

Giornata di studio:

Quale futuro per le vertical farms

30 maggio 2024
Sezione Centro-Ovest

Relatori

Giorgio Prosdocimi Gianquinto, Luca Incrocci, Aldo Bischi e Andrea Baccioli, Cecilia Stanghellini, Gianluca Brunori, Benjamin Franchetti

Sintesi

Negli ultimi anni, complice l'effetto dei cambiamenti climatici e la crescente richiesta di cibi freschi a chilometro zero e pesticide-free, si è assistito a un forte incremento degli investimenti nel settore delle vertical farms. Negli ultimi cinque anni gli investimenti mondiali nel *Novel farming* sono passati, secondo AgFunder, da poco meno di 1 miliardo a circa 2,85 miliardi di dollari. Tuttavia, recentemente alcune importanti *vertical farms* hanno dichiarato bancarotta e molte altre hanno un bilancio in rosso, soprattutto a causa del rialzo dei costi energetici. I segnali che arrivano dal mondo del *vertical farming* sono pertanto contrastanti e non è chiaro se siamo di fronte a una bolla speculativa (a rischio di esplosione) oppure a una fase di consolidamento del settore, che inevitabilmente potrebbe portare alla chiusura delle aziende meno efficienti.

La giornata di studio, organizzata dalla Sezione Centro Ovest dell'Accademia dei Georgofili e dal Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-alimentare dell'Università di Pisa, ha voluto contribuire a fare chiarezza sulla sostenibilità ambientale ed economica delle *vertical farms*, attraverso gli interventi di alcuni importanti esperti del settore.

Dopo l'introduzione del vicepresidente dell'Accademia dei Georgofili, prof. Amedeo Alpi sulla finalità della giornata e il saluto del georgofilo prof. Alberto Pardossi che ha assunto anche il ruolo di moderatore della giornata, sono seguite le seguenti relazioni, di cui si riportano le sintesi.

GIORGIO PROSDOCIMI GIANQUINTO¹

Situazione attuale, prospettive future e linee di ricerca del settore vertical farming

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna

Le *vertical farms* (VF) si caratterizzano per l'allevamento di piante in ambienti chiusi, in assenza di radiazione solare e con controllo preciso dei parametri ambientali: il loro sviluppo è stato possibile grazie all'introduzione delle lampade LED e delle coltivazioni su livelli sovrapposti. I principali vantaggi sono le rese elevate e costanti tutto l'anno, il limitato o assente uso di prodotti fitosanitari, l'elevata efficienza nell'uso di nutrienti e dell'acqua, la possibilità di produrre indipendentemente dall'accesso alla luce solare o a suoli fertili, una logistica semplificata e una riduzione degli scarti. Tuttavia, il principale svantaggio è l'elevato costo iniziale di investimento e successivamente gli elevati costi di gestione, legati principalmente al costo dell'energia elettrica necessaria per l'illuminazione e il controllo climatico. Le VF sono diffuse principalmente nel Nord America e in Asia e secondariamente in Europa, mentre sono quasi inesistenti negli altri continenti. I prodotti principalmente coltivati sono gli ortaggi da foglia e i *microgreens*. Nel 2023 si sono avuti diversi fallimenti di VF, anche a causa dell'aumento del costo dell'energia elettrica in alcune parti del mondo e alla stesura di *business plan* non veritieri. Sempre nel 2023 ci sono stati anche la partenza di nuovi progetti di costruzione di VF, ed è importante che la ricerca fornisca dati scientifici certi su cui costruire *business plan* veritieri. Si può ipotizzare che mediamente una VF consumi fra 1100 e 1800 kWh m⁻² anno⁻¹, dei quali almeno il 50% è usato per l'illuminazione artificiale e il 40% per il condizionamento del clima, con una efficienza energetica di circa 12,6 kWh per kg di peso fresco. Le VF hanno una elevata efficienza nell'uso di acqua con riduzione fino a 3,6 e a 7 volte il valore registrato rispettivamente in serre ad alta o bassa tecnologia. Infine, per l'impatto ambientale, in particolare per l'emissione di CO₂ nell'ambiente, le VF hanno valori assai elevati, rispetto alle produzioni in serra o in pieno campo pari rispettivamente a 1.07, 0.85 e 0.38 kg di CO₂eq per kg di produzione fresca: tuttavia l'impatto della VF è paragonabile o inferiore a quello della serra se si risparmia almeno 850 km di trasporto. Concludendo, il costo energetico e l'impatto ambientale delle *vertical farms* è in funzione del costo dell'energia nel Paese e va valutato caso per caso: appare infine indispensabile il ruolo della ricerca per fornire dati scientificamente certi al fine di costruire veritieri business plan per ottimizzare i costi di produzione.

