides-foods-cultivated-meat-facility/> Wildtype (San Francisco, con potenziale di produzione di circa 100 tonnellate/anno <https://www.wildtypefoods.com/news/blog/worlds-first-cultivated-seafood-pilot-plant>) e Vow (Australia, 30 tonnellate/anno, <https://www.greenqueen.com.hk/vow-cultivated-meat-factory-regulatory-approval/>). Altre aziende ancora a diversi livelli della filiera hanno sviluppato strutture analoghe per la produzione del liquido di coltura (Multus media in UK, Nutreco nei Paesi Bassi) e di biomassa (BLUU Seafood in Germania, Cell AgriTech e Umami Bioworks in Malesia) (<https://gfi.org/wp-content/uploads/2025/04/2024-State-of-the-Industry-Cultivated-meat-seafood-and-ingredients-GFI.pdf>).

Negli anni le aziende del settore si sono anche unite per formare diverse associazioni di settore, divise per geografia. In Europa abbiamo Cellular Agriculture Europe, negli USA c'è AMPS e in Giappone c'è JACA. Oltre a queste si collegano altre organizzazioni senza scopo di lucro attive in diversi Paesi, quali il Good Food Institute (GFI) e New Harvest, le quali promuovono sia la ricerca che la comunicazione sulla carne colturale.

7. Considerazioni conclusive

Hanno contribuito a questo capitolo Bertero, Bertoni, Cheli/Giromini, Gargioli, Lattanzi e Pulina.

NB. In questa parte conclusiva dello studio effettuato, le conclusioni dei vari colleghi sono state riportate separatamente non perché talora in parte discordanti tra loro ma perché argomentate con accenti tra loro diversi. A mio avviso, anche così presentate, una volta sommate insieme, sono sicuramente valide anche per la formazione di una opinione e di una conclusione generale.

A. Bertero

(valutazione politica). La ricerca globale sulla carne coltivata si trova oggi in una fase di maturazione tecnologica ma anche di riflessione politica e culturale. L'Unione Europea dispone di un quadro scientifico robusto ma rischia di essere superata da Paesi che stanno già industrializzando la tecnologia. Le sfide aperte riguardano la scalabilità economica, la riduzione dell'impatto ambientale, la coerenza regolatoria e l'accettazione pubblica. Una collaborazione tra istituzioni, industria e comunità scientifica rimane essenziale per garantire che la carne coltivata contribuisca realmente a un sistema alimentare più sicuro, sostenibile e inclusivo.

B. Bertoni

(valutazione politica) Potenziale ruolo della carne coltivata.

Vediamo quali possano essere le ragioni a favore e contro la carne coltivata:

- a favore vi è certamente la possibilità di ottenere un "sostitutivo" della carne, senza ricorrere agli animali, evitandone così la sofferenza ed alcuni rischi sanitari (potenzialmente portatori di

zoonosi); analogamente sarebbero evitati gli effetti negativi sull'ambiente (occupazione dei suoli, spreco di alimenti ed acqua, inquinamenti vari ed emissioni di gas serra) che peraltro – a mio parere – sono più presunti che reali;

- a sfavore vi sono le condizioni produttive “artificiali” fra cui la necessità di usare siero di sangue preso da feti bovini (comunque proveniente da animali allevati) e altri ingredienti potenzialmente indesiderabili quali taluni ormoni, senza trascurare i costi energetici non trascurabili per produrre i nutrienti - comunque necessari per il sistema di coltivazione - e per il funzionamento degli enormi reattori dove cresceranno le cellule da cui deriverà la “carne”. Che dire poi del fatto che resterà netta la separazione fra Paesi ad alto reddito dove esistono le condizioni per realizzarli e Paesi a basso reddito, senza dimenticare che presumibilmente i costi elevati di questa “carne” ne renderanno a lungo difficile la disponibilità per gran parte della popolazione mondiale.

Per concludere, si può quindi osservare che gli animali avranno comunque “mille” ragioni - a parte la carne - per essere allevati; contemporaneamente, le numerose critiche loro rivolte (es. l'insufficiente benessere e la bassa efficienza), troveranno sempre più risposte in termini di miglioramento. Per cui, alla fine, gli allevamenti animali troveranno comunque giustificazione per la produzione di alimenti essenziali per la salute umana.

Al tempo stesso, appare quantomeno inutile o velleitario pensare di proibire ricerche volte ad accertare se la coltivazione di carne possa avere o meno l'opportunità di soddisfare le esigenze di alcuni segmenti del consumo di carne. D'altra parte, lo stesso Presidente della Associazione Italiana Allevatori - Roberto Nocentini - ha recentemente dichiarato che nessuna preoccupazione vi è da parte degli allevatori italiani per una potenziale concorrenza della carne sintetico-coltivata (anche perché non potrà competere con la carne naturale di qualità).

C. Cheli/Giromini

(valutazione politica) Oggi abbiamo la possibilità e la responsabilità, come ricercatori, di considerare la carne coltivata e gli altri Novel Food in modo aperto, libero da pregiudizi e ideologie. La ricerca sulla carne coltivata si trova in una fase tecnologicamente avanzata, pur presentando sfide ancora aperte ed essendo oggetto di un ampio dibattito. Un confronto non pregiudiziale su queste tematiche può quindi risultare fondamentale per sviluppare il pensiero critico e approfondire l'analisi di argomenti complessi e divisivi.

Il messaggio che deve emergere con chiarezza è che la non completa disponibilità di dati consolidati sulle caratteristiche e sulla qualità del prodotto non deve essere interpretata in termini di proibizionismo. Proibire la ricerca in questo ambito risulta infatti impensabile, anche alla luce della necessità di non perdere l'opportunità di generare evidenze scientifiche solide e di assumere un ruolo non solo nel dibattito scientifico, ma come protagonisti informati e attivamente coinvolti nella ricerca e nello sviluppo pilota di questi prodotti. In questo modo, il settore della produzione animale può contribuire in maniera critica e costruttiva all'evoluzione delle conoscenze, allo sviluppo tecnologico e alla valutazione complessiva delle prospettive future del sistema agro-alimentare. La carne coltivata vuole essere una delle tante possibili alternative nella produzione di alimenti, non una sostituzione della carne e delle produzioni animali le cui dimensioni valoriali e culturali non sono in discussione.

Riguardo al nome "carne sintetica": la chiarezza terminologica è sicuramente essenziale per un dibattito scientifico e istituzionale rigoroso. In tal senso il nome “carne artificiale”, secondo me, non risponde al meglio alla tipologia di prodotto risultando inoltre associato ad una percezione

non corretta e negativa del consumatore. Il nome “carne coltivata” descrive meglio il prodotto finale. La carne coltivata deriva da “colture cellulari”. Pertanto, carne coltivata o alternative come “alimenti da colture cellulari”, proposte in ambito FAO/WHO, rappresentano soluzioni tecnicamente corrette. Qualora non fosse immediatamente comprensibili nel contesto della comunicazione alimentare, uno dei compiti del ricercatore è proprio quello di fare comunicazione corretta.

D. Gargioli

(valutazione tecnica e, parzialmente, politica). Utilizzando tecniche di ingegneria tissutale, la carne coltivata in vitro consente la produzione di carne senza l’impiego di animali. La CM in vitro può risultare più vantaggiosa rispetto alla produzione tradizionale di carne in termini di costi, salute, benessere animale e impatto ambientale (Bhat et al., 2017). Il 5 agosto 2013, a Londra, un hamburger di manzo coltivato in vitro è stato presentato al pubblico e assaggiato per la prima volta. Da allora, i media hanno descritto la carne coltivata come un nuovo approccio con enormi potenzialità (Schatzlein e Blaeser, 2022).

Un vantaggio rilevante della CM è il maggiore controllo sul sapore, sulla composizione degli acidi grassi, sul contenuto di grasso e sul rapporto tra acidi grassi saturi e polinsaturi, modificando la composizione del terreno di coltura o co-coltivando diverse tipologie cellulari.

La carne coltivata in vitro non richiede l’uccisione di animali, e sia la sofferenza sia il numero di animali impiegati nella produzione di carne potrebbero ridursi drasticamente; in teoria, l’intera fornitura di carne per il pianeta potrebbe provenire da una piccola fattoria che effettua occasionali biopsie (Bhat e Bhat, 2011). Dieci cellule staminali potrebbero generare 50.000 tonnellate di manzo se sottoposte a divisione e differenziazione continua per due mesi, sebbene in pratica sia necessario un notevole livello di ottimizzazione per raggiungere tale efficienza (Bhat e Fayaz, 2011).

Inoltre, rigorosi controlli di qualità — impossibili da implementare negli allevamenti, nei macelli o negli stabilimenti di confezionamento di carne — potrebbero ridurre significativamente la contaminazione della carne e l’incidenza di zoonosi nelle strutture dedicate alla CM. L’esposizione tradizionale della carne a pesticidi, arsenico, diossine e ormoni dovrebbe essere significativamente ridotta (Wigglesworth, 1967). In merito alla contaminazione della carne “naturale”, è bene ricordare che gli ormoni in Europa sono proibiti da decenni, mentre pesticidi, arsenico, diossine (e probabilmente altro come le micotossine ecc.) contaminano prima i vegetali (che in parte l’uomo mangia direttamente); se poi questi sono utilizzati negli animali, trovano in essi una “barriera detossificante”, per cui all’uomo che mangia gli alimenti animali arrivano realmente quantità di “tossici” largamente inferiori.

La coltivazione in vitro consente una produzione più rapida rispetto all’allevamento convenzionale, concentrandosi sulle componenti chiave della carne, come il muscolo, evitando la formazione di tessuti non necessari (ossa, organi respiratori e digestivi, cute, sistema nervoso). Nella produzione tradizionale, gran parte del cibo consumato dagli animali non si trasforma efficacemente in carne a causa del metabolismo e della formazione di parti non edibili. Al contrario, la carne coltivata richiede solo poche settimane, invece di mesi (pollame) o anni (maiali e bovini).

Inoltre, produrre carne in vitro da cellule di insetto offre ulteriori vantaggi ambientali rispetto all’impiego di cellule di mammifero. La CM in vitro ridurrà significativamente anche il

fabbisogno di terra. L'impronta di carbonio dei prodotti carnei dovrebbe diminuire grazie alla produzione in vitro, con una riduzione fino al 90% delle emissioni di gas serra e fino all'80% dell'uso di acqua e suolo destinati all'allevamento, anche se sono necessari ulteriori studi per confermare queste stime su larga scala (Fox, 2009). La riduzione del consumo di suolo libererà spazio per usi alternativi come la riforestazione, favorendo la salvaguardia di specie minacciate.

Le comunità scientifiche, ambientaliste e attive per i diritti degli animali supportano la carne coltivata come metodo più sostenibile, con minori impatti sulla salute umana. Coltivando cellule provenienti da animali rari o in via di estinzione, o persino da campioni di specie estinte, sarà possibile creare nuovi tipi di prodotti carnei per i mercati futuri, consentendone il consumo senza influenzare le popolazioni esistenti.

In molti contesti, come missioni spaziali, basi polari, accampamenti militari in aree remote o bunker destinati alla sopravvivenza post-attacco nucleare o biologico, può risultare più efficace produrre cibo in loco. La carne coltivata rappresenta una possibile soluzione. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta esplorando modalità per utilizzare l'agricoltura cellulare nelle missioni spaziali di lunga durata. Questo permetterebbe di ridurre il trasporto di cibo deperibile, offrire una fonte alternativa di nutrienti e garantire cibo fresco. Un sistema così innovativo dovrebbe integrarsi in un circuito chiuso, in cui le risorse — in particolare il terreno di coltura — possano essere riciclate o rigenerate, riducendo la dipendenza dai rifornimenti terrestri (ESA, 2022).

La produzione di carne coltivata ha molti sostenitori ma solleva anche preoccupazioni. La percezione di "innaturalità" rappresenta un ostacolo all'adozione da parte del pubblico, soprattutto in Europa (Hopkins e Dacey, 2008). I nuovi alimenti sono considerati essenziali nella transizione verso sistemi alimentari sostenibili, ma la loro effettiva integrazione nelle diete pubbliche ne determinerà il successo.

Governi e agenzie regolatorie stanno iniziando a sviluppare quadri normativi per la produzione e distribuzione della CM. Linee guida chiare possono accrescere la fiducia dei consumatori. Secondo la letteratura, i principali ostacoli all'adozione della carne coltivata includono fattori contestuali come il prezzo, emozioni come paura e disgusto, e problemi cognitivi come la scarsa familiarità (Grasso et al., 2019; Dupon e Fiebelkorn, 2020; Valente et al., 2019).

Per rispondere a queste criticità, sono state proposte diverse strategie per aumentare l'accettazione dei consumatori, tra cui: informare meglio sul processo produttivo e sui vantaggi della CM, favorire la produzione su larga scala per abbassare il prezzo — elemento chiave per l'accettazione (Humbird, 2021; Arango et al., 2023; Monaco et al., 2024). Collaborazioni con influencer e campagne educative potranno facilitare l'integrazione della carne coltivata tra le scelte comuni di chi ricerca cibi etici, sostenibili e salutari.

E. Lattanzi

(Conclusione tecnologica ed economica):

1. Esistono alcuni impianti pilota per produrre carne coltivata. In Europa, gli hub a Zurigo e Maastricht mettono a disposizione le loro *facilities* affinché le aziende interessate a testare il loro processo possano affittarle e produrre modeste quantità di prodotto, principalmente a fini di ricerca e raccolta dati. Altre aziende, quali Upside Foods e Wildtype negli USA hanno loro *facilities* con bioreattori, plausibilmente sempre su scala pilota. Per scala pilota nel nostro

ambito si intende bioreattori da 1.000-2.000 L e una produzione di circa <100 kg per ciclo (fonte numeri: <https://gfi.org/resource/trends-in-cultivated-meat-scale-up-and-bioprocessing/>).

2. Al momento non esiste alcuna produzione su scala industriale che io conosca (cioè produzione annua di diverse tonnellate di biomassa). La realtà più grande era Believer Meat che aveva realizzato un impianto industriale in USA, ma lo scorso dicembre ha dovuto chiudere. L'azienda australiana Vow dovrebbe avere bioreattori da 20.000 L, ma non è ancora noto quanto producano.

3. I costi di produzione sono sensibilmente diminuiti se si considera che il primo hamburger, "proof of concept", creato da Mark Post nel 2013, era costato circa 250mila EUR. Se è vero che i pochi prodotti in commercio hanno raggiunto dei costi più sostenibili per il consumatore (meno di 100 EUR/kg, comunque non ancora competitivi con la carne convenzionale), è vero anche che tali prodotti contengono alte percentuali di ingredienti vegetali e percentuali inferiori di biomassa cellulare (generalmente <50%, più spesso <10%), oltre a usare spesso cellule non differenziate in muscolo o grasso. L'uso di matrici vegetali (*plant-based*) permette di "diluire" la biomassa, mentre le cellule indifferenziate sono più veloci da crescere e dunque hanno costi inferiori. Nel complesso, entrambe le strategie aiutano a ridurre molto i costi iniziali, insieme ovviamente a diversi progressi tecnologici.

4. Mancando un impianto industriale su larga scala, è impossibile al momento eseguire un *Life Cycle Assessment* (LCA) su dati empirici. I (pochi) LCA fatti finora si basano su modelli di processo, che permettono solo di fare ipotesi, che finora sembrano indicare un minore impatto ambientale della carne colturale rispetto alla carne di bovino, a patto che vengano usate energie rinnovabili e non fossili. Tuttavia, rimane da verificare le stime su un futuro impianto di produzione industriale. Lo studio che ha fatto scalpore nel 2023 riportando che "la carne coltivata inquina fino a 25 volte di più" partiva da un modello sbagliato che peraltro implicava costi di produzione insostenibili.

5. Diversi stati adottano percorsi regolatori diversi, ognuno con pro e contro, ma tutti di base chiedono dati sulla sicurezza del prodotto che si vuole commercializzare. In ogni caso, l'UE è nota per essere tra i Paesi con una regolamentazione sul cibo più stringente e attenta al consumatore.

F. Pulina

(Conclusione politica e scientifica)

Alla luce delle evidenze scientifiche e regolatorie attualmente disponibili, non è possibile considerare la carne artificiale come una risposta dimostrata e consolidata alle sfide ambientali, sanitarie e produttive dei sistemi agroalimentari. La sua sostenibilità non risulta oggi provata né sul piano ambientale, né su quello sanitario, né su quello sistemico e culturale. Gran parte delle valutazioni favorevoli si basa su analisi ex-ante, su assunzioni tecnologiche non validate su scala industriale e su scenari energetici ideali che non riflettono le condizioni reali di produzione.

Sul piano ambientale, è necessario evitare semplificazioni concettuali, in particolare nell'uso di indicatori quali il land use. La riduzione dell'uso del suolo non può essere valutata in modo indifferenziato, senza distinguere tra suolo agricolo, pascoli, superfici marginali ed ecosistemi complessi. I pascoli non rappresentano semplicemente superfici sottratte ad altri usi produttivi,

ma costituiscono, in molti contesti, componenti funzionali di sistemi agro-ecologici con ruoli ambientali, ecologici e culturali rilevanti. Assimilarli implicitamente a superfici industriali o energetiche rischia di produrre una rappresentazione fuorviante, soprattutto in un contesto di riflessione che riguarda l'agricoltura.

Analogamente, sul piano sanitario, non esistono attualmente dati relativi a consumi ripetuti e di lungo periodo di carne artificiale in popolazioni esposte. Si tratta di un novel food che, per natura del processo produttivo e per composizione, si configura come alimento industriale fortemente processato, con un profilo di esposizione cronica ancora interamente da valutare. In assenza di evidenze epidemiologiche e tossicologiche consolidate, la sicurezza non può essere considerata una proprietà intrinseca del processo tecnologico, ma rimane un'ipotesi da verificare. In questo quadro, il principio di precauzione non rappresenta una posizione ideologica, bensì una conseguenza logica dell'attuale incertezza scientifica.

