



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

**Analisi dei sistemi di vertical farming:  
produttività, sostenibilità e percezione nei  
consumatori**

Relatore:

Prof.ssa Giulia Bruno

Candidato:

Celeste Castucci

Correlatore:

Dott.ssa Benedetta Fasciolo

Anno accademico 2023/2024



## Sommario

LISTA DEGLI ACRONIMI.....	5
INDICE DELLE FIGURE .....	7
INDICE DELLE TABELLE.....	9
ABSTRACT .....	10
1 INTRODUZIONE.....	11
2 IL VERTICAL FARMING .....	13
2.1 DEFINIZIONE E ORIGINE .....	13
2.2 OBIETTIVO .....	15
2.3 TRE TECNOLOGIE: SISTEMA IDROPONICO, AEROPONICO, ACQUAPONICO .....	15
2.3.1 IDROPONICA .....	15
2.3.2 AEROPONICA .....	17
2.3.3 ACQUAPONICA.....	17
2.4 COSA SI COLTIVA .....	18
2.5 VERTICAL FARMS: DOVE SI TROVANO, CATEGORIE E DIMENSIONI.....	20
2.6 VERTICAL FARMS: BUDGET DI AVVIAMENTO, COSTI DI GESTIONE E COSTI DI PRODUZIONE.....	21
2.7 IoT NEL VERTICAL FARMING .....	25
2.8 INNOVAZIONE NEL VERTICAL FARMING .....	28
2.9 TENDENZE FUTURE E PREVISIONI DI MERCATO NEL VERTICAL FARMING .....	31
3 UN CONFRONTO CON L'AGRICOLTURA TRADIZIONALE.....	34
3.1 VANTAGGI DEL VERTICAL FARMING .....	35
3.2 SVANTAGGI DEL VERTICAL FARMING .....	37
4 ANALISI DELLA SOSTENIBILITA' DEL VERTICAL FARMING.....	38
4.1 CONSUMO DI ACQUA.....	42
4.2 UTILIZZO DI ENERGIA ELETTRICA .....	45
4.3 UTILIZZO DEL SUOLO .....	48
4.4 UTILIZZO DI PESTICIDI, FERTILIZZANTI E NUTRIENTI.....	49
4.5 ANALISI LCA.....	54
5 ANALISI DELLA PRODUTTIVITA' DEL VERTICAL FARMING .....	58
5.1 RESA VERTICALE VERSO ORIZZONTALE.....	61
5.2 APPLICAZIONE DI CONCETTI DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE .....	66
5.3 ANALISI DELLA LOGISTICA.....	70
6 LE AZIENDE DI VERTICAL FARMING .....	79
6.1 VERTICAL FARMING IN ITALIA.....	79
6.2 VERTICAL FARMING NEL MONDO.....	86

6.3	AZIENDE PRODUTTRICI DI SISTEMI IDROPONICI, AEROPONICI, ACQUAPONICI .....	88
6.4	INTERVISTE AD AZIENDE DI VERTICAL FARMING IN ITALIA .....	92
6.5	QUESTIONARIO AD AZIENDE DI VERTICAL FARMING NEL MONDO.....	102
7	VERTICAL FARMING PER LA GDO .....	103
7.1	INVESTIMENTI EFFETTUATI DAI PLAYERS.....	104
7.2	IL PREZZO DEI PRODOTTI OTTENUTI TRAMITE VERTICAL FARMING .....	106
7.3	IL POTENZIALE DELLA RISTORAZIONE .....	121
7.4	IL RUOLO DEL CONSUMATORE: ANALISI ATTRAVERSO QUESTIONARIO .....	123
7.4.1	TIPOLOGIE DI INDAGINE .....	124
7.4.2	CREAZIONE DEL QUESTIONARIO.....	126
7.4.3	PRESENTAZIONE DEI QUESITI .....	130
7.4.4	ANALISI DELLE RISPOSTE DEL CAMPIONE.....	137
8	CONCLUSIONI .....	165
9	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	167
	RINGRAZIAMENTI .....	181

## LISTA DEGLI ACRONIMI

ANN: Artificial Neural Network

BoM: Bill of Materials

CA: Conventional Agriculture

CAGR: Compounded Average Growth Rate

CCM: Crop Canopy Models

CEA: Controlled Environment Agriculture

CWSI: Crop Water Stress Index

DWC: Deep Water Culture

EUE: Energy Use Efficiency

EUI: Energy Use Index

FY: Farm Yield

GDO: Grande Distribuzione Organizzata

GWP: Global Warming Potential

HI: Harvest Index

HO.RE.CA: Hotellerie-Restaurant-Café

IoT: Internet of Things

ISO: International Organization for Standardization

KNN: K-Nearest Neighbor

KPI: Key Performance Indicator

LAI: Leaf Area Index

LCA: Life Cycle Assessment

LCI: Life Cycle Inventory

LCIA: Life Cycle Impact Assessment

LDQ: Limite di Quantificazione

LER: Land Equivalence Ratio

LMR: Limite Massimo di Residui

LU: Land Use

MLR: Multiple Linear Regression

MTBF: Mean Time Between Failures

MTTF: Mean Time To Failure

MTTR: Mean Time To Repair

NFT: Nutrient Film Technique

NUE: Nutrient Use Efficiency o Nitrogen use efficiency

OF: Orti Fuori Suolo

PNNR: Piano nazionale di ripresa e resilienza

PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density

PUE: Phosphorus Use Efficiency

RF: Random Forest

SUE: Soil Use Efficiency

SVR: Support Vector Regression

TEC: Total Energy Consumption

TH: throughput

VF: Vertical farming

WF: Water Footprint

WU: Water use

WUE: Water Use Efficiency

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Esempio di vertical farm .....	13
Figura 2: Esempio di coltura verticale .....	15
Figura 3: Schema di un sistema acquaponico (personal elaboration) .....	18
Figura 4: Insalata coltivata tramite vertical farming .....	19
Figura 5: Illuminazione LED in una vertical farm .....	22
Figura 6: Operatore in una vertical farm .....	23
Figura 7: Sistema di vertical farming basato su IoT (personal elaboration) .....	26
Figura 8: Modello lineare dell'innovazione (personal elaboration) .....	29
Figura 9: Modello di Henderson & Clark,1990 [31] .....	30
Figura 10: Proiezione del vertical farming nel mercato mondiale dal 2022 al 2032 in miliardi di dollari americani [43].....	31
Figura 11: Valore di mercato del vertical farming a livello mondiale nel 2020 per continenti in milioni di dollari americani [43] .....	32
Figura 12: Market share del vertical farming a livello mondiale nel 2021, in base alla tecnologia [43] .....	32
Figura 13: <i>Market share</i> per tecnologia del vertical farming [44].....	33
Figura 14: Diagramma di Venn per la distribuzione delle fonti circa la sostenibilità ambientale (personal elaboration) .....	41
Figura 15: Prodotti di Planet Farms in un supermercato nel 2021 [159] .....	107
Figura 16: Schermata prodotti Planet Farms sull' e-commerce di Esselunga .....	108
Figura 17: Cartellone pubblicitario di Planet Farms in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo) .....	108
Figura 18: Prodotti di Planet Farms disponibili in un supermercato Mercatò di Torino nel 2023 (personal photo) .....	108
Figura 19: Cartellone pubblicitario per Local Green in un supermercato Coop di Torino (personal photo) .....	109
Figura 20: Prodotti di Local Green in un supermercato Coop di Torino nel 2023 (personal photo).....	109
Figura 21: Busta di insalata Local Green (personal photo).....	109
Figura 22: Schermata dell'e-commerce Carrefour con il basilico di Agricola Moderna nel 2023 .....	110
Figura 23: Schermata dell'e-commerce Carrefour con le insalate di Agricola Moderna nel 2023 .....	110
Figura 24: Schermata dell'e-commerce Cortilia con prodotti di Agricola Moderna nel 2023 .....	111
Figura 25: Schermata dell'e-commerce Cortilia con prodotti di Agricola Moderna nel 2023 .....	111
Figura 26: Schermata dell'e-commerce Cortilia con prodotti di Agricola Moderna nel 2023 .....	112
Figura 27: Prodotti di Pianetiamo presso un supermercato Penny nella provincia di Torino (personal photo) .....	113
Figura 28: Busta di insalata Pianetiamo (personal photo) .....	113
Figura 29: Corner di piantine di insalata da tecnica aeroponica in un Carrefour di Torino (personal photo) .....	114
Figura 30: Dettaglio corner Agricooltur, coltivazioni aeroponiche urbane in un Carrefour di Torino (personal photo) .....	114
Figura 31: Prodotti di Kilometro Verde a marchio Fior Fiore in un supermercato Coop di Torino (personal photo) .....	115
Figura 32: Dettaglio confezione di prodotto Fior Fiore (personal photo) .....	115
Figura 33: Schermata e-commerce The Circle con barattoli di pesto [167].....	116
Figura 34: Pesto con basilico da agricoltura sostenibile in supermercato Mercatò di Torino (personal photo) .....	116