Vertical farms (VFs) are characterized by the cultivation of plants in closed environments, without sunlight, and with precise control of environmental parameters. Their development has been made possible by the introduction of LED lighting and multi-layer cultivation. The main advantages are high and consistent yields throughout the year, limited or no use of pesticides, high efficiency in nutrient and water use, the ability to produce independently from the availability of sunlight or fertile soil, simplified logistics, and reduced waste. However, the main disadvantage is the high initial investment cost and subsequent high management costs, mainly related to the cost of electricity needed for lighting and climate control. VFs are most common in North America and Asia, and secondarily in Europe, while they are almost non-existent on other continents. The main crops grown are leafy vegetables and microgreens. In 2023, several VFs failed, partly due to rising electricity costs in some parts of the world and unrealistic business plans. New VF construction projects also started in 2023, and research must provide reliable scientific data on which to build realistic business plans. It can be estimated that an average VF consumes between 1100 and 1800 kWh m⁻² year⁻¹, of which at least 50% is used for artificial lighting and 40% for air conditioning, with an energy efficiency of about 12.6 kWh per kg fresh weight. VFs have a high water use efficiency, up to 3.6 and 7 times lower than that of high-tech and low-tech greenhouses, respectively. Finally, in terms of environmental impact, especially CO₂ emissions, VFs have very high values compared to a greenhouse or open field production, respectively 1.07, 0.85, and 0.38 kg CO₂eq per kg fresh production. However, the impact of VF is comparable or lower than that of greenhouses if at least 850 km of crop transport is saved. In conclusion, the energy costs and environmental impacts of vertical farms depend on the energy costs in the country and must be evaluated on a case-by-case basis. Finally, research must provide scientifically reliable data to build realistic business plans and to optimize production costs.

LUCA INCROCCI¹

Metodologie per ottenere prodotti a maggiore valore nutraceutico dalle vertical farms

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

Le *vertical farms* (VF) permettono un totale controllo dei fattori produttivi, ma con costi di produzione assai più alti. Per questo è necessario che la produzione che si ottiene da questi sistemi abbia delle caratteristiche organolettiche e nutrizionali superiori, che le permettono di avere un prezzo di mercato maggiore. Ad esempio, la maggiore sicurezza del prodotto, il mancato uso di

fitofarmaci, l'eventuale maggiore efficienza nell'uso dell'acqua e dei nutrienti, il maggiore contenuto di sostanze nutraceutiche e la maggiore *shelf-life* del prodotto sono i principali fattori che ne possono aumentare il valore commerciali delle produzioni. In questa presentazione sono discussi alcune innovazioni di processo e di prodotto che possono aiutare a ottenere un prodotto con maggiori caratteristiche nutraceutiche. La prima innovazione presentata è il plasma freddo (*no-Thermal Plasma*, NTP), applicato alla soluzione nutritiva. Il NTP riproduce una scarica elettrica nell'aria in condizione di temperatura ambiente, producendo un'aria ionizzata contenente una serie di specie chimiche fortemente ossidanti come l'ozono, i protossidi di azoto che a loro volta possono creare dei danni ossidativi ai tessuti vegetali con cui entrano in contatto come ad esempio le radici. Esperimenti con l'uso del plasma freddo fatto gorgogliare nella soluzione nutritiva di un impianto aeroponico, per la coltivazione di lattughino da sfalcio, hanno dimostrato che a piccole dosi si induce un incremento della biomassa fino al 19% e un forte incremento del contenuto di fenoli, flavonoidi e capacità antiossidante dei tessuti vegetali. Altre tecniche che possono aumentare il valore delle produzioni sono la tecnica della biofortificazione con multielemento (iodio, selenio, zinco e rame per esempio) e l'eliminazione del nitrato dalla soluzione nutritiva negli ultimi giorni prima della raccolta, in modo da ridurre di oltre il 50% il contenuto di nitrati all'interno della pianta. Infine, la coltivazione di specie fitoalimurgiche come ad esempio il tarassaco, la pimpinella, la piantaggine e il terracrepolo, molto ricche di minerali, clorofilla e carotenoidi e altri composti antiossidanti, è un esempio di innovazione di prodotto che potrebbe aiutare la sostenibilità economica delle VF.