Un ulteriore aspetto centrale riguarda la dimensione valoriale e culturale della produzione alimentare, che non può essere ridotta a una mera questione tecnologica o industriale. Agricoltura e allevamento non sono soltanto sistemi produttivi, ma elementi strutturali di equilibri ecosistemici, sociali e culturali all'interno dei quali le società umane si sono sviluppate. Uno spostamento progressivo della produzione di cibo dai campi alle fabbriche comporterebbe implicazioni sistemiche profonde, che non possono essere valutate esclusivamente attraverso metriche energetiche, economiche o di efficienza di processo. La rapidità dello sviluppo tecnologico e la concentrazione degli investimenti industriali non costituiscono, di per sé, criteri di sostenibilità agricola.

In questo contesto, risulta inoltre centrale la questione della denominazione. L'espressione "carne coltivata" appare semanticamente ambigua, poiché il verbo "coltivare" richiama pratiche agricole e processi biologici naturali, con il rischio di indurre una percezione non corretta del prodotto. I prodotti ottenuti mediante colture cellulari derivano invece da processi tecnologici complessi, realizzati in bioreattori e basati sull'impiego di media di coltura, fattori di crescita e protocolli di ingegneria cellulare. In coerenza con il principio di non ingannevolezza sancito dal Regolamento (UE) 1169/2011, la denominazione "carne artificiale" risulta più appropriata, in quanto descrive in modo più fedele la natura del processo produttivo, senza attribuire al prodotto caratteristiche di naturalità o continuità biologica con l'animale intero. Eventuali alternative tecniche, quali "alimenti da coltura cellulare", possono essere corrette dal punto di vista formale, ma risultano meno trasparenti e meno immediatamente comprensibili nel contesto della comunicazione alimentare.

Nel complesso, il rischio principale è che alcune premesse interpretative conducano implicitamente a rendere la carne artificiale "accettabile" prima ancora di aver dimostrato che lo sia effettivamente, sul piano ambientale, sanitario e culturale.

Il compito di un'Accademia che si occupa di agricoltura dovrebbe invece essere quello di mantenere aperte queste questioni, distinguendo con rigore ciò che è documentato da ciò che rimane nel dominio delle promesse tecnologiche e industriali, e collocando l'innovazione all'interno di una valutazione sistemica più ampia del futuro dei sistemi agroalimentari."

**BIBLIOGRAFIA E ULTERIORI COMMENTI E PRECISAZIONI
DEGLI AUTORI SUI VARI ARGOMENTI**

Indice

FERDINANDO ALBISINNI	Pag. 27
ALESSANDRO BERTERO	Pag. 27
GIUSEPPE BERTONI	Pag. 37
FEDERICA CHELI, GIADA RAGONE, CARLOTTA GIROMINI	Pag.39
CESARE GARGIOLI	Pag. 44
STEFANO LATTANZI	Pag. 57
GIUSEPPE PULINA	Pag. 60

PROF. FERDINANDO ALBISINNI

➤ LETTERATURA AGGIORNATA

Quaderno n. 1-2025 – Supplemento della Rivista di Diritto Alimentare

Sommario

Sabrina Lanni - Le riflessioni sulla carne coltivata	Pag.1
Alessandra di Lauro - Carne “artificiale” e Meatsounding: un orizzonte cannibale possibile e la retorica del “senza”	Pag.4
Sabrina Lanni e Giada Rago - Nel rapporto tra novel foods e carne coltivata	Pag.17
Roberto Saija - Carni e pesci in vitro. Quali regole in vista della sostenibilità?	Pag. 33
Francesco Aversano - La sentenza “meat sounding” della Corte di giustizia: conflitto lessicale o questione giuridica?	Pag. 45
Alice Artom - Oltre l’Unione europea: brevi note sulla produzione di carne coltivata in Israele	Pag 54
Valeria Paganizza - Carne coltivata: una comparazione tra Australia e UE, passando da Singapore	Pag. 62
Diana Cerini - “From farm to fork” vs. “From factory to lab”: riflessioni su sostenibilità sociale e benessere animale a partire dalla Legge.172/2023	Pag. 76
Ferdinando Albisinni Quale carne?	Pag. 104

PROF. ALESSANDRO BERTERO

➤ LETTERATURA AGGIORNATA

faccio notare che i tempi della peer review e la prevalenza di investimenti privati in R&D primaria rendono la letteratura scientifica pubblica, per definizione, incompleta nel descrivere lo stato dell’arte della carne coltivata. Di conseguenza, un impianto argomentativo che equipara “non pubblicato” a “non realizzabile” risulta metodologicamente fragile, perché confonde la mancata disclosure con l’assenza di maturità tecnologica. Sarebbe quindi opportuno integrare la valutazione con ulteriori evidenze controllabili (brevetti, dossier regolatori, standard di sicurezza e qualità, report tecnici e dati industriali verificabili). In questo contesto, i report di soggetti terzi con funzione di market intelligence e accesso strutturato al settore (quali il Good Food Institute), pur avendo una missione dichiarata, possono essere utilizzati come fonti secondarie per orientare la ricognizione, a condizione di verificarne le affermazioni tramite riferimenti primari quando disponibili.

- Bottini S, Fuoco C, Schiavo N, Bertero A, Biressi S, Conti L, Gargioli C. A call for an “Asilomar” for cultivated meat and seafood. *Nature Biotechnology* (2023). doi:10.1038/s41587-023-01849-x. — Proposta di un quadro di autodisciplina “Asilomar” per la carne coltivata, per disinnescare polarizzazione politica e favorire uno sviluppo responsabile.
- Bertero A, Biressi S, Buscemi F, Conti L, Cresti M, Gargioli C, Lo Sapio L, Loera B L, Poncibò C, Stano S. We need an informed discussion on cultivated meat. *Nature Italy* (2023). doi:10.1038/d43978-023-00056-1. — Commento divulgativo che chiarisce sicurezza, iter regolatorio UE e impatti ambientali, invitando a un dibattito basato su evidenze.

- Fino MA, Anzà B, Bairati L, et al. Cultivated meat beyond bans: Ten remarks from the Italian case toward a reasoned decision-making process. *One Earth* (2024). doi:10.1016/j.oneear.2024.11.002. — Dieci “remark” interdisciplinari che analizzano il caso italiano (legge 172/2023) e propongono criteri per policy basate su scienza e proporzionalità.
- GFI (Good Food Institute). 2024 State of the Industry: Cultivated meat, seafood, and ingredients (report, 2025 edizione). — Panorama annuale su landscape commerciale, investimenti, R&D e regolazione globale nel 2024
- Monaco A. A perspective on the regulation of cultivated meat in the European Union. *npj Science of Food* (2025). doi:10.1038/s41538-025-00384-0. — Argomenta che il regolamento “Novel Foods” è adeguato per la carne coltivata; critica applicazioni preventive del principio di precauzione e i divieti nazionali.
- Johnson H, Monaco A. Global developments in the regulation of cultivated meat: A comparative study of the EU, Singapore, US and Australia & New Zealand. *Review of European, Comparative & International Environmental Law* (2025). doi:10.1111/reel.70007 . — Confronto comparato dei quadri regolatori e delle prassi partecipative nei principali ordinamenti, con implicazioni per risk governance e policy.
- Pasitka M., Wisstosky G., Ayyash M., Yaza N., Rosoff G., Kaminker R., Nahmias Y. (2024). Empirical economic analysis shows cost-effective continuous manufacturing of cultivated chicken using animal-free medium. *Nature Food* (2025), 5, 693-702

Descrive un sistema continuo di bioreattori serum-free per la produzione di cellule muscolari avicole, dimostrando per la prima volta la possibilità di ridurre i costi a meno di 20 USD/kg e fornendo dati sperimentali su efficienza e resa di scala.

- Sinke P, Swartz E, Sanctorem H, van der Giesen C, Odegard I. Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030. *International Journal of Life Cycle Assessment* 28, 234–254 (2023). — LCA prospettica al 2030 che stima riduzioni di impatto (GHG, suolo) rispetto alle carni convenzionali in scenari industriali realistici.
- Swarz E, Nahmias Y, Tuomisto HL. Comment on “Environmental Impacts of Cultured Meat: A Cradle-to Gate Life Cycle Assessment”. *ACS Food Science & Technology* (2025). doi:10.1021/acsfoodscitech.5c00357. — Confutazione tecnica a Risner et al. che evidenzia assunzioni non allineate con processi industriali e bias nelle scelte d’inventario.
- Risner D, Negulescu P, Kim Y, Nguyen C, Siegel J, Spang ES. Environmental Impacts of Cultured Meat: A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment. *ACS Food Science & Technology* (2025). doi:10.1021/acsfoodscitech.4c00281. — LCA di “near-term ACBM” che, con ipotesi conservative (media driver dominante), stima impatti possibili > manzo; lavoro oggetto di ampio dibattito metodologico.
- Post MJ, et al. Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food* 1, 403–415 (2020). — Sintesi pionieristica su stato dell’arte scientifico, sfide di sostenibilità e iter regolatori per la carne coltivata; spesso usata come quadro di riferimento.

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE NEGLI STATI UE

2.1. Qualificazione giuridica e quadro di base

Nell’Unione Europea, i prodotti di carne coltivata rientrano nel Regolamento (UE) 2015/2283 sui Novel Food. Il quadro è considerato adeguato a gestire l’ingresso sul mercato di questi prodotti, garantendo sicurezza, correttezza informativa e assenza di svantaggi nutrizionali.

Il processo autorizzativo prevede una valutazione scientifica da parte dell'EFSA e una decisione politica nel Comitato PAFF, composta dai rappresentanti degli Stati membri. La trasparenza è assicurata dalla pubblicazione dei pareri scientifici e delle condizioni di autorizzazione. I tempi medi vanno da 18 a 36 mesi. Nel 2024 EFSA ha inoltre pubblicato linee guida dedicate per i prodotti di agricoltura cellulare, rafforzando la chiarezza del percorso autorizzativo.

2.2. Principio di precauzione e limiti d'uso

Il Regolamento (CE) 178/2002, articolo 7, definisce il principio di precauzione come applicabile solo quando, a seguito di una valutazione scientifica, persiste un'incertezza sul rischio. Le misure devono essere temporanee e proporzionate. L'assenza di studi specifici non giustifica un divieto generalizzato. La carne coltivata, non essendo ancora stata valutata da EFSA, non può essere oggetto di un divieto preventivo; al massimo possono essere adottate restrizioni temporanee su uno specifico prodotto in caso di rischio comprovato dopo l'autorizzazione.

2.3. Stato delle domande e precedenti rilevanti

Nel 2024 è stata presentata la prima domanda europea per un prodotto di carne coltivata (Gourmey, foie gras). La valutazione è in corso. Come precedente, nel 2023 è stata autorizzata la biomassa di cellule di mela, che dimostra la compatibilità del percorso Novel Food con prodotti derivati da coltura cellulare.

2.4. Etichettatura, trasparenza e ruolo degli Stati membri

Le condizioni d'uso e la denominazione legale sono definite nell'autorizzazione. Tutti i pareri EFSA e le decisioni della Commissione sono pubblici. In sede PAFF, gli Stati membri votano sul testo finale: anche in presenza di un parere EFSA positivo, una maggioranza qualificata contraria può bloccare l'autorizzazione, come già accaduto in passato per gli OGM. Il Regolamento (UE) 2019/1381 ha ulteriormente rafforzato la trasparenza del processo.

2.5. Divieti nazionali e mercato interno

Alcuni Stati membri, in particolare l'Italia con la legge 172/2023, hanno introdotto divieti preventivi di produzione e commercializzazione di carne coltivata. Provvedimenti simili sono stati discussi in Francia, Romania e Polonia. Tali misure appaiono incompatibili con il diritto dell'Unione europea, che attribuisce competenza esclusiva alla Commissione per l'autorizzazione dei Novel Food e vieta restrizioni quantitative tra Stati membri (articolo 34 TFUE). La Commissione europea, tramite la Commissaria Kyriakides, ha ribadito che il quadro UE è pienamente idoneo a valutare la sicurezza della carne coltivata.

2.6. Tutela delle produzioni tradizionali e compatibilità con altri regimi UE

Le Indicazioni Geografiche (DOP, IGP) costituiscono strumenti già adeguati a proteggere il patrimonio gastronomico europeo. È improbabile che la carne coltivata possa essere inclusa nei disciplinari delle IG, che restano competenza dei consorzi. Anche il regime del biologico (Regolamento 848/2018) richiede processi "naturali" di riproduzione animale e pertanto esclude prodotti ottenuti da coltura cellulare.

2.7. Partecipazione pubblica e aspetti non scientifici

Il sistema UE mantiene un approccio "risk-based", fondato su evidenze scientifiche. Tuttavia, la recente normativa sulla trasparenza consente una maggiore partecipazione pubblica e consultazione durante la valutazione. Rimane la sfida di integrare considerazioni sociali ed etiche senza compromettere la coerenza del processo scientifico.

2.8. Sintesi operativa

Il quadro giuridico UE per la carne coltivata si basa su un processo unico e armonizzato che combina valutazione scientifica EFSA, decisione PAFF e trasparenza regolatoria. Il principio di precauzione non giustifica divieti generali ma solo misure proporzionate. I divieti nazionali

contrastano con le regole del mercato interno. Gli strumenti di tutela della tradizione (IG, biologico) restano efficaci e autonomi. Prime domande di autorizzazione sono state avviate; la Commissione conferma la propria fiducia nel quadro vigente.

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE EXTRA UE

3.1. Quadro generale

Fuori dall'Unione Europea, la regolazione della carne coltivata segue modelli nazionali con differenti gradi di maturità. Ovunque si riscontra la tendenza a garantire sicurezza alimentare tramite procedure di autorizzazione pre-market e valutazioni basate sul rischio, ma con approcci diversi: alcuni Paesi adottano quadri normativi specifici per l'agricoltura cellulare, altri applicano strumenti generali per i "novel foods". Negli ultimi anni si osserva una progressiva armonizzazione di principi, grazie anche al dialogo internazionale (Codex Alimentarius) e alla cooperazione bilaterale tra autorità regolatorie.

3.2. Singapore

Singapore è stato il primo Paese al mondo ad approvare la carne coltivata nel 2020, avviando una filiera commerciale sotto la supervisione della Singapore Food Agency (SFA). Le linee guida SFA per la valutazione della sicurezza dei novel foods (2019) forniscono un modello trasparente di dossier tecnico, includendo la valutazione della composizione del mezzo di coltura, dell'identità cellulare e dei rischi microbiologici. Dal 2024 il Paese ha ulteriormente consolidato la normativa con la Food Safety and Security Act, che rende obbligatoria l'autorizzazione pre-market e rafforza il controllo post-commercializzazione. Singapore è anche il primo Paese ad avere avviato una riflessione formale sull'idoneità religiosa (halal) dei prodotti da coltura cellulare, con il coinvolgimento della Muslim Religious Council (MUIS).

3.3. Israele e Hong Kong SAR

Israele, grazie a una strategia governativa di innovazione agroalimentare, è diventato nel 2024 il primo Paese ad approvare la vendita di carne bovina coltivata a uso umano. L'approvazione ha seguito un percorso tecnico analogo a quello europeo, basato su dossier di sicurezza alimentare. Nello stesso anno, Hong Kong SAR ha consentito la vendita sperimentale di prodotti a base di quaglia coltivata, segnando l'ingresso di questa tecnologia in un grande mercato asiatico.

3.4. Stati Uniti

Negli Stati Uniti la regolazione della carne coltivata è condivisa tra la Food and Drug Administration (FDA) e il Department of Agriculture (USDA-FSIS). In base all'accordo interagenzia del 2019, la FDA valuta la sicurezza delle linee cellulari, dei terreni di coltura e del processo di differenziazione, mentre l'USDA-FSIS supervisiona la fase post-raccolta, la trasformazione e l'etichettatura dei prodotti.

Nel 2023-2024, la FDA ha completato il processo di "no questions" per due prodotti di pollo coltivato (Upside Foods e GOOD Meat), seguiti da ispezione USDA e concessione dell'autorizzazione alla vendita. Ciò ha stabilito un precedente operativo per l'immissione sul mercato di carne coltivata in ambiente regolato. Parallelamente, alcuni Stati federati (Florida e Alabama) hanno introdotto leggi che vietano la produzione o la vendita di carne coltivata, mentre altre proposte simili non sono state approvate. Tali provvedimenti sono oggetto di contenzioso, poiché potrebbero confliggere con le competenze federali sulla sicurezza alimentare e sul commercio interstatale.

Complessivamente, il modello statunitense rappresenta un approccio ibrido: da un lato, un chiaro percorso tecnico-scientifico federale; dall'altro, un contesto politico polarizzato che crea incertezza sul piano commerciale.

3.5. Regno Unito e Svizzera

Nel Regno Unito, l'Agenzia per gli standard alimentari (FSA) ha mantenuto un quadro simile a quello dell'UE ma ha avviato nel 2024 un "regulatory sandbox" per prodotti innovativi, permettendo interazione diretta tra imprese e autorità. È stata inoltre approvata la prima autorizzazione per pet food a base di pollo coltivato (Meatly), in vendita dal 2025. In Svizzera, la regolazione della carne coltivata segue il percorso per i novel foods sotto la supervisione dell'Ufficio federale per la sicurezza alimentare e di veterinaria (FSVO).

3.6. Australia e Nuova Zelanda

Australia e Nuova Zelanda condividono il quadro normativo gestito da Food Standards Australia New Zealand (FSANZ). È in corso la valutazione della domanda A1269 "Cultured Quail as a Novel Food" presentata da Vow. FSANZ ha proposto nel 2024 l'introduzione di uno standard dedicato per la carne coltivata, con requisiti specifici di composizione, etichettatura e tracciabilità, che creerebbe una categoria autonoma distinta dal semplice "novel food".

3.7. Corea del Sud, Giappone e Thailandia

La Corea del Sud, attraverso il Ministero per la sicurezza alimentare e farmaceutica (MFDS), ha pubblicato nel 2024 linee guida per la carne coltivata e avviato la ricezione delle prime domande di autorizzazione, con un tempo medio di valutazione di circa nove mesi. Il Giappone ha istituito un gruppo di lavoro interministeriale per aggiornare il quadro regolatorio, mentre la Thailandia ha accettato le prime richieste di autorizzazione, attualmente in fase di revisione.