Figura 35: Due tipi di pesto di basilico e un tipo di pesto di pistacchi in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo).....	117
Figura 36: Pesto di basilico in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo) .....	117
Figura 37: Pesto di basilico bio in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo) .....	117
Figura 38: Due tipi di pesto di basilico in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo).....	118
Figura 39: Pesto di basilico presente in frigorifero in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo) .....	118
Figura 40: Esempio 1 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo).....	119
Figura 41: Esempio 2 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo).....	119
Figura 42: Esempio 3 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo).....	120
Figura 43: Esempio 4 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo).....	120
Figura 44: Screenshot foglio Excel passaggio dataset- database di un quesito .....	136
Figura 45: Screenshot foglio Excel passaggio dataset- database di un quesito a risposta multipla .....	136
Figura 46: Rappresentazione fasce d'età dei rispondenti .....	137
Figura 47: Rappresentazione identificazione di genere dei rispondenti.....	138
Figura 48: Rappresentazione regioni di residenza dei rispondenti .....	139
Figura 49: Rappresentazione dell'interesse per la sostenibilità ambientale dei rispondenti .....	140
Figura 50: Rappresentazione conoscenza del vertical farming tra i rispondenti .....	140
Figura 51: Rappresentazione modalità di conoscenza del vertical farming dei rispondenti .....	141
Figura 52: Rappresentazione avvistamento di prodotti da VF nei supermercati tra i rispondenti.....	142
Figura 53: Rappresentazione acquisto di un prodotto da VF tra i rispondenti .....	142
Figura 54: Rappresentazione frequenza di acquisto prodotti da VF dei rispondenti.....	143
Figura 55: Rappresentazione preferenze d'acquisto dei rispondenti .....	144
Figura 56: Rappresentazione trigger che influenzano l'acquisto di prodotti alternativi dei rispondenti ....	145
Figura 57: Rappresentazione percezione del prezzo di un prodotto da VF dei rispondenti .....	146
Figura 58: Rappresentazione valutazione prodotto da VF vs. tradizionale per i rispondenti .....	146
Figura 59: Rappresentazione preferenze luogo di acquisto di frutta e verdura dei rispondenti.....	147
Figura 60: Rappresentazione trigger nel processo d'acquisto di frutta e verdura tra i rispondenti .....	148
Figura 61: Rappresentazione analisi tra fascia d'età e interesse per la sostenibilità ambientale tra i rispondenti .....	149
Figura 62: Rappresentazione analisi tra fascia d'età e conoscenza del vertical farming tra i rispondenti ...	150
Figura 63: Rappresentazione analisi regione di residenza e conoscenza del vertical farming tra i rispondenti .....	151
Figura 64: Rappresentazione correlazione fasce d'età e luogo di discussione del tema VF tra i rispondenti .....	152
Figura 65: Rappresentazione analisi fascia d'età e acquisto prodotti da VF tra i rispondenti .....	153
Figura 66: Rappresentazione analisi fascia d'età e frequenza di acquisto prodotti VF tra i rispondenti che dichiarano di aver effettuato l'acquisto .....	154
Figura 67: Rappresentazione analisi tra interesse per la sostenibilità e comportamenti nel processo d'acquisto tra i rispondenti.....	155
Figura 68: Rappresentazione analisi tra identificazione di genere e comportamento nel processo di acquisto dei rispondenti.....	156
Figura 69: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e valutazione di un prodotto da VF vs agricoltura tradizionale tra i rispondenti .....	157
Figura 70: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e valutazione del prezzo di un prodotto da VF dei rispondenti .....	158



Figura 71: Rappresentazione analisi valutazione del prodotto da VF e il suo prezzo vs prodotto da agricoltura tradizionale .....	159
Figura 72: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e luogo di acquisto di verdura e frutta dei rispondenti	160
Figura 73: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e trigger del processo di acquisto di verdura e frutta dei rispondenti .....	162
Figura 74: Rappresentazione analisi tra identificazione di genere e trigger del processo di acquisto di verdura e frutta dei rispondenti .....	163

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Resoconto query eseguite per articoli circa l'analisi dei costi di una vertical farm .....	24
Tabella 2: Vantaggi e svantaggi del vertical farming .....	34
Tabella 3: Resoconto query eseguite per articoli circa l'analisi di sostenibilità ambientale .....	40
Tabella 4: Riassunto allocazione delle fonti del capitolo 4.....	41
Tabella 5: Resoconto query eseguite per articoli circa l'analisi della produttività.....	60
Tabella 6: Aziende di vertical farming in Italia .....	80
Tabella 7: Aziende di vertical farming nel mondo.....	86
Tabella 8: Produttori di sistemi di vertical farming in Italia e nel mondo .....	92
Tabella 9: Intervista azienda Planet Farms .....	93
Tabella 10: Intervista azienda Agricola Moderna.....	95
Tabella 11: Intervista azienda KilometroVerde .....	97
Tabella 12: Intervista azienda BioExtraSolum .....	99
Tabella 13: Prodotti da vertical farming nei supermercati di Torino: prezzi e localizzazione.....	121

## ABSTRACT

L'elaborato di tesi ha l'obiettivo di studiare la produttività e la sostenibilità legate ai sistemi di vertical farming, una tecnica innovativa che si differenzia dall'agricoltura convenzionale, in cui la coltivazione avviene in spazi chiusi tramite livelli sovrapposti.

L'approfondimento circa la sostenibilità e la produttività è avvenuto tramite ricerche in letteratura di alcuni KPI; proseguendo con ricerche circa i costi che un'azienda deve sostenere per avviare tale tipologia di attività, e successivamente sono stati esaminati alcuni concetti derivati dalla produzione industriale e relativi all'ambito della logistica, includendo la tematica dell'Internet of Things.

L'elaborato esamina le previsioni di mercato future del vertical farming, ipotizzando quale tecnologia potrebbe emergere come dominante e influenzare la quota di mercato complessiva.

Al fine di comprendere meglio le caratteristiche delle imprese dedite alla produzione orticola in vertical farming, sono state condotte interviste ad aziende presenti sul territorio nazionale. L'attenzione si sposta poi su ricerche in merito alle aziende internazionali, includendo anche realtà impegnate nella fornitura di sistemi per il vertical farming. Ci si è focalizzati poi sui principali investimenti effettuati dai players in tale settore e sui prezzi di vendita dei prodotti ottenuti con l'agricoltura verticale, confrontandoli con quelli derivati da tecniche convenzionali.

Inoltre, al fine di comprendere quanto la popolazione sia consapevole circa il tema della sostenibilità e del vertical farming, sono state effettuate ricerche in merito all'esistenza di questionari somministrati, decidendo di seguire gli esempi della letteratura per la creazione di un questionario volto a indagare la consapevolezza del vertical farming tra i consumatori italiani. Questa scelta è motivata dalla rilevanza della conoscenza delle innovazioni da parte dei potenziali beneficiari, poiché è noto che gli stakeholders non sempre sono pronti ad accogliere l'innovazione.

## 1 INTRODUZIONE

Il presente elaborato si concentra sullo studio del vertical farming, tecnica utilizzata per la produzione orticola in alternativa all'agricoltura convenzionale.