Vertical farms (VFs) allow complete control over the factors of production, but with significantly higher production costs. It is therefore essential that the products obtained from these systems have superior organoleptic and nutritional characteristics, so that they can command a higher market price. For example, increased product safety, the absence of phytosanitary products, potentially higher efficiency in the use of water and nutrients, higher nutraceutical content and longer shelf-life are the main factors that can increase the commercial value of the produce.

This presentation discusses some process and product innovations that can help to achieve vegetable production with enhanced nutraceutical characteristics. The first innovation presented is non-thermal plasma (NTP) applied to the nutrient solution. NTP mimics an electrical discharge in air at room temperature, producing ionized air containing a range of highly oxidizing chemical species, such as ozone and nitrogen oxides, which can cause oxidative damage to plant tissues they

meet, such as roots. Experiments using cold plasma bubbled into the nutrient solution of an aeroponic system have shown that small amounts can increase biomass by up to 19% and significantly increase the phenolic, flavonoid, and antioxidant capacity of plant tissues.

Other techniques that can increase the value of produce include multi-element biofortification (e.g. iodine, selenium, zinc, and copper) and the removal of nitrate from the nutrient solution in the final days before harvest, reducing nitrate levels in the plant by over 50%. Finally, the cultivation of wild edible plants such as dandelion, small burnet, Buckhorn plantain, and common bright-eyes, which are rich in minerals, chlorophyll, carotenoids, and other antioxidant compounds, is an example of product innovation that could improve the economic sustainability of VFs.

ALDO BISCHI¹; ANDREA BACCIOLI¹

Controllo del microclima nelle vertical farms: analisi del fabbisogno energetico

¹ Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di Pisa

Le *Vertical Farms* (VF) hanno bisogno di energia, sia per l'illuminazione artificiale che per il riscaldamento/raffreddamento necessari a mantenere la temperatura e l'umidità ottimali per la crescita delle colture. Un ridotto consumo di energia è fondamentale per la sostenibilità economica e ambientale delle VF, pertanto, serve modellarne accuratamente il fabbisogno energetico per una progettazione e gestione ottimali.

È stato sviluppato un modello dinamico della VF molto versatile che combina le caratteristiche topologiche (ad esempio la radiazione solare e l'umidità dell'aria), le caratteristiche termiche dell'edificio, il sistema di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria, i sistemi di conversione dell'energia e, infine, il modello di crescita della coltura. Tale modello di controllo climatico mira a massimizzare la produttività delle colture fornendo riscaldamento, raffreddamento, controllando l'umidità frutto della traspirazione delle piante e controllo della concentrazione di CO₂ per la concimazione carbonica, riducendo al minimo l'uso e i costi di energia primaria, fornendo come output il consumo di energia per l'illuminazione e la climatizzazione, le emissioni di CO₂ e l'energia primaria per kg di coltura, ad esempio la lattuga nel caso di test presentato.

Si possono quindi esplorare un'ampia gamma di sistemi di conversione dell'energia, che vanno dalle caldaie a gas o dalla cogenerazione di calore ed

elettricità, alle pompe di calore e agli impianti di refrigerazione elettrici, nonché alle più semplici resistenze elettriche o ai frigoriferi ad assorbimento alimentati dal calore di scarto. L'umidità può essere controllata o raffreddando l'aria fino al punto di rugiada o con l'utilizzo di materiali adsorbenti, che devono essere rigenerati tramite calore. Inoltre, si potrebbe esplorare l'adozione di fonti di energia rinnovabili. Ciononostante, solo una piccola parte del fabbisogno energetico potrebbe essere prodotta all'interno della struttura VF: ad esempio, il fotovoltaico è limitato dalla piccola disponibilità della superficie del tetto ed è volatile dipendendo delle condizioni atmosferiche, mentre il fabbisogno di biogas per alimentare la cogenerazione è molto più grande della quantità che potrebbe essere prodotta tramite digestione anaerobica o gassificazione degli scarti delle colture VF.

La conclusione è che una modellazione e un controllo efficienti del microclima sono vitali per le VF. Il modello dinamico fornisce informazioni sul consumo energetico, supportando i miglioramenti della sostenibilità e il processo decisionale.

Vertical Farms (VF) need energy, both electricity for artificial lighting and heating/cooling to maintain optimal temperature and humidity. Energy consumption is crucial for the economic and environmental sustainability of vertical farms; therefore, it is fundamental to accurately model the energy needs for optimal design and operation.