3.8. India, Cina e Malesia

In India, la politica BioE3 (2024) include le proteine alternative e la carne coltivata tra i settori strategici per la bioeconomia, prevedendo finanziamenti e semplificazioni procedurali. La Cina ha creato nel 2024 un centro nazionale di innovazione per le proteine alternative, con mandato anche sulla carne coltivata, mentre in Malesia è stata istituita una commissione interministeriale per sostenere la ricerca e lo sviluppo di tecnologie di agricoltura cellulare.

3.9. Medio Oriente e cooperazione internazionale

Nel Medio Oriente diversi Paesi (tra cui Emirati Arabi Uniti e Qatar) stanno avviando processi di valutazione e investimenti in infrastrutture per la produzione di carne coltivata. Parallelamente, il tema è entrato nell'agenda del Codex Alimentarius: Singapore ha annunciato la proposta di un nuovo lavoro sul riconoscimento e la regolazione dei "cell-based foods", e si sono tenuti eventi tecnici dedicati alla sicurezza e alla tracciabilità.

3.10. Tendenze e lezioni principali.

Dal confronto internazionale emergono alcune tendenze comuni:

1. Gli approcci basati sul rischio, con linee guida specifiche e trasparenza del processo, aumentano la fiducia pubblica e la prevedibilità regolatoria (esempi: Singapore, Corea del Sud, FSANZ).
2. L'introduzione di strumenti pro-innovazione (sandbox, fast-track) consente lo sviluppo controllato di prodotti pionieristici.
3. Il modello statunitense mostra la fattibilità operativa della regolazione "doppia agenzia", ma evidenzia anche la fragilità dovuta a divergenze politiche locali.
4. Le autorità asiatiche guidano la sperimentazione di politiche integrate tra sicurezza alimentare, economia circolare e sostenibilità.
5. La cooperazione internazionale (Codex) e il dialogo con le autorità religiose rappresentano nuove frontiere per l'accettazione globale della carne coltivata.

3.11. Conclusione.

La regolamentazione extra-UE è in rapida evoluzione, ma tende a convergere verso principi comuni di sicurezza, trasparenza e proporzionalità. L'Europa, pur disponendo del quadro

normativo più completo, rischia di rimanere indietro se non coordinerà la propria governance con gli standard emergenti a livello globale.

➤ STATO DELL'ARTE DELLA RICERCA (UE ED EXTRA UE)

4.1. Quadro generale

La ricerca sulla carne coltivata ha conosciuto negli ultimi anni un'accelerazione significativa, sostenuta da progressi nella biologia cellulare, nell'ingegneria dei bioprocessi e nella scienza dei materiali, ma anche da nuove riflessioni etiche, economiche e sociali. L'obiettivo condiviso è passare da una produzione di laboratorio a un modello industriale sostenibile, economicamente competitivo e regolato in modo trasparente. Le attività di ricerca si collocano oggi in un continuum che va dall'ottimizzazione delle linee cellulari e dei mezzi di coltura, fino allo sviluppo di bioreattori avanzati, scaffold alimentari, e strategie per la percezione e l'accettazione pubblica.

4.2. Ricerca nell'Unione Europea

L'Europa dispone di una rete di ricerca ampia e interdisciplinare, spesso finanziata da fondi europei (Horizon Europe, EIC Pathfinder, ERC) e da iniziative nazionali. I centri accademici nei Paesi Bassi, in Germania, Spagna, Francia e Italia conducono ricerche su:

- Derivazione e caratterizzazione di linee cellulari animali pluripotenti o progenitrici idonee per uso alimentare.
- Progettazione di mezzi di coltura “food-grade”, privi di siero fetale e formulati con componenti derivati da fonti vegetali o microbiche.
- Studio dei processi di differenziazione cellulare per ottenere fibre muscolari e tessuti adiposi con caratteristiche sensoriali ottimali.
- Sviluppo di scaffold commestibili e bioreattori modulari per la crescita tridimensionale dei tessuti.

Tra i contributi scientifici più rilevanti, Pasitka et al. (Nature Food, 2024) hanno dimostrato un sistema continuo di bioreattori in condizioni completamente serum-free, riducendo significativamente i costi di produzione e migliorando la resa cellulare. Questo risultato rappresenta una svolta tecnologica nel passaggio dalla scala sperimentale alla produzione pilota. Parallelamente, studi come quelli di Sinke et al. (2023) e Risner et al. (2023) hanno fornito le prime valutazioni quantitative dell'impatto ambientale della carne coltivata, mostrando come le prestazioni ambientali possano variare drasticamente in funzione della composizione del mezzo di coltura e della fonte energetica utilizzata. Sul fronte etico e socioeconomico, Messmer et al. (2022) e Siegrist & Hartmann (2020) hanno analizzato l'accettabilità sociale del prodotto, sottolineando come la percezione di “naturalità” e di “autenticità” rappresenti ancora un ostacolo alla piena adozione. In Italia, Fino et al. (2024) e Bertero et al. (2023) hanno proposto approcci integrati per favorire un dialogo informato tra scienza, diritto e società, con l'obiettivo di rendere la ricerca uno strumento di mediazione culturale.

4.3. Ricerca extra-UE

Fuori dall'Europa, la ricerca si concentra su tre macro-aree: (1) ingegneria cellulare e genetica, (2) ottimizzazione dei bioprocessi, (3) studi su sostenibilità e accettabilità.

Negli Stati Uniti, centri di eccellenza come UC Davis, Harvard, Tufts e North Carolina State University collaborano con start-up (Upside Foods, Wildtype, Believer Meats) per sviluppare linee cellulari ad alta stabilità genetica e media di coltura a basso costo. Gli studi di Humbird (2021) hanno fornito un modello economico dettagliato, evidenziando che il costo finale è

dominato da energia e nutrienti, ma che riduzioni progressive sono realistiche con innovazione nei bioprocessi.

In Israele, Singapore e Giappone, la ricerca è fortemente sostenuta da programmi governativi e da partnership pubblico-private. Israele, con il consorzio di ricerca The Good Food Institute Israel e l'Hebrew University, ha sviluppato approcci per l'immortalizzazione naturale di linee cellulari avicole e bovine, eliminando la necessità di manipolazioni genetiche dirette. Singapore si distingue per l'integrazione tra ricerca scientifica e politica industriale, con laboratori dedicati al controllo di qualità e alla sicurezza alimentare.

In Australia e Nuova Zelanda, la ricerca si concentra sulla costruzione di piattaforme regolatorie e su studi di percezione pubblica, mentre in Corea del Sud e Cina gli sforzi principali riguardano lo scaling up industriale e la standardizzazione dei mezzi di coltura. La Cina, in particolare, ha avviato nel 2024 un centro nazionale per le proteine alternative che integra competenze in biologia sintetica, bioeconomia e agricoltura cellulare.

4.4. Sostenibilità e valutazione ambientale

Le analisi LCA (Life Cycle Assessment) rappresentano oggi un campo di ricerca in espansione e di notevole impatto politico. Gli studi più recenti, Swartz (2025), mostrano che le prime valutazioni come Risner et al. (2023) avevano sovrastimato gli impatti ambientali a causa di assunzioni conservative sui mezzi di coltura e sull'energia impiegata. Swartz ha evidenziato che, con media serum-free e uso di energia rinnovabile, la carne coltivata può presentare vantaggi sostanziali in termini di emissioni e consumo di suolo.

La ricerca europea si sta orientando verso modelli dinamici di LCA, che includono scenari di apprendimento tecnologico e progressiva decarbonizzazione. Tali approcci integrano la sostenibilità economica, ambientale e sociale come dimensioni interconnesse del medesimo sistema produttivo.

4.5. Prospettive future e linee di ricerca emergenti

Le priorità di ricerca attuali possono essere sintetizzate in cinque direttrici principali:

1. Creazione di banche cellulari standardizzate e tracciabili per uso alimentare, con criteri di sicurezza e stabilità genetica.
2. Sviluppo di mezzi di coltura di origine non animale, integrando metaboliti derivati da fermentazioni microbiche o da sottoprodotti agricoli.
3. Ingegneria dei bioreattori modulari, con controlli automatizzati per il mantenimento di parametri ottimali di ossigeno e nutrienti.
4. Analisi di percezione e accettazione pubblica, con attenzione al linguaggio, all'etica e alla trasparenza comunicativa.
5. Studi di sostenibilità integrata (ambientale, economica e sociale) per fornire metriche affidabili ai decisori politici e agli investitori.

4.6. Conclusione

La ricerca globale sulla carne coltivata si trova oggi in una fase di maturazione tecnologica ma anche di riflessione politica e culturale. L'Unione Europea dispone di un quadro scientifico robusto ma rischia di essere superata da Paesi che stanno già industrializzando la tecnologia. Le sfide aperte riguardano la scalabilità economica, la riduzione dell'impatto ambientale, la coerenza regolatoria e l'accettazione pubblica. Una collaborazione tra istituzioni, industria e comunità scientifica rimane essenziale per garantire che la carne coltivata contribuisca realmente a un sistema alimentare più sicuro, sostenibile e inclusivo.

➤ STATO DELL'ARTE DELLA PRODUZIONE PILOTA (UE ED EXTRA UE)

5.1. Quadro generale

Nel 2024–2025 il passaggio dalla ricerca alla scala pilota ha compiuto un salto di qualità, trainato da tre fattori: (i) disponibilità di terreni di coltura completamente privi di siero a costi drasticamente inferiori rispetto a formulazioni farmaceutiche; (ii) introduzione di bioreattori e accessori pensati per la crescita di cellule aderenti e per la produzione continua; (iii) apertura di impianti condivisi (CDMO/CMC) per de-rischiare la fase di scaling. Questi elementi hanno reso possibili dimostrazioni tecniche credibili della produzione continua e un primo consolidamento della catena di fornitura “food-grade” per media e ausiliari di processo.

5.2. Media di coltura e input critici

I costi dei media sono scesi di oltre il 99% rispetto ai baseline farmaceutici, grazie alla sostituzione di ingredienti chiave con equivalenti “food-grade” e a nuove piattaforme proteiche da fermentazione; ciò ha un impatto diretto sulla fattibilità della scala pilota, pur restando necessario qualificare ogni componente per uso alimentare e stabilire specifiche di qualità coerenti con HACCP e GMP alimentari.

5.3. Bioreattori e configurazioni di processo

Sul fronte hardware, il 2024 ha visto l'introduzione di nuove geometrie e accessori per bioreattori ottimizzati alla crescita di cellule aderenti, insieme a studi e dimostrazioni su approcci di manifattura continua che migliorano l'economia di scala; sono stati inoltre messi in funzione i bioreattori più grandi finora operativi per questa applicazione, segnando il passaggio da “demo” a vera scala pilota.

5.4. Capacità pilota e siti condivisi

L'apertura di strutture condivise (contract manufacturing/CMC) ha iniziato a colmare il “valley of death” tra laboratorio e pre-commerciale, consentendo a più soggetti di qualificare media, linee cellulari e cicli di differenziazione su skid modulari senza investimenti CapEx eccessivi; questa infrastruttura facilita anche studi comparativi su rese/consumi e la messa a punto di piani di controllo qualità specifici per alimenti.

5.5. Investimenti e modelli di finanziamento

La fase pilota richiede capitali elevati e orizzonti di ritorno non compatibili con il solo venture capital; nel 2024 si è affermata la necessità di “blended finance” (partnership strategiche, leasing di equipment, fondi pubblici/sovereign, project finance) per sostenere la costruzione e l'avviamento dei primi impianti pilota e delle linee pre-commerciali.

5.6. Collocazione geografica e traiettoria regolatoria

Le traiettorie più dinamiche per la scala pilota si osservano in Asia e Medio Oriente (dove il quadro regolatorio e gli investimenti pubblici hanno accelerato gli impianti pilota), mentre in Europa si registra un avanzamento più cauto e focalizzato su progetti “ingredient-first” e su impianti condivisi; nel complesso, il 2025 è indicato come anno di svolta per la messa in marcia e il collaudo di nuove strutture.

5.7. Output, mercati test e canali di lancio

Nonostante i progressi, le quantità restano limitate e concentrate su canali ristretti (ristoranti selezionati, eventi, proof-of-market); la fase pilota ha l'obiettivo di validare consistenza del processo, costi per chilogrammo e qualità sensoriale, non di saturare la domanda retail.

5.8. Metriche tecniche chiave in fase pilota

Le aziende e i centri pilota stanno convergendo su alcune metriche condivise per lo “stage-gate” tecnico: resa in biomassa e frazione muscolo/adipo per ciclo, consumo di medio per kg di biomassa (LM/Kg), intensità energetica per Kg, costi di COGS diretti (medio, fattori, utilities), stabilità genetica/fitness delle linee e robustezza a lotti; i dati raccolti nelle dimostrazioni di manifattura continua mostrano miglioramenti coerenti con i risultati di letteratura sul continuo serum-free.

5.9. Qualità, sicurezza e compliance

A livello pilota si stanno formalizzando piani HACCP e prerequisiti igienici specifici per processi cellulari, con enfasi sulla qualifica del mezzo di coltura “food-grade”, sulle strategie CIP/SIP dei bioreattori e sulla tracciabilità cell-to-lot; la convergenza con pratiche CMC della bioproduzione accelera la definizione dei dossier pre-market in giurisdizioni che lo richiedono.

5.10. Criticità aperte

Permangono sfide per: (i) supply chain di fattori di crescita e proteine funzionali a costo alimentare e in volumi adeguati; (ii) gestione di shear e trasferimento di ossigeno in sistemi ad alta densità di cellule aderenti; (iii) robustezza dei cicli di differenziazione su periodi prolungati; (iv) accesso a capitali pazienti per il ramp-up di impianti da 10–50 m³ con linee di processo ridondanti. Queste criticità spiegano perché, pur con segnali positivi, gli investimenti rimangano inferiori ai picchi del 2021 e perché il settore ricorra a fonti miste di finanziamento.

5.11. Prospettiva 2025–2026

La maturazione della scala pilota dipenderà dalla messa in servizio e dalla stabilizzazione dei nuovi impianti, dall’ulteriore riduzione del costo dei media “animal-free”, e dalla validazione di configurazioni di processo continuo replicabili in più siti; il completamento con successo di queste tappe è considerato la premessa per sbloccare capitali e passare alla scala pre-commerciale/industriale.

➤ STATO DELL’ARTE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE (UE ED EXTRA UE)

6.1 Quadro generale e definizioni operative

La produzione industriale di carne coltivata indica la capacità di operare linee con bioreattori di grande volume (oltre 10.000–20.000 litri), in modalità continua o semi-continua, con supply chain di materiali “food-grade” qualificata e standard di qualità equivalenti a quelli della trasformazione alimentare convenzionale. Tra il 2024 e il 2025, il settore ha iniziato a raggiungere questa soglia: sono stati attivati bioreattori oltre i 15.000 litri, aperti impianti condivisi e centri CDMO, e definite configurazioni di manifattura continua per ridurre costi di capitale e di esercizio.

6.2. Driver tecnologici per la scala industriale

Le innovazioni chiave riguardano: a) la manifattura continua, che riduce il consumo di materiali monouso e l’investimento iniziale, con economie di scala già comparabili a produzioni convenzionali premium; b) bioreattori specificamente progettati per cellule aderenti, che permettono la crescita e la differenziazione tridimensionale in un unico ciclo;

c) la nascita di hub di co-manufacturing, che consentono a start-up e PMI di accedere a capacità industriale senza costruire da zero impianti proprietari.

6.3. Mezzi di coltura e impatto ambientale

Il mezzo di coltura resta la principale voce di costo, ma i progressi più recenti nella formulazione “food-grade” hanno permesso riduzioni di prezzo superiori al 90% rispetto ai riferimenti farmaceutici. Gli ingredienti derivano sempre più da fermentazioni microbiche e da sottoprodotti vegetali, migliorando al contempo la sostenibilità e la resilienza della filiera. L’adozione di energia rinnovabile e di sistemi di recupero dei nutrienti riduce ulteriormente l’impronta ambientale e il costo per chilogrammo di biomassa prodotta.

6.4. Panorama extra-UE: impianti e capacità

Fuori dall’Europa, gli Stati Uniti e Israele guidano la fase industriale. Negli USA sono operativi impianti con bioreattori fino a 15.000 litri e in fase di avvio linee da 20.000 litri per prodotti a base di quaglia e pollo coltivato. Sono in costruzione stabilimenti dedicati all’integrazione del

ciclo completo – da linee cellulari a trasformazione alimentare – con partenariati tra produttori di apparecchiature e aziende alimentari. Queste strutture dimostrano la fattibilità tecnica e l'economia di scala di sistemi continui “serum-free” su larga scala.

6.5. Panorama UE: infrastrutture, hub e supply chain

In Europa la produzione industriale si concentra su impianti pilota avanzati e hub condivisi, in attesa della prima autorizzazione Novel Food. Tra le iniziative attive figurano: una facility per media serum-free nel Regno Unito, un impianto per la produzione di componenti di terreno “cell feed” nei Paesi Bassi, un sito tedesco per la carne e il pesce coltivato, e collaborazioni tra partner europei e asiatici per impianti in Malesia. Sono inoltre operativi centri di innovazione come The Cultured Hub (Svizzera) e nuove infrastrutture di scale-up in Scandinavia. Grandi gruppi alimentari europei e globali (Nestlé, Danone, Thai Union, JBS, Cargill) partecipano direttamente o tramite investimenti strategici, accelerando la maturità della filiera.

6.6. Dimensione del settore e investimenti. Nel 2024 il database globale censiva circa 150–160 imprese attive nella filiera della carne coltivata, con 139 milioni di dollari raccolti in un anno di contrazione del capitale di rischio. Gli impianti industriali pianificati prevedono bioreattori con capacità da decine a centinaia di migliaia di litri, per una produzione stimata di diverse centinaia di tonnellate annue.

6.7. Principali criticità per l'industrializzazione. Le sfide ancora aperte sono:

- a) l'incertezza regolatoria in alcune giurisdizioni, che rallenta la concessione di finanziamenti e autorizzazioni;
- b) la necessità di capitali pazienti e di strumenti di finanziamento misti per sostenere investimenti in linee da 25–50 m³;
- c) la scalabilità della supply chain di mezzi e fattori di crescita “animal-free”;
- d) la carenza di competenze specifiche in ambito CMC, qualità e sicurezza alimentare;
- e) la costruzione di mercati stabili attraverso canali business-to-business e ingredienti intermedi, prima del lancio esteso al consumo diretto.