Inizialmente, viene fornita un'introduzione sul vertical farming, con particolare attenzione all'origine del termine e agli obiettivi della tecnica. Successivamente, vengono presentate le principali tecnologie utilizzate nel vertical farming: l'idroponica, l'aerponica e l'acquaponica.

Una parte significativa dell'analisi riguarda i costi associati all'avvio e alla gestione di una vertical farm, considerando anche il confronto con l'agricoltura convenzionale.

Si sottolinea l'innovazione rappresentata dal vertical farming rispetto ai metodi tradizionali, con un focus sulle implicazioni teoriche dell'innovazione nel contesto specifico del vertical farming. L'elaborato esamina le previsioni di mercato future del vertical farming, ipotizzando quale tecnologia potrebbe emergere come dominante e influenzare la quota di mercato complessiva.

L'approfondimento si estende alla ricerca in letteratura relativa alla sostenibilità e alla produttività del vertical farming, con particolare attenzione ai KPI quali consumo d'acqua, energia e suolo, nonché all'analisi del ciclo di vita (LCA) e alla resa delle colture. Si esaminano anche alcuni concetti derivati dalla produzione industriale e relativi all'ambito della logistica, considerando l'Internet of Things.

Proseguendo, l'elaborato presenta le aziende di vertical farming a livello nazionale e internazionale, includendo sia coloro che sono coinvolte nella produzione orticola sia nella fornitura di sistemi.

Le interviste condotte alle aziende italiane del settore forniscono insight sulle loro caratteristiche e strategie.

L'elaborato prosegue con un capitolo dedicato alla GDO, menzionando i principali investimenti effettuati da alcuni *players* in tale settore, e visitando alcuni supermercati del capoluogo piemontese per ricercare i prodotti e i prezzi di vendita degli stessi, confrontandoli con prodotti ottenuti con l'agricoltura convenzionale.

Nel corso di questo studio, si è poi approfondito il ruolo cruciale del consumatore finale.

Partendo da un'analisi della sostenibilità condotta attraverso la letteratura, ci si è interrogati circa la consapevolezza della popolazione riguardo alla sostenibilità, un tema strettamente legato al concetto di vertical farming.

Attraverso una ricerca bibliografica, sono stati individuati questionari condotti sulla popolazione, confermando la presenza di fonti rilevanti. [1] [2] [3] [4] [5]

Si è quindi deciso di seguire tali esempi per la creazione di un questionario volto a indagare la consapevolezza del vertical farming tra i consumatori italiani. Questa scelta è stata motivata dalla rilevanza della conoscenza delle innovazioni da parte dei potenziali beneficiari, poiché è noto che gli stakeholders non sempre sono pronti ad abbracciare l'innovazione, il che può comportare una resistenza all'adozione della tecnologia o del prodotto, specialmente se basato su una tecnica differente, come nel caso del vertical farming.

L'obiettivo principale del questionario è stato valutare il livello di conoscenza attuale del vertical farming tra i consumatori italiani di differenti fasce d'età, e di comprendere il loro grado di accettazione futura. Questo è stato conseguito attraverso domande incentrate sulle abitudini relative al processo di acquisto e sulle preferenze dei consumatori, al fine di identificare le strategie di comunicazione e marketing più efficaci per promuovere il vertical farming sul mercato.

Infine, verranno proposti alcuni sviluppi futuri circa il tema del vertical farming, correlati a quanto emerge dai risultati del questionario somministrato.

## 2 IL VERTICAL FARMING

### 2.1 DEFINIZIONE E ORIGINE

L'espressione vertical farming, nota anche come coltivazione verticale in lingua italiana, indica un metodo innovativo per coltivare le piante, il quale si differenzia dall'agricoltura tradizionale: il vertical farming prevede che le coltivazioni avvengano in ambienti verticali e chiusi, tramite molteplici livelli sovrapposti, come suggerisce il termine, e non attraverso l'utilizzo di terreni orizzontali.

Le vertical farms sono gli edifici in grado di ospitare l'intera filiera agroalimentare del vertical farming: produzione, trasformazione, vendita e consumo; anche se nella gran parte dei casi si definiscono vertical farms altresì gli edifici che attualmente si limitano alle fasi di produzione e trasformazione. [6]

L'intero processo di coltivazione del vertical farming avviene in condizioni ambientali ricreate in modo artificiale; dunque, la luce, l'umidità, i nutrienti e le temperature vengono forniti in modo puntuale, al fine di soddisfare le distinte esigenze di ogni specie.

Inoltre, contrariamente alla concezione comune di grattacieli in vetro destinati alla coltivazione, il vertical farming può essere praticato ovunque, persino sottoterra. Pertanto, ciò che emerge in modo evidente, è la significativa riduzione dell'uso del suolo. [7] [8]

L'aspetto appena citato è di fondamentale importanza nella società attuale, in quanto la letteratura afferma che la percentuale di terreno fertile presente sul nostro pianeta è in diminuzione continua, e inoltre si stima un'elevata crescita della popolazione mondiale, al punto tale da dichiarare che negli anni a venire la maggior parte delle persone abiterà nelle città.

Di seguito si può notare in figura 1 un esempio di vertical farm.

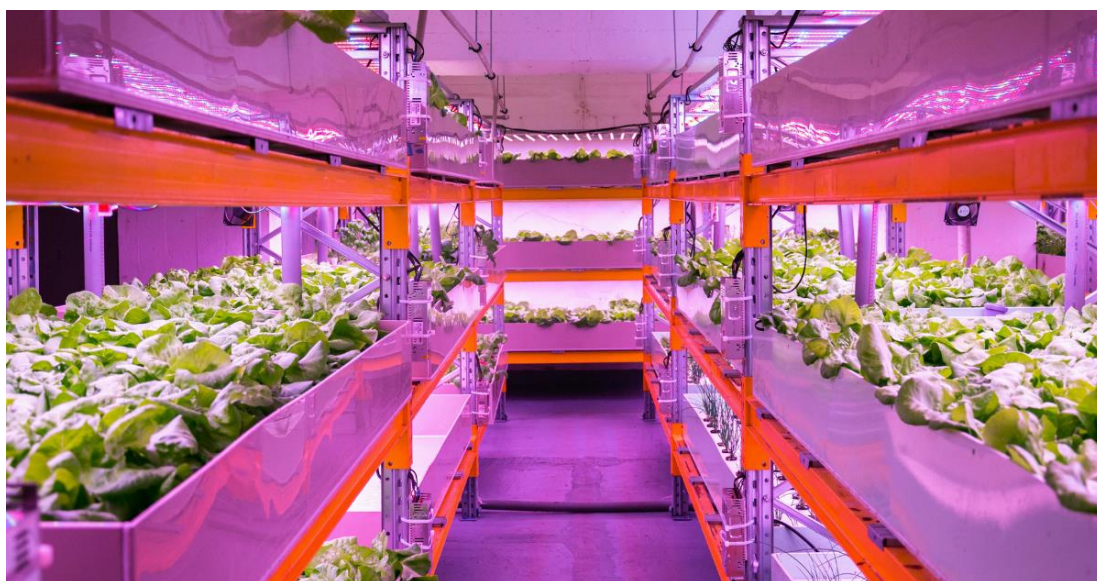


Figura 1: Esempio di vertical farm

A seguito di ciò, emergono due aspetti fondamentali: il primo riguarda l'aumento della deforestazione, il secondo è legato al rischio di un utilizzo sempre maggiore di sostanze quali fertilizzanti chimici e sostanze nocive, che sono già attualmente in uso per garantire una produzione maggiore della verdura e della frutta. Dunque, è possibile affermare che le vertical farms potrebbero risultare la soluzione per limitare tali problematiche. [9] [10]

Un modo efficace per comprendere meglio il concetto di vertical farming è confrontarlo con l'immagine di una serra. Quest'ultima, infatti, condivide con il vertical farming l'idea di far crescere le specie in un ambiente protetto, in particolar modo si intende proteggerle dagli agenti atmosferici, ma anche avere un maggiore controllo sui livelli di nutrienti che vengono assorbiti dalle piante, a differenza dell'agricoltura tradizionale in campo aperto.