A versatile dynamic model of the VF has been developed: it combines topologic features (e.g. solar radiation and air humidity), building thermal characteristics, Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) system, energy conversion systems, and eventually the crop's growth model. Such climate control model aims to maximize crop productivity by providing heating, cooling, humidity control especially due to plant transpiration, and CO₂ concentration control for carbon fertilization, while minimizing primary energy use and costs, giving as output the energy consumption for lighting and climatization, the CO₂ emissions, and the primary energy per kg of the crop, e.g. lettuce in the presented test case.

A wide range of energy conversion systems could be explored, ranging from gas boilers or Combined Heat and Power (CHP), electrically driven heat pumps and chillers as well as simpler electric heaters or absorption chillers fed by waste heat. Humidity could be controlled both by cooling air or by using adsorbing materials, that need to be regenerated by heat. Furthermore, the adoption of renewable energy sources could be explored. Nevertheless, only a minor share could be produced within the VF structure: e.g. photovoltaic is constrained by the small roof surface availability and is volatile depending on weather, biogas needs to feed CHP are

much larger than the amount that could be produced digesting or gasifying the VF wastes.

The conclusion is that efficient climate modeling and control is vital for vertical farms. The dynamic model provides insights into energy consumption, supporting sustainability improvements and decision-making.

CECILIA STANGHELLINI¹

Il ciclo del carbonio e la sostenibilità ambientale delle vertical farms

¹ Wageningen University (NL)

Le *vertical farms* (VFs) permettono di coltivare tutto, ovunque e sempre. Tuttavia la produzione vegetale fatta senza luce solare presenta degli “inconvenienti” perché oltre al costo iniziale elevato, vi sono poi costi energetici di funzionamento assai alti: ad esempio, per la lattuga fatta in serra, nel bacino del Mediterraneo si può avere una produzione per metro quadrato pari a 37 kg di sostanza fresca con un consumo energetico pari a 109 kWh per il riscaldamento e un consumo di 4 kWh per l’energia elettrica, contro una produzione massima unitaria ottenibile nelle VFs di 91 kg con un consumo di 415 kWh di energia elettrica. Questo dato fa capire che nelle VFs solo la coltivazione di colture con alto contenuto d’acqua e altissimo indice di raccolta possono essere redditizie. Grazie alla vicinanza della produzione ai consumatori, le VFs possono garantire una qualità superiore e permettono di selezionare varietà non solo in base allo *shelf-life*, ma anche in funzione delle caratteristiche organolettiche. Il beneficio della produzione a km 0, e cioè la mancanza di inquinamento da CO₂, dovuto all’assenza del trasporto dai luoghi di produzione molto lontani ai mercati di utilizzo, dovrebbe essere sempre valutato criticamente, in quanto questo beneficio dipende molto dal *carbon footprint* dell’elettricità consumata, che dovrebbe essere ottenuta da fonti rinnovabili (come l’eolica o l’energia idroelettrica, ma non da biomassa) o da fonti con bassa emissione di anidride carbonica come, ad esempio, l’energia elettrica ottenuta da centrali nucleari.

Vertical farms (VFs) make it possible to grow any crop, anywhere, anytime. However, growing crops without sunlight has some ‘inconveniences’ due to high investment costs and a significant energy consumption for working. For example, in the Mediterranean region, lettuce grown in greenhouses can have until 37 kg of fresh crop yield per square meter with an energy consumption of 109 kWh for heating

and 4 kWh for electricity, compared to a maximum yield of 91 kg and an energy consumption of 415 kWh of a typical VF. These data suggest that only crops with high water content and very high yield value can be profitable in VFs. Thanks to the proximity of production to the consumers, VFs can guarantee superior quality and allow to selected crop varieties not only based on the crop 'shelf-life', but also based on their organoleptic characteristics. The benefit of 'zero-kilometer' production, which eliminates CO₂ pollution from long-distance transport, should always be critically assessed. This benefit depends heavily on the carbon footprint of the electricity used, which should ideally come from renewable sources (such as wind or water, but not biomass) or low-carbon sources such as nuclear electric centrals.