6.8. Sostenibilità industriale

Le più recenti analisi di ciclo di vita hanno ridimensionato le stime pessimistiche di impatto ambientale, dimostrando che l'uso di media farmaceutici non riflette la realtà industriale. Con mezzi formulati per uso alimentare e impianti efficienti dal punto di vista energetico, le emissioni di gas serra risultano comparabili o inferiori a quelle della carne bovina convenzionale. Le produzioni industriali in corso mostrano inoltre una tendenza all'economia circolare, con riutilizzo di acque di processo e recupero dei nutrienti.

6.9. Prospettive 2025–2027

Il biennio 2025–2027 rappresenta la fase cruciale per il consolidamento industriale. Le proiezioni di settore indicano un incremento significativo dei volumi prodotti e un ampliamento dei mercati autorizzati, soprattutto in Asia e Nord America. La riduzione ulteriore dei costi del mezzo e l'espansione della capacità di bioreattori permetteranno di avvicinare la parità di prezzo con le carni premium convenzionali. Parallelamente, le collaborazioni tra start-up e multinazionali agroalimentari renderanno la produzione più stabile e diffusa.

6.10. Sintesi operativa

La carne coltivata è entrata nella fase di industrializzazione, con bioreattori di grande scala già operativi e supply chain “food-grade” in rapido consolidamento. I costi di produzione continuano a scendere grazie a innovazioni nei media e nei processi continui. Le strutture condivise e i partenariati industriali accelerano la transizione dal pilota al commerciale. Restano sfide di capitalizzazione e chiarezza regolatoria, ma il percorso verso la produzione su larga

scala appare ormai tracciato, con il potenziale di contribuire in modo significativo alla sicurezza alimentare e alla sostenibilità globale.

➤ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La ricerca globale sulla carne coltivata si trova oggi in una fase di maturazione tecnologica ma anche di riflessione politica e culturale. L'Unione Europea dispone di un quadro scientifico robusto ma rischia di essere superata da Paesi che stanno già industrializzando la tecnologia. Le sfide aperte riguardano la scalabilità economica, la riduzione dell'impatto ambientale, la coerenza regolatoria e l'accettazione pubblica. Una collaborazione tra istituzioni, industria e comunità scientifica rimane essenziale per garantire che la carne coltivata contribuisca realmente a un sistema alimentare più sicuro, sostenibile e inclusivo.

PROF. GIUSEPPE BERTONI

➤ LETTERATURA AGGIORNATA

- Food safety aspects of Cell-based foods Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Health Organization Rome, 2023 - <https://doi.org/10.1038/s41587-023-01849-x> A call for an 'Asilomar' for cultivated meat and seafood nature biotechnology Volume 41 | July 2023 | 895–897 | 895
- The Myth of Cultured Meat: A Review
Sghaier Chriki 1 * and Jean-François Hocquette 2 *SARA, Agroecology and Environment Unit, Lyon, France, 2 INRAE, University of Clermont Auvergne, Vetagro Sup, UMR Herbivores, Saint-Genès-Champanelle, France Chriki S and Hocquette J-F (2020) The Myth of Cultured Meat: A Review. Front. Nutr. 7:7. doi: 10.3389/fnut.2020.00007
- Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle John Lynch* and Raymond Pierrehumbert Atmospheric, Oceanic, and Planetary Physics, Department of Physics, University of Oxford, Oxford, United Kingdom. Citation: Lynch J and Pierrehumbert R (2019) Climate Impacts of Cultured Meat and Beef Cattle. Front. Sustain. Food Syst. 3:5. doi: 10.3389/fsufs.2019.00005
- Environmental impacts of cultured meat: A cradle-to-gate life cycle assessment Derrick Risner¹, Yoonbin Kim¹, Cuong Nguyen², Justin B. Siegel^{3,4,5,6}, Edward S. Spang^{1,6}
 - 1 Department of Food Science and Technology, University of California, Davis, CA 95616, USA
 - 2 Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Holtville, CA 92250, USA
 - 3 Genome Center, University of California, Davis, CA 95616, USA
 - 4 Departments of Chemistry, Biochemistry and Molecular Medicine, University of California, Davis, CA 95616, USA
 - 5 Innovation Institute for Food and Health, University of California, Davis, CA 95616, USA
 - 6 USDA, AI Institute for Next Generation Food Systems (AIFS), University of California, Davis, CA 95616, USA *Correspondence: esspang@ucdavis.edu; Tel.: +1-530-754-544 <https://doi.org/10.1101/2023.04.21.537778> doi: bioRxiv preprint
- Animal biotechnology <https://doi.org/10.1080/10495398.2021.1911810>

Clean meat: techniques for meat production and its upcoming challenges Rout Srutee, Sowmya R. S, and Annapure Uday S.

- Environmental Life Cycle Assessment of a Novel Cultivated Meat Burger Patty in the United States Sunghoon Kim 1, Adam Beier 2, H. Brett Schreyer 2 and Bhavik R. Bakshi 1,*
- Citation: Kim, S.; Beier, A.; Schreyer, H.B.; Bakshi, B.R. Environmental Life Cycle Assessment of a Novel Cultivated Meat Burger Patty in the United States. Sustainability 2022, 14, 16133. <https://doi.org/10.3390/>

➤ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Potenziale ruolo della carne coltivata

Vediamo quali possano essere le ragioni a favore e contro la carne coltivata:

- a favore vi è certamente la possibilità di ottenere un “sostitutivo” della carne, senza ricorrere agli animali, evitandone così la sofferenza ed alcuni rischi sanitari (potenzialmente portatori di zoonosi); analogamente sarebbero evitati gli effetti negativi sull’ambiente (occupazione dei suoli, spreco di alimenti ed acqua, inquinamenti vari ed emissioni di gas serra) che peraltro – a mio parere – sono più presunti che reali;

- a sfavore vi sono le condizioni produttive “artificiali” fra cui la necessità di usare siero di sangue preso da feti bovini (comunque proveniente da animali allevati) e altri ingredienti potenzialmente indesiderabili quali taluni ormoni, senza trascurare i costi energetici non trascurabili per produrre i nutrienti - comunque necessari per il sistema di coltivazione - e per il funzionamento degli enormi reattori dove cresceranno le cellule da cui deriverà la “carne”. Che dire poi del fatto che resterà netta la separazione fra PAR dove esistono le condizioni per realizzarli e PBR, senza dimenticare che presumibilmente i costi elevati di questa “carne” ne renderanno a lungo difficile la disponibilità per gran parte della popolazione mondiale.

Considerazioni conclusive

Per concludere, si può quindi osservare che gli animali avranno comunque “mille” ragioni - a parte la carne - per essere allevati; contemporaneamente, le numerose critiche loro rivolte (es. l’insufficiente benessere e la bassa efficienza), troveranno sempre più risposte in termini di miglioramento. Per cui, alla fine, gli allevamenti animali troveranno comunque giustificazione per la produzione di alimenti essenziali per la salute umana.

Al tempo stesso, appare quantomeno inutile o velleitario pensare di proibire ricerche volte ad accertare se la coltivazione di carne possa avere o meno l’opportunità di soddisfare le esigenze di alcuni segmenti del consumo di carne. D’altra parte, lo stesso Presidente della Associazione Italiana Allevatori - Roberto Nocentini - ha recentemente dichiarato che nessuna preoccupazione vi è da parte degli allevatori italiani per una potenziale concorrenza della carne sintetico-coltivata (anche perché non potrà competere con la carne naturale di qualità).

➤ LETTERATURA AGGIORNATA

- Formici, G. (2023). “Meating” the future: alcune riflessioni sulla necessità di promuovere un attento dibattito regolatorio in materia di c.d. carne sintetica. *Forum di Quaderni Costituzionali*, 2, 15 ss. <https://www.forumcostituzionale.it/wordpress/?p=1848>
- Formici, G. (2024). Un assaggio di futuro? La carne a base cellulare e il vivace dibattito regolatorio dentro e fuori i confini dell'Unione europea. *BioLaw Journal*, 4, 165 ss. <https://doi.org/10.15168/2284-4503-20251>
- Lanni, S., & Ragone, G. (2025). Il rapporto tra novel foods e carne coltivata. *Quaderni della Rivista di Diritto Alimentare*, 1, 17 ss. <https://air.unimi.it/retrieve/02133945-cd1a-40d6-be47-bf6f79bd1a78/Quaderno%20RDA%202025%20Milano.pdf>
- Martini, D., Del Bò, C., & Riso, P. (2020). Legislazione europea e ruolo di EFSA nella valutazione della sicurezza d'uso dei Novel Foods: principi e prospettive. *BioLaw Journal*, 2, 9 ss. <https://doi.org/10.15168/2284-4503-20202>
- Pisanello, D., Caruso, G. (2018). Toxicological Studies in Assessing Novel Food Safety. In: *Novel Foods in the European Union. SpringerBriefs in Molecular Science*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93620-8_2
- Rubino, V. (2024). La battaglia della carne coltivata dalle aule parlamentari a quelle di giustizia? Considerazioni a margine della legge 172/2023 fra armonizzazione, leale cooperazione e margini di autonomia degli Stati membri. *Rivista di Diritto Alimentare*, 1, 34 ss. <https://www.rivistadirittoalimentare.it/rivista/2024-01/RUBINO.pdf>
- Scaffardi, L. (2022). A Peculiar Category of Novel Foods: Traditional Foods Coming from Third Countries and the Regulatory Issues Involving Sustainability, Food Security, Food Safety, and the Free Circulation of Goods. In L. Scaffardi & G. Formici (Eds.), *Novel Foods and Edible Insects in the European Union. An Interdisciplinary Analysis*. Cham: Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-13494-4_3
- Spoto, G. (2024). Libertà di ricerca e paternalismo giuridico in Italia: la carne coltivata in laboratorio. *Rivista di Diritto Alimentare*, 1, 56 ss. <https://www.rivistadirittoalimentare.it/rivista/2024-01/SPOTO.pdf>
- Cheli, F., Tedeschi, G., Lanzoni, D., Sundaram, T.S., Baldi, A., Giromini, C. (2024). Carne a base cellulare: una nuova frontiera della ricerca. *BioLaw Journal*, 4, 151 ss. <https://doi.org/10.15168/2284-4503-20251>
- Lanzoni, D., Givens, I., & Giromini, C. (2025). Hypothetical feed conversion efficiency of cultured meat compared to conventional animal production. *Future Foods*, 100767. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100767>
- Sundaram, T. S., Giromini, C., Rebucci, R., Lanzoni, D., Petrosillo, E., Baldi, A., & Cheli, F. (2025). Milk whey as a sustainable alternative growth supplement to fetal bovine serum in muscle cell culture. *Journal of Dairy Science* 108(5):4749-4760. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25449>
- Lanzoni, D., Bracco, F., Cheli, F., Colosimo, B. M., Moscatelli, D., Baldi, A., ... & Giromini, C. (2022). Biotechnological and technical challenges related to cultured meat production. *Applied Sciences*, 12(13), 6771. <https://doi.org/10.3390/app12136771>
- Lanzoni, D., Rebucci, R., Formici, G., Cheli, F., Ragone, G., Baldi, A., ... & Giromini, C. (2024). Cultured meat in the European Union: Legislative context and food safety issues. *Current Research in Food Science*, 8, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100722>

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE NEGLI STATI UE

La carne a base cellulare, tra le espressioni più avanzate dell'innovazione biotecnologica nel settore agroalimentare, è oggi al centro di un articolato dibattito scientifico, etico, politico e giuridico. Tale confronto si riflette sulla complessità delle scelte regolatorie necessarie a conciliare esigenze eterogenee, tra cui tutela della salute pubblica, rispetto del principio di precauzione, promozione dell'innovazione e della sostenibilità ambientale, garanzia della food security senza compromissione della food safety (Lanni-Ragone, 2025, 17). In questa prospettiva risultano particolarmente rilevanti gli approcci normativi adottati dall'Unione europea e da alcuni ordinamenti extra-UE, in primis quelli in cui tali prodotti hanno già raggiunto il mercato.

A livello europeo, la disciplina rilevante per la cell-based meat deve essere rintracciata all'interno del Regolamento (UE) 2015/2283 sui Novel Foods – in vigore dal 1° gennaio 2018 e sostitutivo del criticato Regolamento (CE) 258/97 – che definisce i criteri per individuare i cibi rientranti in tale categoria (Pisanello-Caruso, 2018). Sono “nuovi” ai sensi di questa disciplina gli alimenti che soddisfano congiuntamente un requisito temporale – l'assenza di un consumo significativo prima del 15 maggio 1997 – e un requisito sostanziale, che implica l'inclusione del prodotto in una delle categorie elencate all'art. 3, comma 2. Tra queste rientrano gli alimenti che, come la carne coltivata, sono ottenuti da colture cellulari o da tessuti di origine animale, nonché quelli derivanti da processi produttivi non impiegati nell'Unione prima del maggio 1997 e idonei a incidere in modo significativo sulla loro composizione o struttura. Il regolamento prevede distinte procedure autorizzatorie a seconda che si abbia a che fare con cibi che abbiano una storia di uso sicuro in paesi terzi (quali, ad esempio, gli insetti edibili) ovvero con alimenti propriamente innovativi, come la carne a base cellulare. Il processo autorizzatorio dettato per gli alimenti tradizionali di paesi extra UE risulta nel complesso più snello e agevolato rispetto a quello previsto per i cibi nuovi stricto sensu (Scaffardi, 2022).

In entrambi i casi, gli operatori interessati all'immissione in commercio di cibi nuovi devono trasmettere alla Commissione un dossier scientifico contenente dati e prove idonei a dimostrare la sicurezza dell'alimento. Una volta notificata la domanda agli Stati membri, la Commissione sottopone il fascicolo all'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA), cui è attribuito il risk assessment e l'adozione di un parere tecnico sulla food safety del prodotto (Martini et al., 202). La successiva fase di risk management spetta nuovamente alla Commissione, che elabora una bozza di atto di esecuzione recante la decisione finale sull'autorizzazione. In tale valutazione, pur tenendo conto del parere dell'EFSA, la Commissione può considerare ulteriori elementi rilevanti nell'ordinamento unionale, tra cui il principio di precauzione e gli “altri fattori legittimi” di natura economica, sociale, etica o ambientale, come espressamente richiamato dal considerando n. 20 del Regolamento.

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE EXTRA UE

Sul piano extracomunitario emergono approcci regolatori della carne coltivata diversificati e ancora troppo frammentari perché si possano identificare modelli di riferimento.

Il caso più rilevante è quello di Singapore che, in questo ambito, è pioniere a livello mondiale: sin dal 2020, infatti, la Singapore Food Agency (SFA) ha approvato l'immissione in commercio dalla – sola – carne coltivata di pollo, stabilendo un assoluto precedente normativo in materia. Diversamente da EFSA, la SFA svolge sia valutazioni di risk assesment sia di risk management muovendo della documentazione presentata dai food business operators interessati alla commercializzazione di prodotti “nuovi” e prende la decisione ultima sulla loro autorizzazione (Formici, 2024). Il primato dell'autorizzazione alla vendita di carne bovina coltivata è invece di Israele, dove nel gennaio 2024 il National Food Service (NFS) incardinato presso il Ministero

della Salute ha adottato la decisione motivandola con la necessità di soddisfare una domanda proteica in crescita e di sviluppare fonti proteiche “non viventi”. L’autorizzazione ha seguito un processo stabilito da una normativa sui Novel Foods del 2006, aggiornata nel 2015, che affida al NFS la valutazione circa la food safety dell’alimento nuovo, la tipologia di etichettatura di informazioni da fornire ai consumatori, nonché la decisione ultima sull’immissione in commercio.

Nel Regno Unito, si è registrato un primo via libera all’immissione sul mercato di carni coltivate, destinate a mangimi per animali domestici, sotto la supervisione della Food Standards Agency (FSA), la quale ha fornito delle linee guida specifiche per i “cell-cultivated products”. Il processo autorizzatorio ha coinvolto anche la Animal and Plant Health Agency (APHA) e Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).

La Svizzera, sebbene non abbia ancora consumi diffusi, qualifica la carne coltivata come “nuovo alimento” (Novel Food) e richiede la presentazione di un dossier di sicurezza all’Ufficio Federale della Sicurezza Alimentare (FSVO), che comprende studi tossicologici, valutazione del rischio e verifiche approfondite prima di un’eventuale autorizzazione. Quest’ultima è concessa per un periodo di cinque anni senza possibilità di proroga. Se le condizioni relative alla sicurezza alimentare e al divieto di inganno sono ancora soddisfatte dopo la scadenza dell’autorizzazione, il nuovo alimento viene inserito nell’elenco dei nuovi alimenti previo riesame da parte del FSVO.