Tuttavia, esiste una differenza fondamentale tra la coltivazione in serra e quella in vertical farming: nella coltivazione in serra, le piante continuano comunque a crescere a contatto con il terreno e ad assorbire i nutrienti da esso. Nel vertical farming, invece, viene meno il suddetto legame tra le piante e il terreno, dando origine così a ciò che è tecnicamente noto come "coltivazione fuori suolo". Inoltre, il concetto di vertical farm si esplica proprio nei molteplici livelli sovrapposti, mentre generalmente nelle serre è presente un solo livello. Per di più, le differenze tra vertical farms e serre si riferiscono anche alla possibilità che le prime sorgano all'interno dei grandi centri urbani. [11]

Il concetto di vertical farming risale a diversi decenni fa, ma solamente negli ultimi anni si è concretizzato per merito di un interesse crescente verso tematiche quali l'agricoltura sostenibile e l'attività di produzione nei centri urbani, ma anche grazie allo sviluppo tecnologico e le ricerche in ambito scientifico.

Secondo la letteratura, infatti, l'idea alla base del vertical farming non è da intendersi come una novità, anzi è da attribuire al popolo babilonese, il quale utilizzava giardini pensili, e assumono una certa importanza anche le terrazze di riso presenti in Cina, caratterizzate da strati di coltivazione verticali.

Il termine vertical farming viene coniato nel 1915 dal geologo americano Gilbert Ellis Bailey nel suo omonimo libro "Vertical Farming". In realtà Bailey aveva come obiettivo la realizzazione di un'agricoltura verticale verso il basso, e non verso l'alto, come si è più propensi a immaginarla. Dunque, egli era più orientato ad uno sviluppo sotterraneo, aumentando la superficie totale disponibile per la coltivazione in tal senso. [12] [13]

È possibile parlare di una vera e propria svolta nel 1999, anno in cui il professor Dickson Despommier, insegnante della Columbia University di New York, in una lezione assegna ai suoi studenti il compito di trovare una soluzione al noto problema della fame nel mondo, chiedendo loro di calcolare quante persone fosse possibile sfamare tramite la creazione di orti sui tetti dei grattacieli di New York. Dai calcoli degli studenti emerse un risultato non soddisfacente per il docente; perciò, Despommier decise di ampliare la prospettiva: la seconda proposta per risolvere il problema implicava l'utilizzo dello spazio interno degli edifici abbandonati e in disuso della Grande Mela, al fine di creare delle serre verticali. In tal modo il professore ha dato origine alla prima vertical farm costituita da 30 piani. Il progetto appena citato non si concretizzò mai, ma si deve a Despommier il merito per aver ispirato molti progetti successivi. [13] [14] [15]

## 2.2 OBIETTIVO

L'obiettivo del vertical farming è massimizzare il numero di piante a metro cubo; quindi, che possono essere coltivate in volume, a seguito della continua crescita della popolazione mondiale e con essa anche la domanda di cibo. [10] [16] [17]

Quando si parla di metro cubo, ci si riferisce al metro cubo di una *growing room*, ovvero la camera di crescita delle colture. Inoltre, il numero di piante dipende da alcuni fattori, quali la specie coltivata, la morfologia della struttura di coltivazione, ma anche il layout dei sistemi di coltivazione nella stessa *growing room* considerata. [6] È bene precisare che nelle vertical farms si producono quantità esatte di prodotti identici in tempi noti *ex-ante*: ad esempio, produrre  $n$  *kg* di insalata ogni settimana della tipologia X che possiede le caratteristiche a,b,c . [6]

Un esempio di molteplici livelli sovrapposti in una vertical farm è visibile nella figura 2.



Figura 2: Esempio di coltura verticale

## 2.3 TRE TECNOLOGIE: SISTEMA IDROPONICO, AEROPONICO, ACQUAPONICO

Il vertical farming, oltre a prevedere coltivazioni non a contatto con il terreno, utilizza esclusivamente tecniche di coltivazione a ciclo chiuso, quindi prive di sprechi.

Le principali tecniche legate al vertical farming sono tre: idroponica, aeroponica e acquaponica. Di seguito è presentata l'analisi delle tre tecniche.

### 2.3.1 IDROPONICA

La coltivazione idroponica, la quale risulta essere la più diffusa, è una tecnica nella quale le radici delle piante sono immerse in una soluzione costituita da acqua e sostanze nutritive, in particolar modo sono presenti sali minerali. È bene specificare che sia le quantità sia i rapporti tra l'acqua e i sali minerali sono strettamente correlati allo stadio di sviluppo in cui si trova la pianta in esame e alla specie coltivata. [6] [7] [9] [11]

Esistono differenti tipologie di impianti idroponici, ma non c'è un sistema migliore e preferibile rispetto agli altri, al contrario essi possono essere utilizzati in base alle esigenze e preferenze del soggetto coltivatore.



Tali tipologie possono essere classificate nel modo seguente:

- sistemi NFT (*Nutrient Film Technique*);
- sistemi DWC (*Deep Water Culture*);
- sistemi flusso e riflusso;
- sistemi di gocciolamento o di irrigazione a goccia.

#### 2.3.1.1 SISTEMI NFT

Nei sistemi NFT le piante si trovano sopra canaline dallo spessore di pochi millimetri, all'interno delle quali scorre uno strato di acqua continuo che bagna le radici. Generalmente tali canaline sono forate, collegate ad un serbatoio di accumulo e a una pompa, in modo tale che la soluzione nutritiva riesca a scorrere grazie alla forza di gravità; inoltre, in tali sistemi soltanto le punte delle radici sono a contatto con la soluzione nutritiva, aspetto positivo per le radici che assorbono più ossigeno dall'aria piuttosto che dalla soluzione in questione.

#### 2.3.1.2 SISTEMI DWC

La *Deep Water Culture*, nota anche come "coltivazione in acqua profonda" è una tecnica idroponica che consiste nel far crescere le piante in una soluzione altamente ossigenata, costituita da acqua e fertilizzanti, in cui le radici sono quasi o completamente immerse nella soluzione, in modo tale che quest'ultima possa fungere sia da substrato sia da vettore per i nutrienti.

La DWC rappresenta un approccio altamente efficiente per coltivare piante di grandi dimensioni con l'uso minimo di substrato. In tali sistemi è sufficiente un piccolo contenitore di argilla espansa per avviare e sostenere le piante dalla fase iniziale fino a quando le radici crescono nella soluzione nutriente.

La DWC presenta, dunque, alcuni vantaggi come la crescita accelerata, le piante così coltivate crescono più rapidamente grazie alla maggiore concentrazione di ossigeno alle radici che stimola l'assorbimento dei nutrienti e il metabolismo vegetale.

Un altro aspetto positivo è l'utilizzo minimo di substrato, in quanto non è più necessario utilizzare grandi quantità di terra o altri substrati, poiché una quantità minima di argilla espansa è sufficiente per coltivare piante di notevoli dimensioni; infine, questi sistemi necessitano di bassa manutenzione, poiché non ci sono gocciolatoi che possono intasarsi o pompe d'acqua che potrebbero bloccare l'irrigazione delle piante in caso di guasto.

#### 2.3.1.3 SISTEMI FLUSSO E RIFLUSSO

Il sistema idroponico a flusso e riflusso opera irrorando periodicamente l'area di crescita delle piante con una soluzione nutritiva; tale sistema è controllato da un timer, che fornisce alle piante la quantità di nutrienti desiderata in ogni momento. Questo approccio trova particolare utilità per le piante che tollerano periodi di siccità: alcune piante traggono beneficio da brevi periodi di siccità, poiché questo stimola lo sviluppo del sistema radicale in cerca di umidità.

Con il crescere del sistema radicale, la pianta accelera la sua crescita poiché può assorbire una maggiore quantità di nutrienti.

In conclusione, il sistema idroponico a flusso e riflusso si rivela ideale per piante che rispondono positivamente a queste variazioni nell'approvvigionamento d'acqua e nutrienti, permettendo loro di crescere in modo ottimale.