GIANLUCA BRUNORI¹

Agricoltura verticale e transizione ecologica

¹ Accademia dei Georgofili, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

Nel 2022 il mercato mondiale dei prodotti fatti nelle *vertical farms* (VF) valeva circa 5.6 miliardi di dollari e crescendo mediamente del 15% annuo, si stima che arrivi a 23.7 miliardi di dollari nel 2030. Fra i vantaggi che la VF assicura ci sono: minor utilizzo di pesticidi, di fitofarmaci, fertilizzanti, minor utilizzo di acqua e di terra, minor lavoro manuale, possibilità di semplificare la logistica per la vicinanza fra siti produttivi e mercati. Fra gli aspetti negativi ci sono gli alti costi energetici e delle strutture, il fabbisogno di forza lavoro altamente qualificata, e il limitato range di colture economicamente remunerative. In sintesi: 1) il VF non può sostituire l'agricoltura in pieno campo; 2) il VF crescerà dove sono più forti i limiti per la produzione agricola da acqua e terra; 3) il VF ha un potenziale di crescita legato alla tecnologia molto superiore alle altre forme di agricoltura; 4) il VF può rappresentare una risposta al bisogno di resilienza dei sistemi alimentari urbani.

In 2022, the global market value of products cultivated in vertical farms was estimated at approximately \$5.6 billion. With an average annual growth rate of 15%, it is estimated that the market will reach a value of \$23.7 billion by 2030. The advantages offered by vertical farms (VFs) include a reduction in the use of pesticides, and fertilizers, a decrease in water and land usage, a reduction in manual labour, and the potential for simplified logistics due to the proximity between production sites and markets. However, there are also disadvantages associated

with vertical farming, including high energy and infrastructure costs, the necessity for highly skilled labour, and a restricted range of economically viable crops. In conclusion, it can be stated that: 1) VFs cannot replace open-field agriculture; 2) VFs will expand where water and land constraints on agricultural production are strongest; 3) VFs have a growth potential linked to technology that is much higher than other forms of agriculture.

BENJAMIN FRANCHETTI¹

Vertical farming: l'esperienza di un produttore

¹ Co-fondatore della Vertical Farm Agricola Moderna

Benjamin Franchetti è il CEO di Agricola Moderna, la prima *vertical farm* commerciale in Italia entrata in produzione nel maggio 2020. Da allora, l'azienda è fortemente cresciuta, grazie a un forte investimento nella ricerca e sviluppo, che l'ha portata ad aumentare del 300% le produzioni unitarie iniziali e a sviluppare sistemi proprietari di controllo della produzione totalmente automatizzati che assicurano, grazie anche a una oculata selezione delle varietà coltivate, una produzione di elevatissima qualità. A questo è stata poi affiancata una ricerca di mercato su 400 utilizzatori abituali di insalate in busta che ha individuato i seguenti aspetti negativi nei prodotti di quarta gamma: prodotto non fresco e con aspetto non salutare, mancanza di qualità e di sapore, limitata *shelf-life*, non sostenibilità del processo produttivo e soprattutto la mancanza di informazioni sul packaging. Questi aspetti negativi sono stati eliminati o fortemente ridotti nelle insalate prodotte da Agricola Moderna, puntando anche a un packaging innovativo e simpatico che riportasse le informazioni richieste dal consumatore. L'esperienza maturata fino ad oggi, ha permesso ad Agricola Moderna di iniziare la realizzazione di una nuova *vertical farm* di circa 9000 m² che sorgerà a inizio 2025 in provincia di Cremona. Il nuovo impianto, che sarà alimentato totalmente da energia rinnovabile con un basso impatto sull'intera filiera produttiva, produrrà a regime circa 900 tonnellate all'anno di ortaggi a foglia tra insalate e aromatiche pronte al consumo.

Benjamin Franchetti is the CEO of Agricola Moderna, the first commercial vertical farm in Italy, which started its production in May 2020. Since then, the company has invested much in research and development. This investment has led to a 300% increase in initial production and the development of own, fully automated production control systems. This system, combined with careful crop variety

selection, ensure a production of exceptionally high-quality. In addition, a market research study involving 400 regular consumers of ready-to-eat salads identified several negative aspects of these products: lack of freshness, no-healthy appearance, poor quality and taste, limited shelf-life, environmentally unsustainable production processes, and insufficient packaging information. Agricola Moderna has successfully addressed or significantly reduced these issues in its salads, while also introducing innovative and attractive packaging that provides the information consumers are looking for.

The experience gained by Agricola Moderna permit to begin the construction of a new vertical farm of approximately 9,000 square metres, scheduled to start the production in early 2025. The new facility will be in the province of Cremona powered entirely by renewable energy, minimizing the overall impact on the production chain: it is expected to produce around 900 tonnes of ready-to-eat leafy vegetables, including salads and aromatic herbs, per year.