Negli Stati Uniti, pur in assenza di una normativa specificatamente dedicata all’autorizzazione di questi prodotti, è stato sottoscritto nel 2019 un formal agreement tra Food and Drug Administration (FDA) e U.S. Department of Agriculture (USDA) “Regarding Oversight of Human Food Produced Using Animal Cell Technology” che delinea un modello di co-regolazione tra le due agenzie e costituisce la principale fonte regolatoria in materia di carne a base cellulare negli Stati Uniti. Sulla base della disciplina stabilita in questo agreement, alcune aziende produttrici hanno ottenuto l’approvazione all’immissione in commercio di carne coltivata di pollo. Tuttavia, va segnalato che alcuni Stati americani hanno iniziato a intervenire con divieti specifici per alcune tipologie di alimenti “innovativi”. Florida e Alabama hanno vietato la produzione, distribuzione e vendita di cell-based meat, rendendo queste attività reato nei loro territori. Più di recente, anche il Texas ha approvato una legge (Senate Bill 261) che proibisce la cell-cultured protein e iniziative simili, tra il 2024 e il 2025, sono stata adottate da Indiana, Mississippi, Montana, Nebraska, Oklahoma, South Carolina, e altri. Infine, la Corea del Sud ha recentemente introdotto una disciplina dinamica: il Ministero della Sicurezza Alimentare (MFDS) ha emanato gli Standards for Recognition of Temporary Standards and Specifications for Food, che estendono il campo di applicazione ai prodotti derivati da colture cellulari, e ha istituito una zona speciale (regulation-free special zone, RFSZ) nella provincia di Gyeongsangbuk-do per favorire la sperimentazione, lo sviluppo e l’autorizzazione commerciale di queste tecnologie, con esenzioni regolamentari mirate e un percorso autorizzativo basato sulla presentazione di un dossier tecnico-scientifico. In conclusione, la regolamentazione della carne a base cellulare evidenzia un quadro normativo eterogeneo: l’Unione europea privilegia un approccio centralizzato e sistematico finalizzato alla tutela della sicurezza alimentare e del consumatore, mentre diversi ordinamenti extracomunitari adottano procedure più flessibili e sperimentali. Tale pluralità normativa mette in luce la complessa esigenza di coniugare innovazione tecnologica e protezione dei consumatori, evidenziando la rilevanza di un coordinamento internazionale volto a definire criteri scientifici e giuridici armonizzati

➤ STATO DELL'ARTE DELLA RICERCA (UE ED EXTRA UE)

La ricerca si sviluppa lungo diverse direttrici complementari che, nel loro insieme, mirano a sostenere l'evoluzione tecnologica, regolatoria e sostenibile della carne coltivata. Una prima area di approfondimento riguarda l'efficienza di utilizzo delle risorse nei sistemi di produzione cell-based, analizzata in relazione ai modelli zootecnici convenzionali. Attraverso valutazioni comparative, questi studi evidenziano come tale produzione possa potenzialmente contribuire a ridurre l'impatto ambientale associato all'allevamento intensivo, in termini di consumo di acqua, suolo, energia e emissioni GHG. Tali analisi costituiscono un passaggio fondamentale per definire il reale potenziale della carne coltivata quale strumento per complementare per il sistema alimentare verso una maggiore sostenibilità. I risultati al momento rappresentano delle stime, perché ovviamente è passando all'economia di scala e considerando anche le tipologie di processi produttivi che si potrà valutare il reale impatto della produzione di carne coltivata. Parallelamente, si rafforza l'interesse verso strategie innovative per la formulazione di terreni di coltura più sostenibili ed economicamente competitivi. In questo ambito, particolare attenzione è rivolta all'impiego di sottoprodotti dell'industria agroalimentare, come ad esempio frazioni proteiche o componenti bioattivi derivati dal latte o da matrici vegetali. Questi ingredienti vengono esplorati come possibili sostituti dei supplementi di origine animale, tradizionalmente impiegati per supportare la proliferazione e la sopravvivenza cellulare. L'obiettivo è ridurre il costo dei mezzi di coltura, aumentarne la stabilità, diminuirne l'impatto ambientale e superare le criticità etiche associate all'utilizzo di componenti animali. In questo contesto, si inserisce anche l'interesse crescente verso le proteine vegetali funzionali come supplementi bioattivi. Queste fonti alternative non solo presentano un profilo nutrizionale completo, ma possono contenere peptidi o molecole in grado di modulare positivamente i processi cellulari, sostenendo la vitalità e la proliferazione sia in sistemi bidimensionali sia in strutture cellulari tridimensionali più complesse. L'impiego di tali ingredienti apre prospettive promettenti per la sostituzione sostenibile dei componenti animali, contribuendo a rendere i processi di coltura più etici, scalabili e compatibili con i principi dell'agricoltura cellulare. Accanto agli aspetti nutrizionali e funzionali, un ulteriore filone di ricerca approfondisce le principali sfide biotecnologiche e ingegneristiche che ancora limitano la scalabilità industriale. Tra queste, rientrano l'ottimizzazione della proliferazione e differenziazione cellulare, la definizione di mezzi di crescita più efficienti e privi di siero, nonché lo sviluppo di tecnologie avanzate di biostampa e di materiali bioingegnerizzati capaci di supportare la costruzione di tessuti complessi. L'obiettivo è superare i limiti tecnici legati ai bioprocessi, garantire una crescita cellulare omogenea e controllata, e migliorare la riproducibilità e la qualità dei prodotti finali. Infine, un'altra dimensione cruciale della ricerca riguarda il quadro regolatorio e le implicazioni per la sicurezza alimentare. Le normative emergenti, sviluppate a livello europeo e internazionale, svolgono un ruolo centrale nel definire requisiti di sicurezza, tracciabilità e trasparenza dei processi produttivi. Gli studi in questo ambito contribuiscono a chiarire come gli aspetti legali influiscano sul percorso di autorizzazione, sviluppo industriale e futura commercializzazione dei prodotti a base cellulare, fornendo elementi essenziali per supportare un'introduzione sicura e responsabile nel mercato alimentare. Nel loro insieme, queste direttrici di ricerca convergono verso l'obiettivo comune di rendere la carne coltivata una tecnologia più sostenibile, sicura, economicamente competitiva e accettabile dal punto di vista etico e normativo, delineando un quadro complesso ma promettente per il futuro dell'agricoltura cellulare.

Storia:

- 1998 – Jon F. Vein ottiene un brevetto per la produzione di carne “tissue-engineered” per il consumo umano, in cui muscolo e tessuto adiposo vengono coltivati per formare prodotti alimentari.
- 1997–1999 – Willem van Eelen deposita e vede pubblicato il brevetto internazionale “Industrial scale production of meat from in vitro cell cultures” (WO1999031222), spesso indicato come primo brevetto specifico sulla produzione industriale di carne coltivata.
- 2013. Presentazione del primo hamburger cellulare da parte del Prof Mark Post
- 2016. Nasce the Good Food Institute
- 2020. Singapore Food Agency autorizza la vendita di carne coltivata Good Meat (eat just)
- 2023. Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) autorizza la vendita di prodotti a base di pollo coltivato (Good Meat e Upside Foods)
- 2023. Approvazione alla commercializzazione di carne coltivata nel settore del pet food (Repubblica ceca) - oggi invia campioni per assaggio- European Feed Materials Register.
- 2023. Governo italiano vieta la produzione di carne coltivata (Legge n. 172/2023)
- 2024. Approvazione al commercio di carne coltivata da cellule bovine in Israele (Aleph farms)
- 2024 La start-up parigina Gourmey ha presentato la prima richiesta di approvazione alla commercializzazione di foie gras coltivato (Europa, Svizzera, Singapore, USA e UK)
- 2025 Mosa Meat ha presentato la richiesta di approvazione alla commercializzazione di grasso bovino coltivato (Europa, UK)

➤ STATO DELL'ARTE DELLA PRODUZIONE PILOTA (UE ED EXTRA UE)

Al momento nessun prodotto è ancora sul mercato umano in UE, ma sono state presentate varie domande Novel Food e il settore è in forte sviluppo.

Sul piano della ricerca pubblica, l'UE ha finanziato diversi progetti su carne coltivata e cellular agriculture, tra cui:

- Meat4All (H2020): primo progetto UE con fondi pubblici dedicati alla carne coltivata (consorzio guidato dalla spagnola BioTech Foods).
- FEASTS (Horizon Europe, 2024–): progetto su carne coltivata che integra aspetti nutrizionali, salute, sicurezza alimentare, etica, impatti ambientali ed economici.
- Iniziative EIT Food / Horizon Europe dedicate
PRIN 2022 – “The Future of Food, the Food of Future. Novel Food innovation, sustainability and legal issues”(PRIN F4F)“The Future of Food, the Food of Future. Novel Food innovation, sustainability and legal issues”
PRIN 2022 – “CELLtoFOOD“Cellular agriculture for sustainable and innovative food production – CELLtoFOOD- Università degli studi di Milano Dipartimento Divas, PI Carlotta Giromini

Altri progetti degli autori su novel food e carne coltivata:

- Il progetto FeedInn – “Feeding Future Generations Sustainably: Legal Challenges and Scientific Innovation” è un modulo Jean Monnet dell'Università di Milano (2023–2026), finanziato dalla Commissione europea, che mette insieme giuristi costituzionalisti ed europeisti, esperti di nutrizione animale e scienziati degli alimenti/biotecnologi.

- Il progetto ONFOODS “Development of an eco-sustainable biotechnological process for production of alternative source of proteins: cellular agriculture for novel food” (PNRR), PI Federica Cheli.

➤ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Oggi abbiamo la possibilità e la responsabilità, come ricercatori, di considerare la carne coltivata e gli altri Novel Food in modo aperto, libero da pregiudizi e ideologie. La ricerca sulla carne coltivata si trova in una fase tecnologicamente avanzata, pur presentando sfide ancora aperte ed essendo oggetto di un ampio dibattito. Un confronto non pregiudiziale su queste tematiche può quindi risultare fondamentale per sviluppare il pensiero critico e approfondire l'analisi di argomenti complessi e divisivi.

Il messaggio che deve emergere con chiarezza è che la non completa disponibilità di dati consolidati sulle caratteristiche e sulla qualità del prodotto non deve essere interpretata in termini di proibizionismo. Proibire la ricerca in questo ambito risulta infatti impensabile, anche alla luce della necessità di non perdere l'opportunità di generare evidenze scientifiche solide e di assumere un ruolo non solo nel dibattito scientifico, ma come protagonisti informati e attivamente coinvolti nella ricerca e nello sviluppo pilota di questi prodotti. In questo modo, il settore della produzione animale può contribuire in maniera critica e costruttiva all'evoluzione delle conoscenze, allo sviluppo tecnologico e alla valutazione complessiva delle prospettive future del sistema agro-alimentare. La carne coltivata vuole essere una delle tante possibili alternative nella produzione di alimenti, non una sostituzione della carne e delle produzioni animali le cui dimensioni valoriali e culturali non sono in discussione.

Riguardo al nome "carne sintetica": la chiarezza terminologica è sicuramente essenziale per un dibattito scientifico e istituzionale rigoroso. In tal senso il nome “carne artificiale”, secondo me, non risponde al meglio alla tipologia di prodotto risultando inoltre associato ad una percezione non corretta e negativa del consumatore. Il nome “carne coltivata” descrive meglio il prodotto finale. La carne coltivata deriva da “colture cellulari”. Pertanto, carne coltivata o alternative come “alimenti da colture cellulari”, proposte in ambito FAO/WHO, rappresentano soluzioni tecnicamente corrette. Qualora non fosse immediatamente comprensibili nel contesto della comunicazione alimentare, uno dei compiti del ricercatore è proprio quello di fare comunicazione corretta.

PROF. CESARE GARGIOLI

➤ LETTERATURA AGGIORNATA

- Delgado, C., Rosegrant, M., Steinfeld, H., Ehui, S., & Courbois, C. (1999). Livestock to 2020: The next food revolution. *Outlook on Agriculture*, 30(1), 27–29.
- Rao, P. P., Birthal, P. S., & Ndjunga, J. (2005). Crop-livestock economies in the semi-arid tropics. (Report).
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J., Lorimer, J., Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), eaam5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam532>
- Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>

- Failla, M., Hopfer, H., & Wee, J. (2023). Evaluation of public submissions to the USDA for labeling of cell-cultured meat in the United States. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1197111. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1197111>
- Post, M. J., et al. (2020). Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, 1(7), 403–415. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0112-z>
- Grossman, M. R. (2019). USDA and FDA formal agreement on regulation of cultured meat. *European Food and Feed Law Review*, 14(4), 385–389.
- Broucke, K., Van Pamel, E., Van Coillie, E., Herman, L., & Van Royen, G. (2023). Cultured meat and challenges ahead: A review on nutritional, technofunctional and sensorial properties, safety and legislation. *Meat Science*, 195, 109006. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109006>
- 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 in Food Science & Technology*, 78, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Post, M. J. (2014). Cultured beef: Medical technology to produce food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1039–1041. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6474>
- Ding, S., et al. (2018). Maintaining bovine satellite cells stemness through p38 pathway. *Scientific Reports*, 8(1), 10808. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28746-7>
- Bentzinger, C. F., Wang, Y. X., & Rudnicki, M. A. (2012). Building muscle: Molecular regulation of myogenesis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 4(2), a008342. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a008342>
- Bentzinger, C., von Maltzahn, J., & Rudnicki, M. A. (2010). Extrinsic regulation of satellite cell specification. *Stem Cell Research & Therapy*, 1(3), 27.
- Ben-Arye, T., & Levenberg, S. (2019). Tissue engineering for clean meat production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 46. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00046>
- Genovese, N. J., Domeier, T. L., Telugu, B. P. V., & Roberts, R. M. (2017). Enhanced development of skeletal myotubes from porcine induced pluripotent stem cells. *Scientific Reports*, 7(1), 41833. <https://doi.org/10.1038/srep41833>

- Harada, H., et al. (2003). Telomerase induces immortalization of human esophageal keratinocytes without p16INK4a inactivation. *Molecular Cancer Research*, 1(10), 729–738.
- Yao, T., & Asayama, Y. (2017). Animal-cell culture media: History, characteristics, and current issues. *Reproductive medicine and biology*, 16(2), 99-117.
- Chal, J., & Pourquié, O. (2017). Making muscle: Skeletal myogenesis in vivo and in vitro. *Development*, 144(12), 2104–2122.
- Schmidt, M., Schüler, S. C., Hüttner, S. S., von Eyss, B., & von Maltzahn, J. (2019). Adult stem cells at work: Regenerating skeletal muscle. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 76(13), 2559–2570. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03093-6>
- Zagury, Y., Ianovici, I., Landau, S., Lavon, N., & Levenberg, S. (2022). Engineered marble-like bovine fat tissue for cultured meat. *Communications Biology*, 5(1), 927. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03852-5>
- O'Neill, E. N., Cosenza, Z. A., Baar, K., & Block, D. E. (2021). Considerations for the development of cost-effective cell culture media for cultivated meat production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 686–709. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12678>
- Scieuzo, C., et al. (2023). In vitro evaluation of the antibacterial activity of the peptide fractions extracted from the hemolymph of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, 14(5), 464. <https://doi.org/10.3390/insects14050464>
- Dohmen, R. G., et al. (2022). Muscle-derived fibro-adipogenic progenitor cells for production of cultured bovine adipose tissue. *npj Science of Food*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.1038/s41538-021-00122-2>
- Groux-Muscattelli, B., Bassaglia, Y., Barritault, D., Caruelle, J. P., & Gautron, J. (1990). Proliferating satellite cells express acidic fibroblast growth factor during in vitro myogenesis. *Developmental Biology*, 142(2), 380–385. [https://doi.org/10.1016/0012-1606\(90\)90358-P](https://doi.org/10.1016/0012-1606(90)90358-P)
- Guerriero, V., & Florini, J. R. (1980). Dexamethasone effects on myoblast proliferation and differentiation. *Endocrinology*, 106(4), 1198–1202. <https://doi.org/10.1210/endo-106-4-1198>
- Syverud, B. C., VanDusen, K. W., & Larkin, L. M. (2016). Growth factors for skeletal muscle tissue engineering. *Cells Tissues Organs*, 202(3–4), 169–179. <https://doi.org/10.1159/000444671>
- Schätzlein, E., & Blaeser, A. (2022). Recent trends in bioartificial muscle engineering and their applications in cultured meat, biorobotic systems and biohybrid implants. *Communications Biology*, 5(1), 737. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03593-5>
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2017). In vitro meat: A future animal-free harvest. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 782–789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.924899>

- Orkusz, A. (2021). Edible insects versus meat—Nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients*, 13(4), 1207. <https://doi.org/10.3390/nu13041207>
- Bhat, Z. F., & Hina Bhat, H. B. (2011). Animal-free meat biofabrication. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.441.459>
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Bhat, H. F. (2017). In vitro meat: A future animal-free harvest. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 782–789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.924899>
- Bhat, Z. F., Kumar, S., & Fayaz, H. (2019). In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(2), 349–363.
- Fox, J. L. (2009). Test tube meat on the menu?. *Nature Biotechnology*, 27(10), 873–874. <https://doi.org/10.1038/nbt1009-873>
- Hopkins, P. D., & Dacey, A. (2008). Vegetarian meat: Could technology save animals and satisfy meat eaters? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21(6), 579–596. <https://doi.org/10.1007/s10806-008-9110-0>
- Dupont, J., & Fiebelkorn, F. (2020). Attitudes and acceptance of young people toward the consumption of insects and cultured meat in Germany. *Food Quality and Preference*, 85, 103983. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103983>
- Grasso, A. C., Hung, Y., Olthof, M. R., Verbeke, W., & Brouwer, I. A. (2019). Older consumers' readiness to accept alternative, more sustainable protein sources in the European Union. *Nutrients*, 11(8), 1904. <https://doi.org/10.3390/nu11081904>

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE NEGLI STATI UE

A differenza degli Stati Uniti, in Europa la carne coltivata ricade nel Regolamento UE sui Novel Foods, che riguarda alimenti non consumati in modo significativo prima del 15 maggio 1997 (Broucke et al., 2023; UE 2015/2283), oppure nella normativa sugli OGM (Direttiva 2001 e Regolamento 2013), qualora vengano utilizzate cellule staminali pluripotenti indotte (iPSC) (Stephens et al., 2018; US FDA, 2024).

Gli Stati membri conducono consultazioni per stabilire quale normativa applicare a un determinato prodotto, mentre le valutazioni di sicurezza sono effettuate dall'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA).

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE EXTRA UE

Le normative sulla sicurezza alimentare variano tra Paesi e regioni. Negli Stati Uniti, la FDA supervisiona la sicurezza alimentare, eccetto per carne e pollame, che rientrano nelle competenze dell'USDA–FSIS (Food Safety and Inspection Service) ai sensi del Federal Meat Inspection Act (FMIA) (Post et al., 2020).

Per quanto riguarda le normative sulla carne coltivata destinata al consumo umano, nel 2018 USDA e FDA hanno rilasciato una dichiarazione congiunta (Grossman, 2019). In base a tale accordo, la FDA supervisiona le fasi iniziali dello sviluppo, inclusi prelievo delle cellule,

sviluppo, differenziazione e proliferazione (US FDA, 2024). Questa supervisione vale per prodotti derivati da linee cellulari di specie animali regolamentate dall'USDA e richiede il marchio di ispezione USDA (Broucke et al., 2023). Una volta che le cellule o i tessuti sono pronti per la raccolta, la supervisione passa all'USDA-FSIS, che garantisce sicurezza, etichettatura e qualità dei prodotti finali. Entrambe le agenzie ispezionano gli impianti di produzione, con USDA-FSIS che si concentra sulle fasi finali (US FDA, 2024).