#### 2.3.1.4 SISTEMI DI GOCCIOLAMENTO O DI IRRIGAZIONE A GOCCIA

Nella configurazione di gocciolamento la soluzione nutritiva viene distribuita a ciascuna pianta in modo gradualmente controllato, attraverso gocciolatoi e successivamente raccolta alla base tramite un sistema di canaline.

Si consiglia l'utilizzo di un substrato di drenaggio lento, come la fibra di cocco, la lana di roccia, il muschio di torba. Un inconveniente associato a questo sistema, però, è la potenziale occlusione dei sistemi di drenaggio; pertanto, questi sistemi richiedono una manutenzione costante e un monitoraggio continuo. [6] [18] [19]

#### 2.3.2 AEROPONICA

Nella letteratura esiste una certa ambiguità riguardo alla classificazione della tecnica aeroponica, che può essere considerata come parte integrante dei sistemi idroponici, al pari dei sistemi descritti nei capitoli dal 2.3.1.1 al 2.3.1.4, oppure come un approccio a sé stante.

In questo elaborato, è stato deciso di aderire alla corrente di pensiero che considera i sistemi aeroponici allo stesso livello dei sistemi idroponici e acquaponici. Tale scelta si basa sul fatto che il numero di fonti consultate che seguono questa visione è superiore a quello delle fonti che classificano l'aeroponica come una sottocategoria dell'idroponica.

La tecnica dell'aeroponica prevede che le piante vengano coltivate senza l'uso di terreno o substrato, in modo analogo ai sistemi idroponici. Per quanto riguarda le radici delle piante, invece, esse si sviluppano sospese in aria all'interno della struttura di coltivazione, grazie ad un sistema di sostegno. L'acqua arricchita con sostanze nutritive viene dunque nebulizzata o spruzzata direttamente sulle radici delle piante, ad intervalli regolari utilizzando macchinari ad hoc. [6] [7] [9] [11] [18] [19]

#### 2.3.3 ACQUAPONICA

L'acquaponica è la terza modalità di coltivazione relativa al vertical farming.

Il termine "acquaponica" deriva dall'unione di due parole: acquacoltura, ovvero l'allevamento di pesci e organismi acquatici, e idroponica, che permette di coltivare piante senza utilizzare il terreno (cap. 2.3.1.). Dunque, nel sistema acquaponico le piante e i pesci coabitano in un ambiente simbiotico, creando un ecosistema autosufficiente che racchiude numerosi vantaggi. [7] [11]

Nell'acquaponica le radici delle piante sono immerse direttamente nell'acqua proveniente dalle vasche dell'allevamento ittico, dove vivono i pesci. Quest'acqua è ricca di sostanze nutritive provenienti dagli scarti dei pesci e dai resti di cibo, che risultano necessari per creare le corrette condizioni affinché le piante possano essere coltivate. Le piante assorbono queste sostanze nutritive, purificando simultaneamente l'acqua per i pesci. Inoltre, sono presenti anche dei batteri che partecipano alla purificazione dell'acqua, in quanto essi scompongono le secrezioni dei pesci in nitrati, che costituiscono un prezioso nutriente per le piante. [9]

Nei sistemi acquaponici è essenziale l'acqua dolce per la crescita delle piante; tuttavia, esistono sistemi di acquaponica specializzati noti come "acquaponica salina" o "acquaponica marina" che utilizzano l'acqua salata e specie di pesci adatte a questo ambiente.

Tali tipologie di sistemi sono meno comuni e, inoltre, richiedono un'attenta gestione e conoscenza delle condizioni specifiche dell'acqua salata e delle esigenze delle piante e dei pesci coinvolti. [20]

Il funzionamento di un sistema acquaponico, è evidente che sia simile a quello di un sistema idroponico, con alcune differenze chiave: in primis, anziché utilizzare una soluzione nutritiva, si sfrutta l'acqua proveniente dalle vasche di allevamento dei pesci; inoltre viene aggiunto un filtro biologico, spesso composto anche da substrato di coltivazione, che favorisce la crescita di batteri nitrificatori.

Di seguito sono elencati gli elementi essenziali necessari per il funzionamento di un sistema acquaponico:

- un serbatoio per l'allevamento della specie ittica;
- un sistema per rimuovere i solidi sospesi;
- un biofiltro;
- un sistema idroponico per coltivare le specie vegetali;
- un pozzetto. [21]

Una rappresentazione schematica del sistema acquaponico è presentata in figura 3.

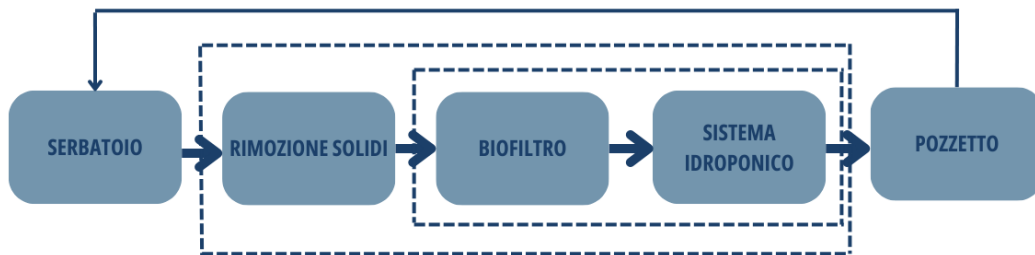


Figura 3: Schema di un sistema acquaponico (personal elaboration)

In conclusione, è possibile affermare che l'acquaponica rappresenta una simbiosi tra l'allevamento ittico e la coltivazione idroponica, sfruttando le acque di scarico dell'allevamento come fertilizzante naturale per le piante. Questo ciclo continuo riduce la necessità di cambiare frequentemente l'acqua nell'allevamento ittico, contribuendo a un notevole risparmio d'acqua e alla diminuzione dei costi dei fertilizzanti e permette di migliorare l'efficienza complessiva del processo agricolo. [22]

A seguito di quanto detto, l'acquaponica permette di ottenere due prodotti alimentari in una volta sola, questa situazione viene definita "win-win", ossia "favorevole per tutti". [23]

## 2.4 COSA SI COLTIVA

Le vertical farms rappresentano una soluzione innovativa per la coltivazione di una vasta gamma di specie vegetali e offrono numerosi vantaggi, ma non risultano ugualmente convenienti per tutti i tipi di coltivazioni.

In una vertical farm è possibile coltivare qualsiasi specie vegetale edibile. Queste includono ortaggi a foglia come insalate (figura 4), ortaggi a frutto come pomodori, peperoni e cetrioli, piccoli frutti come le fragole, piante aromatiche come basilico, menta e prezzemolo, *microgreens*, piante officinali, ovvero coltivate o raccolte per le loro proprietà medicinali, aromatiche o terapeutiche; infine, si coltivano anche zafferano e tuberi. [24]



Figura 4: Insalata coltivata tramite vertical farming

La vertical farm è anche adatta per la coltivazione di funghi, i quali possono crescere sopra substrati come paglia e torba. I funghi possono addirittura sfruttare sottoprodotti dell'industria alimentare, come scarti di caffè e gusci di fava di cacao. La coltivazione di funghi è vantaggiosa in quanto non richiede illuminazione, ha un ciclo di sviluppo veloce (approssimativamente sei settimane) e presenta un'impronta ambientale favorevole. [25] [26]

In riferimento all'allevamento ittico nell'ambito della tecnica acquaponica, è opportuno distinguere i pesci che possono essere allevati in due categorie principali: coloro che risultano adatti all'acqua dolce e quelli adatti all'acqua salata. In particolare, per quanto riguarda l'acqua dolce sono particolarmente presenti: la tilapia, una delle specie più popolari, nota per la sua resistenza e il rapido tasso di crescita; si trovano inoltre le carpe, il pesce persico e il pesce gatto, quest'ultimo noto per la resistenza ma cresce un po' più lentamente rispetto ad alcune altre specie.

Quando si tratta di acquaponica salina, ci sono diverse specie adatte come l'orata, il branzino, la trota maculata e la spigola.

In aggiunta, esistono piccoli esperimenti relativi all'acquaponica, in cui vengono inclusi anche piccoli allevamenti di animali da cortile, come ad esempio conigli e galline.

La scelta della specie di pesce dipende dalle esigenze del coltivatore, dalle condizioni dell'acqua e dalle normative locali. [27]

È opportuno specificare che i prodotti coltivati in vertical farm, indipendentemente dalla tecnica utilizzata, sono di alta qualità e hanno le stesse caratteristiche nutrizionali dei prodotti coltivati in agricoltura tradizionale; inoltre, essi risultano privi di residui chimici nocivi per la salute umana. [6]

Grazie alla possibilità di vendere l'intera pianta viva senza separarla dalle radici, i prodotti provenienti da vertical farm possono essere commercializzati come prodotti super freschi, aumentando la loro *shelf life*, ovvero il tempo utile per la consumazione del prodotto prima della sua scadenza.

In relazione ai prodotti ottenuti attraverso le diverse tecniche di vertical farming, sorge la domanda se essi possano essere classificati come prodotti biologici.

La definizione di prodotto biologico recita *“prodotti che, provenendo da coltivazioni biologiche, non hanno richiesto l’uso di fertilizzanti artificiali e non contengono residui di pesticidi chimici”* [28], quindi questa definizione sembrerebbe suggerire che il vertical farming possa rientrare in tale categoria. Tuttavia, ribadendo la differenza sostanziale tra l’agricoltura tradizionale e quella tramite vertical farming, essa si esplica nell’utilizzo del terreno. In particolare, nonostante le norme relative ai prodotti biologici in Italia e nell’Unione Europea siano soggette a continui aggiornamenti, i prodotti coltivati tramite il vertical farming attualmente non possono essere designati come biologici. Secondo quanto indicato anche dalle linee guida di vari enti di certificazione nazionali, il presupposto per definire come biologica una coltivazione è l’uso di terreno, elemento mancante nel vertical farming. [6] [29]

Guardando un ulteriore aspetto, si sottolinea come non tutte le colture all’interno di una vertical farm, presentano la stessa convenienza economica: questa dipende da diversi fattori, tra cui la durata del ciclo di coltivazione, il prezzo di vendita sul mercato di riferimento e i costi energetici sostenuti per la produzione. Ad esempio, le colture a ciclo breve come i *microgreens* e le piantine di trapianto sono più convenienti da coltivare rispetto alle colture a ciclo più lungo, come gli ortaggi a foglia e quelli a frutto. Dunque, le colture ottimali per il vertical farm sono generalmente quelle con cicli di coltivazione brevi e rese elevate in rapporto allo spazio disponibile. Alcune delle colture ideali includono diverse tipologie di insalata, che crescono rapidamente e offrono buone rese. [8] [24]

In sintesi, le vertical farm offrono una vasta gamma di opzioni per la coltivazione, ma la convenienza economica varia in base a diversi fattori. Tuttavia, il vertical farming consente di coltivare una varietà di colture di alta qualità in modo efficiente, sfruttando al meglio le risorse disponibili.

## 2.5 VERTICAL FARMS: DOVE SI TROVANO, CATEGORIE E DIMENSIONI

Le vertical farms, come già affermato in precedenza, sono nate con il fine di ridurre la dipendenza dai terreni agricoli tradizionali per la coltivazione di specie vegetali. Queste strutture possono essere collocate in varie località: ad esempio nelle città, spesso in prossimità dei centri urbani, in quanto questa posizione agevola una distribuzione più rapida dei prodotti freschi e contribuisce a ridurre i tempi e i costi di trasporto. Le vertical farms sorgono anche in aree suburbane, trovando spazio in strutture industriali riconvertite oppure in capannoni agricoli.

Inoltre, alcune vertical farms sono integrate in centri commerciali e edifici commerciali, offrendo ai consumatori la possibilità di acquistare prodotti freschi direttamente dal luogo di produzione.

Infine, in alcune zone urbane, sperimentazioni di vertical farming si svolgono anche in edifici residenziali, permettendo così ai residenti di coltivare prodotti freschi per il consumo personale o per la comunità.

La posizione esatta di una vertical farm può variare notevolmente a seconda delle circostanze locali, delle risorse disponibili e anche degli obiettivi dell’azienda agricola; tuttavia, indipendentemente dal luogo in cui sono situate, ciò che accomuna le vertical farms rimane la produzione sostenibile di cibo, il tentativo di ridurre le importazioni e migliorare la freschezza dei prodotti. [6] [8]

A seconda della destinazione cui ci si riferisce, si distinguono diverse categorie di vertical farm, le cui dimensioni possono variare notevolmente:

- strutture destinate a scopi domestici;
- strutture di dimensioni piccole;
- strutture di dimensioni medie;
- strutture di dimensioni grandi e molto grandi.

Le strutture destinate a scopi domestici possono occupare spazi minimi, da  $1 m^2$  a  $10 m^2$ .

Queste sono concepite per adattarsi a spazi ristretti, come una stanza o un angolo in un edificio residenziale.

Per le strutture di dimensioni piccole, come quelle destinate a edifici commerciali, si parla di dimensioni che vanno dai  $10 m^2$  ai  $100 m^2$ .

In merito alle strutture di dimensioni medie, esse hanno una superficie che va dai  $100 m^2$  ai  $500 m^2$ , sono spesso utilizzate da piccole aziende agricole o imprenditori del settore agricolo.

Infine, per quanto riguarda strutture di dimensioni grandi o molto grandi, con estensioni superiori ai  $500 m^2$ , si tratta di strutture progettate per la produzione commerciale su vasta scala.

Queste sono in grado di generare grandi quantità di prodotti e spesso impiegano tecnologie avanzate per l'automazione e il controllo ambientale.

Le dimensioni delle vertical farms possono essere influenzate anche dalla disponibilità di spazio in aree urbane o suburbane, nonché dalle risorse finanziarie dell'eventuale azienda agricola.

Inoltre, è rilevante sottolineare che ci sono diverse tipologie di vertical farms, tra le quali le più diffuse includono:

- sistemi a parete: si coltivano piante su superfici verticali, essi risultano molto simili ai noti "green walls", dove le piante adornano le pareti verticali, talvolta anche solo per scopi estetici;
- sistemi multilivello: i quali richiamano la struttura delle scaffalature di un magazzino, con piante che crescono su ciascun livello, ottimizzando lo spazio verticale disponibile;
- sistemi a torre verticale: le piante vengono coltivate sulla superficie laterale di colonne verticali, creando una configurazione simile a torri, che consente una coltivazione compatta. [6]

## 2.6 VERTICAL FARMS: BUDGET DI AVVIAMENTO, COSTI DI GESTIONE E COSTI DI PRODUZIONE

Quando si decide di avviare una vertical farm, è essenziale tenere in considerazione vari aspetti legati ai costi di *setup*, tra cui la struttura e le attrezzature. La scelta della struttura è cruciale e può rappresentare un notevole impegno finanziario: molte aziende agricole utilizzano container, magazzini abbandonati o spazi urbani per massimizzare l'efficienza e ridurre i costi delle strutture per il vertical farming.

Nel caso della costruzione o ristrutturazione di edifici destinati al vertical farming, è fondamentale prendere in considerazione vari elementi, come gli obiettivi aziendali, la posizione e le condizioni dell'edificio. Inoltre, se è necessario assumere e formare del personale, i costi associati alla formazione devono essere inclusi nel budget di avvio.

Le spese da sostenere possono variare notevolmente in base a diversi fattori, tra cui la produzione annuale, il tipo di colture, le dimensioni della struttura, il grado di automazione, il mercato di riferimento e le funzioni presenti all'interno della vertical farm.

Pertanto, la gamma di costi di avvio tendenzialmente può variare da circa 700 €/m<sup>2</sup> a 1500 €/m<sup>2</sup>, anche se in casi di automazione avanzata i costi possono superare i 2000-2500 €/m<sup>2</sup>.

In sintesi, i costi di avvio di una vertical farm sono influenzati da una serie di fattori che rende difficile fornire un costo specifico. Tuttavia, le vertical farms su larga scala possono richiedere investimenti significativi, spesso nell'ordine dei milioni di euro, mentre le piccole vertical farms domestiche possono costare approssimativamente anche meno di 10.000€.