➤ STATO DELL'ARTE DELLA RICERCA (UE ED EXTRA UE)

La produzione globale di carne dovrebbe aumentare di quasi 44 milioni di tonnellate entro il 2030, raggiungendo le 373 milioni di tonnellate, grazie alla ripresa della produzione e dei prezzi della carne dopo il COVID-19, secondo la pubblicazione "OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030" (OECD/FAO, 2021).

Il consumo di carne è influenzato da diversi fattori, tra cui prezzi, tradizione, preoccupazioni ambientali, benessere animale e salute. La crescita della popolazione è il principale motore dell'aumento dei consumi: si prevede infatti un incremento del 14% del consumo globale di carne, associato a un aumento dell'11% della popolazione mondiale entro il 2030. In particolare, questo aumento sarà del 12% in America Latina, 18% nell'Asia-Pacifico, 30% in Africa, 0,4% in Europa e 9% in Nord America.

La crescita economica e i cambiamenti strutturali che ne derivano incoraggiano un maggior consumo di carne. Secondo studi empirici sul comportamento dei consumatori, un reddito più elevato favorisce un maggior consumo di alimenti di alto valore, come le proteine animali, e un minore consumo di alimenti di basso valore, come i carboidrati. Tutti questi fattori hanno contribuito, nell'ultimo decennio, a un aumento significativo della produzione zootecnica, con una crescente domanda di alimenti di origine animale da parte di una quota importante della popolazione mondiale, rappresentata dai Paesi in via di sviluppo (Delgado et al., 1999).

Questo aumento della domanda è problematico, poiché gli attuali sistemi di allevamento intensivo (che generano oltre il 50% dell'offerta mondiale di carne) sono associati a rischi per la salute pubblica, degrado ambientale e problematiche legate al benessere animale (Rao et al., 2005). Ad esempio, il 75% delle nuove malattie infettive umane è causato da fonti animali (zoonosi), principalmente come conseguenza dell'aumento delle interazioni uomo-animale dovute all'allevamento, alla perdita degli habitat naturali e alla crescita della popolazione mondiale (Jones et al., 2013; Wolk, 2017).

Gli allevamenti contribuiscono inoltre alla resistenza antibiotica: negli Stati Uniti rappresentano l'80% degli antibiotici utilizzati e il 73% di quelli venduti a livello globale, aumentando i rischi per la salute umana. Secondo il rapporto UNEP 2020 sulla prevenzione delle future pandemie, l'incremento della domanda mondiale di prodotti proteici animali e l'intensificazione insostenibile dell'agricoltura — compresa l'espansione dell'allevamento intensivo — rappresentano due dei sette fattori antropici più significativi alla base dell'emergere di malattie zoonotiche.

Oltre ai rischi per la salute umana, il bestiame è responsabile del 14,5% di tutte le emissioni antropiche di gas serra espresse in CO₂ equivalenti. Inoltre, la produzione di mangimi animali ha un forte impatto ambientale in termini di uso del suolo e risorse idriche (Godfray et al., 2018).

In risposta alle crescenti preoccupazioni sulla sostenibilità dell'agricoltura intensiva, stanno emergendo nuove tecnologie per una produzione proteica più efficiente. Una di queste è la carne coltivata (CM, cultivated meat; nota anche come carne cellulare o carne coltivata in vitro), che consiste nella produzione di carne tramite coltivazione in vitro di cellule staminali animali,

replicando il naturale processo di crescita e divisione cellulare e ottenendo un prodotto simile alla carne tradizionale per gusto e valore nutritivo. L'obiettivo è affrontare i problemi ambientali e di benessere animale, rispondendo al contempo ai bisogni di una popolazione mondiale in crescita.

Il primo assaggio ufficiale di carne coltivata avvenne nel 2013, quando il team del Dr. Mark Post creò un hamburger da cellule muscolari bovine, ottenendo grande risonanza mediatica. Attualmente, un numero crescente di aziende sta commercializzando e scalando la carne coltivata (almeno 70 nel 2021) (Post, 2012).

Per questi motivi, nel novembre 2022 la Food and Drug Administration (FDA) ha valutato la sicurezza del "materiale cellulare di Gallus gallus coltivato" fornito da UPSIDE Foods, giudicandolo sicuro e senza evidenze di rischi legati al processo produttivo (US FDA, 2022). Allo stesso modo, nel marzo 2023 la FDA ha valutato il materiale cellulare di Gallus gallus coltivato prodotto da GOOD Meat, azienda che commercializza già carne coltivata a Singapore. Singapore è stato il primo Paese ad approvarne la produzione nel dicembre 2020, autorizzando i bocconcini di pollo coltivato prodotti dalla start-up statunitense Eat Just, composti al 70% da cellule coltivate e al 30% da componenti vegetali (US FDA, 2023; Singapore Food Agency, 2021; Failla et al., 2023). Le normative sulla sicurezza alimentare variano tra Paesi e regioni. Negli Stati Uniti, la FDA supervisiona la sicurezza alimentare, eccetto per carne e pollame, che rientrano nelle competenze dell'USDA-FSIS (Food Safety and Inspection Service) ai sensi del Federal Meat Inspection Act (FMIA) (Post et al., 2020).

Per quanto riguarda le normative sulla carne coltivata destinata al consumo umano, nel 2018 USDA e FDA hanno rilasciato una dichiarazione congiunta (Grossman, 2019). In base a tale accordo, la FDA supervisiona le fasi iniziali dello sviluppo, inclusi prelievo delle cellule, sviluppo, differenziazione e proliferazione (US FDA, 2024). Questa supervisione vale per prodotti derivati da linee cellulari di specie animali regolamentate dall'USDA e richiede il marchio di ispezione USDA (Broucke et al., 2023). Una volta che le cellule o i tessuti sono pronti per la raccolta, la supervisione passa all'USDA-FSIS, che garantisce sicurezza, etichettatura e qualità dei prodotti finali. Entrambe le agenzie ispezionano gli impianti di produzione, con USDA-FSIS che si concentra sulle fasi finali (US FDA, 2024).

A differenza degli Stati Uniti, in Europa la carne coltivata ricade nel Regolamento UE sui Novel Foods, che riguarda alimenti non consumati in modo significativo prima del 15 maggio 1997 (Broucke et al., 2023; UE 2015/2283), oppure nella normativa sugli OGM (Direttiva 2001 e Regolamento 2013), qualora vengano utilizzate cellule staminali pluripotenti indotte (iPSC) (Stephens et al., 2018; US FDA, 2024).

Gli Stati membri conducono consultazioni per stabilire quale normativa applicare a un determinato prodotto, mentre le valutazioni di sicurezza sono effettuate dall'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA).

➤ FONTI CELLULARI

"La composizione della carne è tipicamente costituita da circa il 90% di fibre muscolari e dal 10% di tessuto adiposo e connettivo (Listrat et al., 2016; Warris e Rhodes, 1977), anche se tali proporzioni variano a seconda del taglio specifico e della specie di origine. I miociti scheletrici sono le cellule più numerose presenti nella carne; sono presenti anche adipociti, fibroblasti e cellule ematopoietiche, che spesso svolgono funzioni di supporto. Le cellule staminali ottenute da una biopsia di un animale vivente possono essere coltivate in vitro per ottenere grandi masse cellulari. Queste cellule staminali versatili hanno la capacità di differenziarsi in cellule muscolari o adipose, a seconda della tipologia (Post, 2014).

Le cellule primarie utilizzate per la produzione di carne coltivata (CM) devono essere in grado di auto-rinnovarsi adeguatamente e di differenziare nei tipi cellulari maturi che caratterizzano la carne. Le cellule staminali rappresentano l'opzione migliore come fonte cellulare iniziale per soddisfare queste necessità. Le cellule staminali adulte e le cellule staminali pluripotenti (PSC) sono le due categorie cellulari con la capacità proliferativa e il potenziale di differenziamento necessari per produrre CM.

Tradizionalmente, le cellule staminali tessuto-specifiche sono state la fonte cellulare preferita per la produzione di carne coltivata. Esse sono progenitori indifferenziati presenti negli organi e nei tessuti animali. Sono multipotenti, cioè in grado di differenziarsi in diversi tipi cellulari, per lo più rilevanti per il tessuto in cui risiedono. Nel microambiente del tessuto muscolare, i tre tipi principali di cellule progenitrici/staminali sono: cellule satelliti muscolari, cellule staminali/mesenchimali stromali (MSC) e progenitori fibro/adipogenici (FAP).

Queste cellule progenitrici possono differenziare in vari tipi cellulari maturi, tra cui miociti scheletrici, adipociti e fibroblasti. Le cellule satelliti muscolari sono un tipo di cellule staminali localizzate al di sotto della membrana basale delle fibre muscolari. Possono differenziare in miociti, che successivamente formano miotubi multinucleati, compatti nelle miofibre. Le cellule satelliti muscolari sono tra le più diffuse cellule staminali adulte residenti nei tessuti (Bentzinger et al., 2012), e la loro estrazione e coltivazione in vitro sono ben documentate (Ding et al., 2018; Li et al., 2015).

Le MSC si trovano comunemente nel midollo osseo, ma anche in altri distretti anatomici, come i muscoli scheletrici, e svolgono un ruolo cruciale nella rigenerazione muscolare dopo un danno (Yin et al., 2013). Le MSC possono differenziare in adipociti e fibroblasti (Warriss e Rhodes, 1977; Ding et al., 2018). Mosa Meat, pioniera del primo hamburger coltivato, ha posto le basi per alternative di carne più "pulite" attraverso l'uso di MSC (Post, 2014; Mosa Meat, 2024). Diverse start-up, come Meatble (Meatble, 2024) e BioTech Foods (BioTech Food, 2024), utilizzano cellule muscolari scheletriche di bovini e/o suini per creare prodotti di carne coltivata, che spaziano da carne tritata alternativa a prodotti gustosi e nutrienti come nuggets, hamburger e salsicce.

Per ottenere il livello di amplificazione cellulare necessario alla produzione di CM trasformata, le MSC devono fondersi e convertirsi in fibre muscolari multinucleate e post-mitotiche. In vitro, il processo di differenziazione verso i miotubi inizia quando le MSC vengono esposte a un mezzo di differenziamento, per un periodo tipico di tre-cinque giorni (Danoviz e Yablobk-Reuveni, 2012). Il controllo dell'attività delle MSC avviene spesso modulando le molecole segnale extracellulari presenti nel terreno di coltura. Fattori di crescita come IGF-1, FGF, HGF e citochine come TNF- α e LIF giocano ruoli cruciali nell'attivazione e proliferazione delle MSC (Bertizinger et al., 2010; Spangenburg e Booth, 2002).

I progenitori fibro/adipogenici (FAP) costituiscono una popolazione distinta di cellule mesenchimali presenti nello spazio interstiziale del muscolo scheletrico. Possono differenziarsi sia in fibroblasti che in adipociti, contribuendo ai tessuti connettivi e adiposi della carne e svolgendo un ruolo chiave nello sviluppo e nell'organizzazione miogenica (Li et al., 2015; Maqsood et al., 2013).

Quando cellule satelliti, MSC e FAP vengono combinate, possono generare tutti i tipi cellulari presenti nella carne. Tuttavia, pur essendo facilmente reperibili e capaci di differenziarsi nei tipi cellulari maturi necessari, la loro proliferazione e il loro mantenimento in vitro risultano limitati.

Le cellule staminali pluripotenti rappresentano quindi una seconda possibile fonte per la produzione di carne coltivata. Le PSC, come le cellule staminali embrionali (ESC) e le cellule

staminali pluripotenti indotte (iPSC), sono altamente proliferative e possono differenziarsi in qualsiasi cellula derivata dai tre foglietti embrionali (mesoderma, endoderma, ectoderma).

Le ESC provengono dalla massa cellulare interna della blastocisti, fase precoce dello sviluppo embrionale nei mammiferi. Le iPSC vengono ottenute inducendo la pluripotenza in cellule somatiche tramite l'attivazione di specifici geni embrionali (Listrat et al., 2016; Ben-Arye e Levenberg, 2019). Le PSC derivate da fonti non muscolari possono essere isolate da animali domestici e utilizzate come riserva miogenica per la produzione di CM.

Progressi recenti comprendono modifiche chimiche e genetiche di PSC suine per guidarne il differenziamento verso cellule miogeniche capaci di formare fibre muscolari embrionali (Genovese et al., 2017; Shaikh et al., 2021).

Gourmey utilizza PSC per produrre foie gras coltivato (Gourmey, 2024). Tuttavia, è importante notare che qualsiasi prodotto CM derivato da PSC richiede un'etichettatura chiara come OGM e deve essere sottoposto a rigorose valutazioni di sicurezza, in conformità alle normative vigenti (Shaikh et al., 2021).

➤ IMMORTALIZZAZIONE E DIFFERENZIAZIONE CELLULARE

Sebbene le colture cellulari primarie possano essere utilizzate relativamente in fretta per la produzione di carne, presentano lo svantaggio di avere un numero limitato di divisioni cellulari prima di entrare in senescenza o arresto del ciclo cellulare. Questo rende difficile una produzione a lungo termine e su scala commerciale. L'uso di colture primarie richiede inoltre di prelevare regolarmente biopsie dagli animali, oltre a testare e approvare tali biopsie per l'utilizzo nella produzione alimentare (Maqsood et al., 2013).

A differenza delle cellule primarie, le linee cellulari immortalizzate non vanno incontro a senescenza e possono dividersi indefinitamente. La produzione di linee cellulari immortalizzate è un elemento cruciale nella coltura cellulare. Nonostante la ricerca sulle linee cellulari sia iniziata più di 50 anni fa, esistono ancora poche linee adatte alla produzione di carne coltivata. Queste devono soddisfare requisiti specifici, come elevata capacità di proliferazione e differenziamento (ad esempio: formare muscolo maturo a partire da cellule muscolari e accumulare lipidi come cellule adipose) su scala industriale, essere autorizzate come sicure per il consumo, e possedere le caratteristiche desiderate in termini di sapore, consistenza e valore nutrizionale (Gormey, 2024).

I componenti principali della carne animale sono il muscolo scheletrico e il tessuto adiposo. Le cellule pertinenti includono cellule satelliti e cellule staminali del tessuto adiposo, cellule staminali mesenchimali, fibroblasti pluripotenti e vari tipi di cellule staminali (Stout et al., 2023; Yun et al., 2023). Le linee cellulari di mioblasti di animali modello sono le più simili alle esigenze attuali, ma non riproducono ancora gusto, nutrienti e struttura propri della carne (Astruc, 2014).

Di conseguenza, le linee cellulari immortalizzate per CM dovrebbero derivare da cellule familiari per il consumatore, appetibili, nutrienti e sicure (Bryant e Barnett, 2020).

Solo recentemente sono stati avviati tentativi per creare banche di linee cellulari adeguate allo sviluppo della carne coltivata. Ad esempio, il Good Food Institute (GFI) e Kerafast (Boston, Massachusetts) stanno collaborando per mantenere una banca di linee cellulari terrestri e acquatiche destinate alla ricerca sulla CM; tuttavia, il numero di linee utili rimane ancora ridotto (Kerafast Blog, 2023).

Metodi per immortalizzare le cellule destinate alla carne coltivata

Attualmente esistono tre metodi principali per ottenere linee cellulari immortalizzate:

1. Immortalizzazione spontanea
2. Attivazione della subunità catalitica della telomerasi (TERT)
3. Stimolazione tramite geni virali che inattivano la via p53/p14/Rb

Ogni tecnica utilizza l'espressione della telomerasi, l'inattivazione/superamento del ciclo cellulare, o entrambi (Harada et al., 2003; Maqsood et al., 2013).

L'immortalizzazione spontanea è rara nelle cellule dei mammiferi e tipicamente associata alla trasformazione maligna. È stata comunque il primo metodo utilizzato negli anni Quaranta per generare linee cellulari, come le prime linee ottenute da fibroblasti murini e la celebre linea HeLa, isolata da cellule di carcinoma cervicale di Henrietta Lacks. L'immortalizzazione può anche essere indotta tramite mutagenesi da radiazioni o cancerogeni chimici (Jedrzejczak-Silicka, 2017; Yao e Asayama, 2017). Un'altra strategia consiste nell'identificare, tramite passaggi seriali, cloni che mostrano marcatori di immortalizzazione, elevata espressione di TERT o bassa espressione di p15/p16/Rb.

Differenziamento nel contesto della carne coltivata

Il differenziamento delle cellule muscolari avviene in vivo quando le cellule satelliti muscolari passano da uno stato quiescente a uno stato proliferativo, dando origine ai mioblasti (Chal, 2017). La moltiplicazione dei mioblasti produce quantità sufficienti di cellule per la rigenerazione muscolare, mentre una parte di esse ritorna allo stato quiescente. Poiché nei sistemi in vitro proliferazione e differenziazione sono processi incompatibili, le cellule vengono solitamente prima espanse e poi indotte a differenziarsi.

Il differenziamento viene spesso ottenuto eliminando fattori di crescita oppure introducendo proteine che lo stimolano. Ad esempio, la rimozione del siero dal terreno di coltura stimola la differenziazione in vitro delle cellule staminali muscolari, mentre ulteriori fasi di maturazione possono essere indotte tramite stimolazione meccanica ed elettrica.

I materiali di supporto (scaffold) svolgono un ruolo cruciale nella propagazione e nella differenziazione cellulare attraverso la stimolazione meccanica; il loro impiego riproduce le interazioni cellula–matrice extracellulare tipiche dell'ambiente in vivo, principalmente tramite l'attivazione dei recettori integrinici.

Oltre alla stimolazione meccanica, la stimolazione elettrica può essere utilizzata per promuovere proliferazione e differenziamento cellulare. La combinazione di stimoli elettrici e meccanici aumenta le prime fasi della proliferazione cellulare anche in assenza di uno scaffold. Gli effetti della stimolazione elettrica sui mioblasti di ratto L6 sono stati dimostrati utilizzando un dispositivo commerciale per la stimolazione di colture cellulari (Je et al., 2019). La stimolazione elettrica regola il differenziamento miogenico riducendo l'espressione delle piccole GTPasi (Schmidt et al., 2019).

Nella produzione di carne coltivata, è probabile che le cellule muscolari vengano differenziate mediante il metodo più semplice possibile, al fine di riprodurre la texture e il valore nutrizionale della carne di origine animale.

Il tessuto adiposo è responsabile della regolazione e dell'omeostasi del metabolismo energetico. È costituito principalmente da adipociti circondati da fibroblasti, cellule fibroblastiche–preadipocitarie, cellule endoteliali, cellule nervose e cellule immunitarie. Per la produzione di carne coltivata, un differenziamento efficace degli adipociti (ovvero l'accumulo lipidico) è essenziale.

Nonostante le funzioni e i meccanismi molecolari dell'adipocita siano relativamente ben compresi, sono necessarie ulteriori ricerche per sviluppare: • linee cellulari adipogeniche

staminali/progenitrici espandibili da specie animali da carne, • condizioni di coltura food-grade per adipociti maturi, protocolli scalabili per produrre tessuto adiposo commestibile.

Sono stati sviluppati diversi approcci per distinguere i preadipociti dalle cellule capaci di accumulare goccioline lipidiche e mostrare le caratteristiche morfologiche e biochimiche degli adipociti bianchi maturi (Niemelä et al., 2008). Sono state inoltre messe a punto strategie di differenziamento sia per linee cellulari preadipose sia per colture primarie di precursori adiposi, e la loro risposta agli stimoli differenzianti può variare notevolmente.

In presenza di siero fetale bovino, i preadipociti possono differenziare spontaneamente in gruppi di cellule adipose. La quantità di lipidi prodotta può essere modulata in maniera dose-dipendente regolando la concentrazione di siero nel terreno di crescita.

Sostanze induttrici come: • desametasone (attiva il recettore dei glucocorticoidi). • IBMX o MIX (stimola la via cAMP–protein chinasi)

possono potenziare il differenziamento (Yu et al., 2011). Inoltre, elevate concentrazioni di insulina vengono spesso combinate con questi induttori.

È stato dimostrato che le vie di segnalazione insulinica/IGF-1, glucocorticoidi e campi elettrici partecipano al processo di differenziamento adipocitario (Zagury et al., 2022).

➤ TERRENI DI COLTURA PER LA CARNE COLTIVATA

Sviluppare e mantenere simultaneamente cellule satelliti muscolari (o, più in generale, cellule progenitrici muscolari – MPC), mioblasti, miociti (noti anche come miotubi o miofibre), cellule staminali derivate dal tessuto adiposo (ADSC), adipociti e fibroblasti rappresenta una sfida tecnica ancora non risolta nella produzione di carne coltivata (O'Neill et al., 2021).

La proliferazione e il mantenimento delle cellule dipendono da una varietà di componenti, come ormoni e fattori di crescita. Questi segnali, prodotti in vivo dalle ghiandole endocrine, si legano a specifici recettori sulla membrana cellulare o nel citoplasma, attivando le vie che regolano divisione e proliferazione cellulare. I terreni di coltura contengono tutti i componenti necessari alla sopravvivenza cellulare e alla stimolazione di risposte quali adesione, proliferazione e differenziamento.

In generale, i terreni basali contengono fonti di carbonio e azoto come glucosio, glutammina e altri amminoacidi; vitamine e sali inorganici; e molecole di segnalazione come i fattori di crescita. Le formule dei terreni variano in base all'applicazione. Oggi molti terreni basali commerciali contengono la maggior parte — ma non tutti — degli ingredienti necessari alla crescita cellulare (glucosio, amminoacidi, vitamine).

Tradizionalmente, i terreni basali vengono integrati con componenti complessi di origine animale, in particolare il siero, che fornisce nutrienti e molecole segnale addizionali (Yao e Asayama, 2017).

Esempi includono:

- Eagle MEM (1959)
- DMEM (Dulbecco & Freeman, 1959)
- Ham F-12 (1965)

Il siero è il fluido ottenuto dopo la coagulazione del sangue, ed è ricco di proteine, nutrienti, fattori di crescita e ormoni. Sebbene il siero sia stato storicamente utilizzato per la coltura delle cellule muscolari (Shahini et al., 2018), esso è incompatibile con la produzione di carne coltivata, poiché di origine animale. Per una produzione efficace di carne coltivata sono necessari terreni:

- food-grade
- economici

- rivi di componenti animali
- capaci di supportare proliferazione e differenziazione su larga scala
- con proprietà sensoriali accettabili (O'Neill et al., 2021)

Di recente sono stati sviluppati terreni privi di siero, addizionati con fattori di crescita estratti dal siero animale o prodotti per via ricombinante (Shiozuka e Kimura, 2000). Formulazioni come Essential 8™ e Fibroblast Growth Medium™ sono già usate nella ricerca e si sono dimostrate efficaci nel sostenere la proliferazione di mioblasti bovini per almeno sei giorni (Kolkman et al., 2020; Stout et al., 2022).

Componenti fondamentali del terreno: ormoni e fattori di crescita

Molti ingredienti — in particolare ormoni e fattori di crescita — sono essenziali per la proliferazione e il mantenimento cellulare. In vivo, questi segnali si legano ai recettori cellulari attivando le vie legate alla proliferazione e differenziamento.

- Insulina e IGF possono promuovere il differenziamento di cellule staminali pluripotenti o derivate dal tessuto adiposo in adipociti, utile per applicazioni nella carne coltivata (Dohmen et al., 2022).
 - FGF2 è comunemente aggiunto ai terreni di proliferazione muscolare: stimola i mioblasti e ne sopprime il differenziamento (Groux-Muscatelli et al., 1990).
 - L'insulina favorisce lo sviluppo dei mioblasti in colture di ratto (Mandek & Pearson, 1974).
 - I glucocorticoidi modulano il catabolismo e influenzano la proliferazione. Il desametasone riduce il tempo di raddoppio dei mioblasti aumentando la loro capacità proliferativa (Guerriero & Florini, 1980).
 - Il desametasone stimola anche il differenziamento miogenico delle cellule satelliti, con maggiore formazione del sarcomero e migliore contrattilità dei miotubi (Syverud et al., 2016).
- Il cocktail adipogenico tradizionale include: insulina, desametasone, indometacina, IBMX, rosiglitazone (Song et al., 2023).

Studi recenti mostrano che rosiglitazone + insulina sono sufficienti per indurre adipogenesi in assenza di siero (Mitic et al., 2023).

Fattori come TGF-β, GDF e BMP sono essenziali per lo sviluppo dei tessuti. Nei mioblasti, TGF-β inibisce la formazione dei miotubi, ma la capacità differenziativa si ripristina dopo la sospensione del trattamento (Massagué et al., 1986).

Progettazione dei terreni per la carne coltivata

Per una produzione efficace occorre considerare:

- costi e disponibilità di terreni food-grade
- controllo di crescita e differenziazione su larga scala
- caratteristiche sensoriali finali
- assenza di componenti animali

Il terreno può influenzare le proprietà sensoriali della carne coltivata: residui del terreno nelle cellule possono modificare sapore, consistenza e colore. Ad esempio, amminoacidi come glutammato e asparagina, presenti in alcuni terreni, contribuiscono al gusto umami.

➤ STATO DELL'ARTE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE (UE ED EXTRA UE)

Attualmente, un numero crescente di aziende sta commercializzando e scalando la carne coltivata (almeno 70 nel 2021) (Post, 2012).

Per questi motivi, nel novembre 2022 la Food and Drug Administration (FDA) ha valutato la sicurezza del “materiale cellulare di Gallus gallus coltivato” fornito da UPSIDE Foods, giudicandolo sicuro e senza evidenze di rischi legati al processo produttivo (US FDA, 2022). Allo stesso modo, nel marzo 2023 la FDA ha valutato il materiale cellulare di Gallus gallus

coltivato prodotto da GOOD Meat, azienda che commercializza già carne coltivata a Singapore. Singapore è stato il primo Paese ad approvarne la produzione nel dicembre 2020, autorizzando i bocconcini di pollo coltivato prodotti dalla start-up statunitense Eat Just, composti al 70% da cellule coltivate e al 30% da componenti vegetali (US FDA, 2023; Singapore Food Agency, 2021; Failla et al., 2023).

➤ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Utilizzando tecniche di ingegneria tissutale, la carne coltivata in vitro consente la produzione di carne senza l'impiego di animali. La CM in vitro può risultare più vantaggiosa rispetto alla produzione tradizionale di carne in termini di costi, salute, benessere animale e impatto ambientale (Bhat et al., 2017). Il 5 agosto 2013, a Londra, un hamburger di manzo coltivato in vitro è stato presentato al pubblico e assaggiato per la prima volta. Da allora, i media hanno descritto la carne coltivata come un nuovo approccio con enormi potenzialità (Schatzlein e Blaeser, 2022).

Anche gli insetti, come possibile fonte alternativa di proteine, entrano nel dibattito sulla nutrizione sostenibile. È stato possibile confrontare il profilo nutrizionale degli insetti commestibili con quello della carne di mammifero. Lo studio di Orkusz confronta il valore nutrizionale degli insetti con quello della carne da macellazione, evidenziando che entrambi sono ricchi di proteine, aminoacidi essenziali, acidi grassi insaturi, vitamine e minerali (Orkusz, 2021). Sebbene non si possa affermare in modo definitivo che gli insetti siano nutrizionalmente superiori alla carne, alcune specie presentano un contenuto energetico e di nutrienti specifici — come proteine e acidi grassi polinsaturi — superiore rispetto alla carne. Gli insetti possiedono anche livelli più elevati di alcuni minerali e vitamine e sono fonte di vitamina C e fibre, assenti nella carne. Queste caratteristiche rendono gli insetti una risorsa potenzialmente utile per la produzione di CM, capace di arricchire la dieta e migliorare la salute, contribuendo a combattere la malnutrizione globale.

Un vantaggio rilevante della CM è il maggiore controllo sul sapore, sulla composizione degli acidi grassi, sul contenuto di grasso e sul rapporto tra acidi grassi saturi e polinsaturi, modificando la composizione del terreno di coltura o co-coltivando diverse tipologie cellulari. La carne coltivata in vitro non richiede l'uccisione di animali, e sia la sofferenza sia il numero di animali impiegati nella produzione di carne potrebbero ridursi drasticamente; in teoria, l'intera fornitura di carne per il pianeta potrebbe provenire da una piccola fattoria che effettua occasionali biopsie (Bhat e Bhat, 2011). Dieci cellule staminali potrebbero generare 50.000 tonnellate di manzo se sottoposte a divisione e differenziazione continua per due mesi, sebbene in pratica sia necessario un notevole livello di ottimizzazione per raggiungere tale efficienza (Bhat e Fayaz, 2011).

Inoltre, rigorosi controlli di qualità — impossibili da implementare negli allevamenti, nei macelli o negli stabilimenti di confezionamento di carne — potrebbero ridurre significativamente la contaminazione della carne e l'incidenza di zoonosi nelle strutture dedicate alla CM. L'esposizione tradizionale della carne a pesticidi, arsenico, diossine e ormoni dovrebbe essere significativamente ridotta (Wigglesworth, 1967).

La coltivazione in vitro consente una produzione più rapida rispetto all'allevamento convenzionale, concentrandosi sulle componenti chiave della carne, come il muscolo, evitando la formazione di tessuti non necessari (ossa, organi respiratori e digestivi, cute, sistema nervoso). Nella produzione tradizionale, gran parte del cibo consumato dagli animali non si trasforma efficacemente in carne a causa del metabolismo e della formazione di parti non

edibili. Al contrario, la carne coltivata richiede solo poche settimane, invece di mesi (pollame) o anni (maiali e bovini).

Inoltre, produrre carne in vitro da cellule di insetto offre ulteriori vantaggi ambientali rispetto all'impiego di cellule di mammifero. La CM in vitro ridurrà significativamente anche il fabbisogno di terra. L'impronta di carbonio dei prodotti carnei dovrebbe diminuire grazie alla produzione in vitro, con una riduzione fino al 90% delle emissioni di gas serra e fino all'80% dell'uso di acqua e suolo destinati all'allevamento, anche se sono necessari ulteriori studi per confermare queste stime su larga scala (Fox, 2009). La riduzione del consumo di suolo libererà spazio per usi alternativi come la riforestazione, favorendo la salvaguardia di specie minacciate. Le comunità scientifiche, ambientaliste e attive per i diritti degli animali supportano la carne coltivata come metodo più sostenibile, con minori impatti sulla salute umana. Coltivando cellule provenienti da animali rari o in via di estinzione, o persino da campioni di specie estinte, sarà possibile creare nuovi tipi di prodotti carnei per i mercati futuri, consentendone il consumo senza influenzare le popolazioni esistenti.

In molti contesti, come missioni spaziali, basi polari, accampamenti militari in aree remote o bunker destinati alla sopravvivenza post-attacco nucleare o biologico, può risultare più efficace produrre cibo in loco. La carne coltivata rappresenta una possibile soluzione. L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta esplorando modalità per utilizzare l'agricoltura cellulare nelle missioni spaziali di lunga durata. Questo permetterebbe di ridurre il trasporto di cibo deperibile, offrire una fonte alternativa di nutrienti e garantire cibo fresco. Un sistema così innovativo dovrebbe integrarsi in un circuito chiuso, in cui le risorse — in particolare il terreno di coltura — possano essere riciclate o rigenerate, riducendo la dipendenza dai rifornimenti terrestri (ESA, 2022).

La produzione di carne coltivata ha molti sostenitori ma solleva anche preoccupazioni. La percezione di "innaturalità" rappresenta un ostacolo all'adozione da parte del pubblico, soprattutto in Europa (Hopkins e Dacey, 2008). I nuovi alimenti sono considerati essenziali nella transizione verso sistemi alimentari sostenibili, ma la loro effettiva integrazione nelle diete pubbliche ne determinerà il successo.

Governi e agenzie regolatorie stanno iniziando a sviluppare quadri normativi per la produzione e distribuzione della CM. Linee guida chiare possono accrescere la fiducia dei consumatori. Secondo la letteratura, i principali ostacoli all'adozione della carne coltivata includono fattori contestuali come il prezzo, emozioni come paura e disgusto, e problemi cognitivi come la scarsa familiarità (Grasso et al., 2019; Dupon e Fiebelkorn, 2020; Valente et al., 2019).

Per rispondere a queste criticità, sono state proposte diverse strategie per aumentare l'accettazione dei consumatori, tra cui: informare meglio sul processo produttivo e sui vantaggi della CM, favorire la produzione su larga scala per abbassare il prezzo — elemento chiave per l'accettazione (Humbird, 2021; Arango et al., 2023; Monaco et al., 2024). Collaborazioni con influencer e campagne educative potranno facilitare l'integrazione della carne coltivata tra le scelte comuni di chi ricerca cibi etici, sostenibili e salutari.

➤ STATO DELL'ARTE DELLA PRODUZIONE PILOTA (UE ED EXTRA UE)

Il primo brevetto sulla carne colturale è stato depositato dal Willem Van Eelen negli anni '90, e 30 anni dopo, più di 200 innovazioni sono state protette (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-55968-6_19), principalmente provenienti dalla Cina. In parallelo, il primo burger proof of concept del 2013 ha dato origine a una lunga serie di altri prototipi, che vanno dal filetto di salmone (Wildtype - <https://www.wildtypefoods.com/our-salmon>) al foie gras (Vow <https://www.forgedbyvow.com/flavours/forged-gras.e> Gourmay/Parima <https://gourmey.com/#mission>) fino alla bistecca stampata (Aleph Farms -<https://aleph-farms.com/journals/bioprinting-steaks-academic-paper/>). Allo stesso modo, anche le start-up si sono evolute negli ultimi dieci anni: le prime operavano lungo l'intera filiera e costituiscono tuttora la parte più numerosa del settore (circa un terzo del totale - <https://gfi.org/resource/alternative-protein-company-database/>), mentre le start-up più recenti e le multinazionali possono oggi essere suddivise in quattro categorie, di seguito elencate in ordine di numero di aziende rappresentative nel loro settore. Multus media, Extracellular e Qkine sono esempi di sviluppatori di ingredienti o formulazioni per il liquido di coltura (tecnicamente chiamato medium), mentre aziende multinazionali e strutturate come Nutreco e Merck sono attualmente in grado di fornire ingenti quantità di materia prima (zuccheri, aminoacidi, vitamine, lipidi) alle imprese che stanno approcciando la scala industriale. Sartorius, GEA e Solaris offrono soluzioni per bioreattori e progettazione di impianti produttivi su varie scale, dai 2 fino a migliaia di litri, sfruttando principalmente la loro esperienza maturata nei settori farmaceutico e alimentare, esistono anche start-up come Gelatex e Sallee che realizzano scaffold utilizzando ingredienti di origine vegetale. In ultimo, aziende come Roslin Technologies, Dragon Bio e Quest si sono specializzate nell'isolamento e ottimizzazione delle cellule sia di diversi tipi (cellule primarie, pluripotenti, o geneticamente modificate) che di diverse specie (mammiferi, avicoli e pesci). Esistono poi aziende e progetti difficilmente categorizzabili sotto un'unica etichetta. Esempi quali Respect Farms, che mira a costruire un sistema di produzione di carne colturale a portata degli allevatori, oppure diversi Contract Research Organization (CRO) che sviluppano tecnologia su misura per conto terzi, e ancora diversi altri progetti che mirano a integrare intelligenza artificiale e carne colturale. Tutto questo ecosistema ha facilitato poi la costruzione di almeno due centri di sviluppo in Europa, The Cultured Hub a Zurigo (<https://www.theculturedhub.com/>) e il Cultivate at Scale (CaS, <https://www.cultivateatscale.com/>) a Maastricht. Entrambe le strutture sono accessibili alle aziende che vogliono dimostrare la loro tecnologia su scala pilota, e dunque sono affittabili non solo le strumentazioni con bioreattori fino a diverse centinaia di litri, ma anche i team di lavoro, che negli anni hanno maturato competenze e conoscenze cruciali per accelerare lo sviluppo del processo produttivo. Altri centri di ricerca hanno aperto anche in altri Paesi. Negli USA, nel 2021 la USDA aveva stanziato 10 mln USD per aprire il Tufts University Center for Cellular Agriculture (TUCCA) (<https://cellularagriculture.tufts.edu/>) a Boston. La multinazionale della carne JBS ha annunciato nel 2023 l'investimento di 62 mln USD (<https://www.cell.ag/blog/september-2023-month-in-review>) per aprire il JBS Biotech Innovation Centre in Brasile. Ancora, nella Corea del Sud il Food Tech Research Support Center aprirà nel 2027 a seguito dei 10 mln USD di finanziamenti governativi (<https://www.greenqueen.com.hk/south-korea-cell-culture-food-tech-research-center-lab-grown-meat-uisong/>). Nondimeno, in Cina è stata stanziata una cifra simile per aprire il

Protein Food Science and Technology Innovation Base a Pechino (<https://www.greenqueen.com.hk/china-lab-grown-meat-sustainable-food-protein-centre-technology/>).