Da quanto appena espresso, emerge che la pianificazione e l'analisi dei costi sono essenziali per garantire il successo del progetto di una vertical farm. [6] [15] [30]

In merito ai costi di gestione relativi ad una vertical farm, essi includono differenti voci, presentate di seguito:

- costi energetici;
- costi della manodopera;
- costi di approvvigionamento;
- costi di manutenzione e riparazioni;
- costi di gestione dei rifiuti;
- costi operativi;
- costi finanziari;
- ammortamento;
- costi per la gestione della qualità dell'aria e dell'acqua;
- costi di ricerca e sviluppo.

I costi energetici rappresentano la principale spesa, in quanto l'elettricità è utilizzata per alimentare l'illuminazione a LED (figura 5), i sistemi di aria condizionata e deumidificazione e altri dispositivi elettrici.

Si stima che le luci di una vertical farm devono essere accese per 12-18 ore giornaliere, per ogni giorno dell'anno. Siccome tali costi incidono sul tipo di colture, è opportuno scegliere piante con ciclo di crescita breve, al fine di ottenere più raccolti possibili in un tempo limitato: il pomodoro è meno redditizio della lattuga, in quanto impiega 70 giorni per crescere rispetto ai 20 della lattuga. Inoltre, questi costi possono variare notevolmente in base all'efficienza energetica dell'impianto e alle tariffe locali dell'energia elettrica.



Figura 5: Illuminazione LED in una vertical farm



In merito ai costi della manodopera, la gestione delle colture richiede figure con elevata professionalità, dunque altamente qualificate, per svolgere una serie di attività, tra cui semina, cura delle piante, raccolta e manutenzione generale. Il numero di dipendenti necessario varia in base alle dimensioni e al grado di automazione della struttura.

In merito al personale, è possibile affermare che gli impianti domestici possono essere condotti da 1 o 2 persone, quelli di piccole dimensioni da 2-4 persone, che aumentano fino a 10 negli impianti medi, mentre quelli grandi implicano la presenza di più di 10 persone. [8]

Come si è potuto comprendere da quanto appena citato, è evidente che la manodopera necessaria è direttamente proporzionale all'aumento delle dimensioni della vertical farm; dunque, per elevate dimensioni si avrà bisogno di personale maggiormente specializzato e capace di gestire dei sistemi più complessi.

In figura 6 è rappresentato un esempio di operatore che effettua controlli alle colture in una vertical farm.



Figura 6: Operatore in una vertical farm

I costi di approvvigionamento includono l'acquisto di semi, fertilizzanti, substrati e altri materiali necessari per l'attività di coltura.

Rappresentano un'ulteriore voce i costi relativi a manutenzione e riparazioni, poiché è fondamentale sia programmare la manutenzione delle attrezzature necessarie sia disporre di fondi per le eventuali riparazioni dei macchinari; inoltre, è da includere tra i costi la gestione dei rifiuti agricoli e degli imballaggi.

I costi operativi comprendono tutte le voci di competenza di un'azienda, quali spese amministrative, costi di marketing, costi relativi alla distribuzione, le certificazioni se si adottano degli standard specifici, ma anche tasse e altre spese generali.

Nelle vertical farms risulta frequente ricevere dei finanziamenti o contrarre dei prestiti; dunque, è necessario considerare gli interessi e le spese finanziarie associate.

I costi relativi all'ammortamento dell'investimento iniziale, come la struttura e le attrezzature devono essere inclusi nei costi di gestione. Bisogna tenere conto dei costi per la gestione della qualità dell'aria e dell'acqua, in quanto investimenti in sistemi di purificazione dell'aria e dell'acqua possono essere necessari per garantire condizioni ottimali per la crescita delle piante.

Infine, qualora si stia effettuando sperimentazione circa nuove tecnologie o pratiche di coltivazione, possono emergere costi aggiuntivi legati alle attività di R&D.

I costi di produzione di una vertical farm, invece, dipendono dalla quantità di produzione e dalla gestione dei costi sopra menzionati. Non esiste un rapporto lineare tra costi e quantità prodotta; pertanto, il costo di produzione finale è influenzato dall'ottimizzazione del volume di coltivazione.

Dunque, le vertical farms possono rappresentare un investimento significativo a causa degli elevati costi di cui necessita, in particolare quelli energetici.

Al momento le vertical farms risultano più costose rispetto alle coltivazioni tradizionali, ma, nonostante ciò, offrono vantaggi come il controllo della qualità e quantità, il monitoraggio dei valori nutrizionali, la sicurezza alimentare, la sostenibilità dei prodotti, la riduzione dell'inquinamento legato al trasporto e la non stagionalità delle colture. [15] [30] [31] [32]

Per completare quanto precedentemente esposto sui costi, sono state condotte ricerche riguardo agli studi già effettuati in letteratura circa i costi necessari per avviare e sostenere una vertical farm. La ricerca è stata condotta tramite *query* su Scopus e Google Scholar; tuttavia, solo il primo motore di ricerca ha prodotto risultati *in scope*.

Le *query* che hanno condotto a risultati significativi sono state "*vertical farming return on investment analysis*", che ha portato ad ottenere tre risultati, di cui due considerati rilevanti per la trattazione, e successivamente "*costs and revenues in vertical farming businesses*", che anch'essa ha suggerito tre risultati, di cui ne è stato considerato soltanto uno. Complessivamente, quindi, sono state utilizzate informazioni provenienti da tre documenti presenti su Scopus.

Le *query* eseguite, i relativi output e documenti utilizzati per il capitolo sono presentati in tabella 1.

Tabella 1: Resoconto *query* eseguite per articoli circa l'analisi dei costi di una vertical farm

QUERY ESEGUITA	MOTORE DI RICERCA	DOCUMENTI OUTPUT	DOCUMENTI ANALIZZATI
<i>vertical farming return on investment analysis</i>	Scopus	3	2
<i>costs and revenues in vertical farming businesses</i>	Scopus	3	1

Il riferimento [33] in analisi, proviene da uno studio condotto presso l'Università di *Science and Technology* di Wuhan, in Cina. L'idea proposta in tale studio è la costruzione di una vertical farm interna all'università per fornire cibo senza la necessità di trasportarlo, considerando che 57.839 persone utilizzano le 24 mense dell'università ogni giorno (dato aggiornato al 2018). Utilizzando il teorema del limite centrale, è stato calcolato lo scenario finanziario della costruzione di una vertical farm per fornire cibo internamente all'università. Viene anche proposto un calcolo del punto di pareggio in anni, sia in uno scenario di recupero più rapido sia più lento. Si sottolinea che l'eccesso di produzione interno al campus non dovrebbe essere sprecato, ma donato o venduto all'esterno dell'università. [33]

Il secondo riferimento considerato [34], dedica circa una ventina di pagine all'analisi di fattibilità di una vertical farm.



Gli autori sostengono che i calcoli effettuati fino a quel momento sono approssimativi; pertanto, propongono l'utilizzo di un software chiamato VFer, sviluppato appositamente per fornire una soluzione. [34]

VFer effettua analisi in tre città diverse: Shanghai, Londra e Washington DC.

Il software ha due funzioni principali: la stima preliminare del design e l'analisi di un progetto con budget fisso. Il processo per la prima funzione può essere completato in circa tre minuti. Si notano interessanti formule nel calcolo dei diversi costi necessari, come il prezzo del terreno, il costo di costruzione, il costo del sistema e il costo operativo. Inoltre, VFer simula e presenta il valore massimo dell'area della vertical farm che può essere costruita sotto vincoli di budget. [34]

L'ultimo studio che si cita, il riferimento [35], condotto attraverso statistiche descrittive, ha indagato su coltivatori e produttori di cipolle nelle Filippine, confrontando il metodo tradizionale di agricoltura con un sistema idroponico verticale.