Per il progresso tecnologico sta risultando dunque fondamentale il passaggio da investimenti di tipo privato, che inizialmente hanno alimentato diverse start-up pioneristiche, a investimenti di tipo pubblico. In Europa è stato così finanziato il progetto FEASTS, appartenente alle misure Horizon Europe, che con un finanziamento di 7 milioni EUR a 35 partner mira a capire in modo trasparente lo stato dell'arte e avanzare la ricerca in ambito tecnologico, economico, sociale ed etico, con un particolare focus al contesto europeo (www.feasts-innovation.eu). All'interno dell'UE, i Paesi Bassi hanno finanziato un progetto da 60 milioni EUR per lo sviluppo dell'ecosistema olandese. I nostri vicini inglesi hanno finanziato un progetto di 7 anni da quasi 14 milioni EUR per fini analoghi (CARMA project, <https://www.greenqueen.com.hk/u-k-research-hub-cultivated-meat-precision-fermentation/>).

Ma in quale direzione sta andando questa tecnologia? Un recente report di un'agenzia indipendente

(https://www.adlittle.com/sites/default/files/viewpoints/ADL%20Cultivated%20meat%202025_0.pdf)

ipotizza che per abbassare drasticamente i costi di produzione sia opportuno evitare di differenziare le cellule, ottimizzare il liquido di coltura, adattare le cellule a crescere in sospensione ed infine rendere il processo continuo. Alcune aziende stanno già implementando tali strategie, altre stanno sviluppando tecnologie per risolvere diversamente i problemi tecnici.

Indipendentemente dall'approccio, lo scale-up è una sfida attuale per molte aziende, complicata generalmente dalle ingenti quantità di investimenti necessari per sostenere le spese delle infrastrutture (CapEx), i lunghi tempi per un potenziale ritorno dell'investimento (Return Of Investment o ROI) e le incertezze talvolta ancora legate alla regolamentazione e all'accettazione dei consumatori. La presenza di centri di sviluppo sicuramente riduce il rischio d'impresa per quanto riguarda il capitale necessario, ma i costi rimangono ancora considerevoli.

➤ STATO DELL'ARTE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE (UE ED EXTRA UE)

La produzione globale di carne coltivata si aggira probabilmente su 500 tonnellate, prodotte principalmente all'interno di impianti pilota in aziende che hanno ricevuto l'approvazione al commercio in determinati Paesi (vedi Figura 1).

Figura 1. Stima della produzione globale di carne colturale basata sulle autorizzazioni al commercio. Analisi del Good Food Institute (2025), presa dal profilo LinkedIn di Elliot Swartz. Al momento è noto solo un impianto probabilmente su scala industriale, realizzato da Believer Meats in North Carolina (USA) per 123 milioni USD (<https://www.greenqueen.com.hk/believer-meats-lab-grown-cultivated-chicken-fda-approval-factory/>). Scienziati dell'azienda hanno precedentemente pubblicato due articoli che illustrano una parte della loro tecnologia (<https://www.nature.com/articles/s43016-022-00658-w> e <https://www.nature.com/articles/s43016-024-01022-w>), ipotizzando di produrre un prodotto "blended" al 50%, cioè mescolato a ingredienti vegetali, per un volume di circa 2000 tonnellate per anno a un costo di circa 6 USD/lb (equivalenti a circa 12 EUR/kg). L'azienda ha anche recentemente ottenuto l'approvazione al commercio in USA, rimane ora da verificare se le stime di produzione saranno soddisfatte.

Altre aziende in passato hanno pubblicizzato la costruzione di facility pre-industriali, come UPSIDE Foods (costato 140 mln USD in Illinois e potrebbe produrre circa 200 tonnellate

all'anno, <https://www.cell.ag/blog/september-2023-month-in-review> e <https://www.greenqueen.com.hk/upsides-foods-cultivated-meat-facility/>), Wildtype (San Francisco, con potenziale di produzione di circa 100 tonnellate/anno <https://www.wildtypefoods.com/news/blog/worlds-first-cultivated-seafood-pilot-plant>) e Vow (Australia, 30 tonnellate/anno, <https://www.greenqueen.com.hk/vow-cultivated-meat-factory-regulatory-approval/>). Altre aziende ancora a diversi livelli della filiera hanno sviluppato strutture analoghe per la produzione del liquido di coltura (Multus media in UK, Nutreco nei Paesi Bassi) e di biomassa (BLUU Seafood in Germania, Cell AgriTech e Umami Bioworks in Malesia) (<https://gfi.org/wp-content/uploads/2025/04/2024-State-of-the-Industry-Cultivated-meat-seafood-and-ingredients-GFI.pdf>).

Negli anni le aziende del settore si sono anche unite per formare diverse associazioni di settore, divise per geografia. In Europa abbiamo Cellular Agriculture Europe, negli USA c'è AMPS e in Giappone c'è JACA. Oltre a queste si collegano altre organizzazioni senza scopo di lucro attive in diversi Paesi, quali il Good Food Institute (GFI) e New Harvest, le quali promuovono sia la ricerca che la comunicazione sulla carne colturale.

L'ambito della carne colturale ha affrontato e superato molte sfide negli anni, ma rimane un settore emergente che si sta via via strutturando dall'interno e, cosa più importante, ha iniziato la discussione su standard industriali condivisi. Un'analisi di GFI-Systemiq (<https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2024/10/EU-Cultivated-Meat-Opportunity.pdf>) stima che i prodotti di carne colturale possano arrivare a rappresentare un mercato del valore di 170-510 miliardi di EUR entro il 2050, in cui il mercato interno europeo potrebbe valere 9-38 miliardi di EUR, mentre l'export potrebbe arrivare a 5-40 miliardi EUR. Queste proiezioni si basano su una serie di presupposti, più o meno attuabili, e devono pertanto essere lette con cautela. Tuttavia, contribuiscono a delineare in modo significativo le possibili traiettorie dell'industria della carne colturale.

➤ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Segmentazione start-up

- Prodotto finale (prime aziende, seconda ondata, prodotti sul mercato blended e pet-food)
- Medium di coltura (Multus, Qkine)
- Bioreattori e bioprocesso (Chain reactor, Cellex, ..., tendenzialmente sia per pharma che per CM)
- Scaffolding (sia per pharma che per CM)
- Linee cellulari (primarie Quest, iPSC Roslin, immortalizzate Dragon, repositories come ATCC e ECACC,)
- Altro
 - Respect Farms → modello di produzione decentralizzato
 - Integrazione con AI → sia in ricerca (progetto Flack-Bezos e Multus) sia in produzione (aziende Asia)
 - CRO (The Cultivated Hub, Accegen, ...)
- Evoluzione tecnologica (report Dolittle)
- Analisi Brevetti
- Associazioni lobby (Cell Ag EU, AMPS, JACA, ...) e NGO (NH, GFI, ProVeg, associazioni Cell Ag)

Finanziamenti privati e pubblici e centri di ricerca

- > 5 mld investimenti globali (non molti, specialmente se in relazione a AI Act)

- Multinazionali della carne (Tyson, Cargill, JBS)
- Multinazionali del cibo (Nestlé, Unilever, Nutreco,
- Multinazionali biotech (Merck, altre pharma anonime)
- VC-UHNWI
- Finanziamenti pubblici (FEASTS)
- Centri di ricerca specializzati (TUCCA, South Korea, Tyson in Brasile, Bezos Earth Fund)
- Scale-up hubs (Svizzera, Maastricht)

PROF. GIUSEPPE PULINA

➤ LETTERATURA AGGIORNATA

Negli ultimi due anni la produzione scientifica sul tema è aumentata, ma resta concentrata su studi teorici, di laboratorio o su scala pilota.

Sul piano ambientale, le nuove analisi del ciclo di vita (LCA) mostrano risultati molto divergenti a seconda degli assunti tecnologici. Uno studio di Risner et al. (2025, Environmental Science & Technology) ha incluso per la prima volta la fase di purificazione delle endotossine, necessaria per l'uso di mezzi di coltura derivati da batteri. Questa fase è estremamente energivora e porta le emissioni complessive fino a superare quelle della carne bovina convenzionale, in contrasto con i modelli ottimistici proposti nel decennio precedente.

Sul piano sanitario e di sicurezza alimentare, la rassegna di Chriki et al. (NPJ Science of Food, 2025) e i documenti dell'European Food Safety Authority (EFSA, 2024) convergono nell'evidenziare una scarsità di dati indipendenti su stabilità genetica delle linee cellulari, residui chimici dei mezzi di crescita, allergenicità e rischio microbiologico. EFSA ha pubblicato nel 2024 linee guida specifiche per i novel foods di origine cellulare, ma sottolinea che la valutazione deve essere caso per caso e basata su dossier completi che ad oggi non risultano ancora sottomessi.

Dal punto di vista etico e socio-economico, gli articoli di Bryant (2024, Frontiers in Sustainable Food Systems) e Dilworth & McGregor (2024, Food Ethics) confermano che la percezione pubblica di naturalità e sicurezza rimane fortemente divisiva, e che l'accettabilità dipende dal grado di trasparenza industriale e dalla comunicazione del rischio.

A integrazione, ho consultato anche il volume Springer (2024) Cultivated Meat: Technologies, Commercialization and Challenges (eds. C.R. Soccol et al., che allego alla biblio di questa risposta), che offre un quadro tecnico approfondito (bioprocessi, qualità/rischi, regolazione). Il taglio è accademico; segnala svantaggi (scaling, costi, fouling dei bioreattori, limiti del single-use) e capitoli specifici sul regolatorio. Non ho riscontrato un taglio di parte evidente, pur avendo valutato passaggi forse eccessivamente ottimistici in alcuni contributi

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE NEGLI STATI UE

La normativa europea è chiara: gli alimenti ottenuti da colture cellulari animali ricadono sotto il Regolamento (UE) 2015/2283 sui Novel Foods, che prevede un'autorizzazione centralizzata previa valutazione EFSA. Ad oggi, nessun prodotto a base di carne artificiale è stato autorizzato nel mercato europeo (fonte: Commissione Europea, DG SANTE, ottobre 2025).

In Italia, la Legge n. 172 del 2023 vieta produzione, commercializzazione e promozione di alimenti e mangimi costituiti, isolati o prodotti da colture cellulari animali. La norma, in vigore dal 1° dicembre 2023, si applica anche ai prodotti importati, salvo disposizioni europee future.

Nei Paesi Bassi, invece, il governo ha approvato nel 2023 un Code of Practice che consente degustazioni controllate di prodotti cellulari in ambienti chiusi e sotto autorizzazione del Ministero

della Salute, senza vendita al pubblico (Mosa Meat e Meatable sono i primi due casi autorizzati nel 2024).

La Francia discute proposte legislative di divieto analoghe a quelle italiane, ma non ha ancora approvato un testo definitivo.

➤ LEGISLAZIONE VIGENTE EXTRA UE

Il panorama, per quanto mi è stato possibile controllare, è estremamente frammentato.

a) Negli Stati Uniti il sistema regolatorio è condiviso tra FDA e USDA. Dal 2023 sono state rilasciate le prime approvazioni caso per caso per prodotti di Upside Foods e Good Meat, destinati alla ristorazione. Tuttavia, dal 2024 diversi Stati (Florida, Alabama, Missouri) hanno introdotto divieti locali di produzione e vendita, motivati con la tutela delle produzioni zootecniche e della sicurezza dei consumatori.

b) Singapore resta il primo Paese al mondo ad aver autorizzato la vendita di carne artificiale (2020, Singapore Food Agency). Nel 2025 ha esteso le autorizzazioni ad alcuni prodotti di pet food derivati da colture cellulari.

c) In Israele, nel gennaio 2024, il Ministry of Health ha approvato il primo prodotto di carne bovina artificiale (Aleph Farms), segnando la prima autorizzazione al mondo per carne rossa coltivata.

d) In Australia e Nuova Zelanda, nel 2025, la Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) ha approvato un prodotto a base di cellule di quaglia sviluppato dall'azienda Vow, destinato inizialmente alla ristorazione.

Questi casi mostrano un'attenzione crescente ma prudente: le autorizzazioni sono limitate, non generalizzabili e sempre subordinate a controlli stringenti

➤ STATO DELL'ARTE DELLA RICERCA (UE ED EXTRA UE)

Nel mondo accademico la ricerca rimane fortemente pre-competitiva. Le linee di indagine si concentrano su sostituzione del siero fetale bovino con mezzi di crescita sintetici o vegetali, riduzione dei costi dei bioreattori e aumento della stabilità delle linee cellulari e ottimizzazione energetica dei processi di purificazione.

In Europa, le principali iniziative di ricerca sono concentrate nei Paesi Bassi, in Germania e in Spagna, finanziate in parte da programmi Horizon Europe dedicati all'innovazione agroalimentare. Negli Stati Uniti, Israele e Singapore si sono attivati anche impianti pilota ma nessuno ha raggiunto una scala industriale. Le stime più accreditate (Good Food Institute, 2025) collocano la produzione globale sotto le 100 tonnellate annue complessive, equivalenti a una singola giornata di produzione di un grande impianto zootecnico convenzionale.

➤ STATO DELL'ARTE DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE (UE ED EXTRAUE)

Negli Stati Uniti, Israele e Singapore si sono attivati anche impianti pilota ma nessuno ha raggiunto una scala industriale.

➤ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce delle evidenze scientifiche e normative più recenti, ritengo che l'approccio europeo di prudenza sia pienamente giustificato.

L'assenza di dati consolidati su sicurezza, sostenibilità energetica e accettabilità sociale non consente di considerare la carne artificiale una soluzione matura per la transizione ecologica.

Il principio di precauzione, previsto dall'articolo 191 del TFUE, trova quindi applicazione piena: innovazione sì, ma solo quando la base scientifica consenta una valutazione del rischio fondata e riproducibile. Infatti, non è possibile considerare la carne artificiale come una risposta dimostrata e consolidata alle sfide ambientali, sanitarie e produttive dei sistemi agroalimentari. La sua sostenibilità non risulta oggi provata né sul piano ambientale, né su quello sanitario, né su quello sistemico e culturale. Gran parte delle valutazioni favorevoli si basa su analisi ex-ante, su assunzioni tecnologiche non validate su scala industriale e su scenari energetici ideali che non riflettono le condizioni reali di produzione.

Sul piano ambientale, è necessario evitare semplificazioni concettuali, in particolare nell'uso di indicatori quali il land use. La riduzione dell'uso del suolo non può essere valutata in modo indifferenziato, senza distinguere tra suolo agricolo, pascoli, superfici marginali ed ecosistemi complessi. I pascoli non rappresentano semplicemente superfici sottratte ad altri usi produttivi, ma costituiscono, in molti contesti, componenti funzionali di sistemi agro-ecologici con ruoli ambientali, ecologici e culturali rilevanti. Assimilarli implicitamente a superfici industriali o energetiche rischia di produrre una rappresentazione fuorviante, soprattutto in un contesto di riflessione che riguarda l'agricoltura.

Analogamente, sul piano sanitario, non esistono attualmente dati relativi a consumi ripetuti e di lungo periodo di carne artificiale in popolazioni esposte. Si tratta di un novel food che, per natura del processo produttivo e per composizione, si configura come alimento industriale fortemente processato, con un profilo di esposizione cronica ancora interamente da valutare. In assenza di evidenze epidemiologiche e tossicologiche consolidate, la sicurezza non può essere considerata una proprietà intrinseca del processo tecnologico, ma rimane un'ipotesi da verificare. In questo quadro, il principio di precauzione non rappresenta una posizione ideologica, bensì una conseguenza logica dell'attuale incertezza scientifica. Un ulteriore aspetto centrale riguarda la dimensione valoriale e culturale della produzione alimentare, che non può essere ridotta a una mera questione tecnologica o industriale. Agricoltura e allevamento non sono soltanto sistemi produttivi, ma elementi strutturali di equilibri ecosistemici, sociali e culturali all'interno dei quali le società umane si sono sviluppate. Uno spostamento progressivo della produzione di cibo dai campi alle fabbriche comporterebbe implicazioni sistemiche profonde, che non possono essere valutate esclusivamente attraverso metriche energetiche, economiche o di efficienza di processo. La rapidità dello sviluppo tecnologico e la concentrazione degli investimenti industriali non costituiscono, di per sé, criteri di sostenibilità agricola.

In questo contesto, risulta inoltre centrale la questione della denominazione. L'espressione "carne coltivata" appare semanticamente ambigua, poiché il verbo "coltivare" richiama pratiche agricole e processi biologici naturali, con il rischio di indurre una percezione non corretta del prodotto. I prodotti ottenuti mediante colture cellulari derivano invece da processi tecnologici complessi, realizzati in bioreattori e basati sull'impiego di media di coltura, fattori di crescita e protocolli di ingegneria cellulare. In coerenza con il principio di non ingannevolezza sancito dal Regolamento (UE) 1169/2011, la denominazione "carne artificiale" risulta più appropriata, in quanto descrive in modo più fedele la natura del processo produttivo, senza attribuire al prodotto caratteristiche di naturalità o continuità biologica con l'animale intero. Eventuali alternative tecniche, quali "alimenti da coltura cellulare", possono essere corrette dal punto di vista formale, ma risultano meno trasparenti e meno immediatamente comprensibili nel contesto della comunicazione alimentare.

Nel complesso, il rischio principale è che alcune premesse interpretative conducano implicitamente a rendere la carne artificiale "accettabile" prima ancora di aver dimostrato che lo sia effettivamente, sul piano ambientale, sanitario e culturale. Il compito di un'Accademia che si occupa di agricoltura dovrebbe invece essere quello di mantenere aperte queste questioni, distinguendo con rigore ciò che

è documentato da ciò che rimane nel dominio delle promesse tecnologiche e industriali, e collocando l'innovazione all'interno di una valutazione sistemica più ampia del futuro dei sistemi agroalimentari."