Gli esiti della ricerca evidenziano che i determinanti finanziari più rilevanti che influenzano la sostenibilità di modelli aziendali per la produzione di cipolle sono i costi di produzione, i prezzi di mercato e il rendimento. [35]

Nello specifico, il costo medio di produzione per chilogrammo di cipolle, nel contesto delle coltivazioni verticali e sistemi idroponici, ammonta a 1,20\$, mentre il prezzo medio di mercato per lo stesso quantitativo di cipolle è di 2,50\$. Questa configurazione si traduce in un margine di profitto medio del 52%, notevolmente superiore a quello riscontrato nei sistemi tradizionali di produzione di cipolle. [35]

## 2.7 IoT NEL VERTICAL FARMING

Il vertical farming si basa sull'approccio noto come agricoltura ad ambiente controllato (CEA), che consente la gestione completa delle condizioni ambientali.

In relazione a questo concetto, il riferimento [36] esamina il ruolo dei sistemi di sensori basati sull'Internet of Things (IoT) e sottolinea come questa tecnologia possa fornire dati in tempo reale, dando ai coltivatori la possibilità di prendere decisioni basandosi su tali dati, e dunque, migliorare l'efficienza complessiva delle attività.

Nel dettaglio, il riferimento [36] definisce l'Internet delle cose (IoT) come una rete interconnessa di dispositivi fisici, sensori e attuatori integrati con elettronica e *software*.

Nell'ambito dell'agricoltura verticale, l'IoT viene utilizzato con il fine di monitorare e ottimizzare in modo continuo alcuni parametri relativi alle condizioni di crescita delle colture, come ad esempio illuminazione, livelli di nutrienti, temperatura e umidità. Inoltre, la tecnologia IoT ha il potenziale per automatizzare molte attività e consentire il controllo a distanza tramite sensori e attuatori, come ad esempio il monitoraggio e la regolazione dell'irrigazione e dei livelli di  $CO_2$ , contribuendo alla riduzione della manodopera necessaria.

Nell'ambito di un sistema di agricoltura verticale basato sull'IoT, i sensori sono installati all'interno dell'azienda agricola per raccogliere dati sulle diverse condizioni ambientali.

L'esperimento descritto nella fonte [36] riporta che i dati acquisiti dai sensori vengono inizialmente memorizzati su una piattaforma Arduino e successivamente trasmessi ad un computer tramite un modulo Ethernet. I dati raccolti vengono quindi trasferiti alla piattaforma IoT ThingSpeak e sono accessibili tramite l'applicazione mobile VertiFarmControl per dispositivi Android.

Questa applicazione mobile consente di visualizzare in tempo reale i dati provenienti dai sensori e di avvisare l'utente nel caso in cui i valori rilevati esulino dall'intervallo predefinito.

Per comprendere meglio la struttura di questo sistema, come riportato nel riferimento [36], vengono utilizzati sensori che fungono da nodi LoRa di Classe A dedicati alla lettura dei dati dei sensori. L'utilizzo di nodi LoRa permette la comunicazione su lunghe distanze utilizzando segnali a bassa potenza, rendendoli ideali per ambienti remoti come le strutture di vertical farming.

In aggiunta, l'appellativo "Classe A" denota che questi sensori sono concepiti per trasmettere dati in modo regolare, assicurando una trasmissione efficiente senza elevato consumo di energia.

Un altro componente fondamentale è il *gateway*, il quale riveste un ruolo di grande importanza nell'agevolare la comunicazione tra i sensori e il servizio di archiviazione e analisi dati basato su *cloud*. Il *gateway* riceve i dati sotto forma di pacchetti e li instrada verso il servizio *cloud* attraverso il protocollo IP.

Nell'ambito della creazione di reti IoT, è comune l'utilizzo di Raspberry Pi come *gateway* per i sensori. Il Raspberry Pi è un computer di dimensioni ridotte e dal costo contenuto.

Infine, come indicato nello studio [36], è essenziale avere a disposizione un server, che può essere descritto come un computer o un dispositivo incaricato di gestire le comunicazioni e il trasferimento dei dati all'interno di una rete. In questa situazione, il server di rete può essere ospitato su *Amazon Web Services (AWS)* o su un Raspberry Pi.

Il sistema appena descritto è rappresentato in maniera piuttosto semplificata nella figura 7.

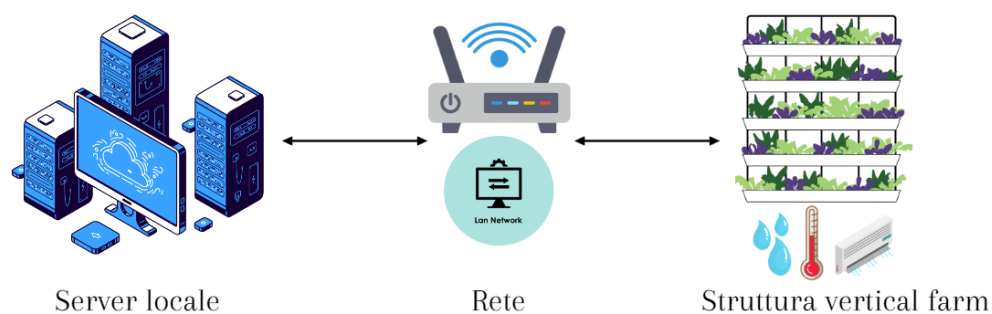


Figura 7: Sistema di vertical farming basato su IoT (personal elaboration)

Un'ulteriore fonte di riferimento risulta essere quanto presente in [37], che tratta della progettazione e dell'implementazione di un sistema di monitoraggio automatico per coltivazioni idroponiche verticali indoor.

Questo sistema automatico di coltivazione idroponica verticale è costituito da tre elementi chiave:

1. un modulo di coltivazione indoor dotato di un controller addestrato per l'IoT;
2. l'utilizzo di diversi tipi di sensori per le piante, rendendo il sistema in questione completamente automatico e monitorabile attraverso applicazioni mobili;

3. l'impiego di un sistema basato su *cloud*, il quale è stato sviluppato con l'utilizzo della piattaforma ThingsCentral come server dati. Questo sistema è progettato per memorizzare, raccogliere e ricevere dati sia dagli utenti sia dalle colture.

Di conseguenza, l'utente o il gestore del sistema di coltivazione ha la possibilità di accedere in qualsiasi momento e da qualsiasi luogo alle informazioni riguardanti le colture. Questo accesso può avvenire attraverso un dispositivo connesso a Internet, come un computer o un dispositivo mobile. Inoltre, è disponibile un'applicazione web che consente agli utenti di monitorare le proprie piante in tempo reale, fornendo dati chiari tramite figure e grafici. [37]

Per avere una migliore comprensione della struttura di una vertical farm di tale tipologia, di seguito sono elencati i principali componenti menzionati nel documento [37]:

- il sistema di coltivazione idroponica verticale indoor, che fa riferimento alla struttura fisica;
- il modulo microcontrollore, in particolare in tal caso è il NodeMCU;
- sensori di pH e conducibilità elettrica;
- sensori di temperatura e umidità;
- sensori di sensibilità alla luce;
- sensori di tensione e corrente;
- un modulo di visualizzazione a diodi organici emissivi;
- l'applicazione server, in particolare in tal caso è ThingsCentral;
- il metodo di autenticazione a due fattori.

Inoltre, in questa analisi viene fornito un quadro dettagliato del funzionamento del sistema attraverso un diagramma di flusso complessivo.

In dettaglio, il diagramma di flusso comincia con il controller *hardware* NodeMCU che richiede inizialmente la trasmissione e la ricezione di dati attraverso il modulo web basato su ThingsCentral. Subito dopo, il controller avvia la fase uno dell'autenticazione, la quale prevede che siano forniti al servizio web ThingsCentral i codici di accesso dello *user*, del progetto e del *gateway*.

Solo se questi codici vengono validati con successo, ThingsCentral procede a emettere una seconda richiesta di autenticazione.

Nella seconda fase dell'autenticazione, l'utente è tenuto a verificare l'autenticazione della richiesta al fine di iniziare l'operazione relativa a un modulo di coltivazione specifico, che è individuato dall'ID del *gateway*. Se l'utente manifesta il suo assenso e accetta, si procede con l'autenticazione della richiesta, permettendo a ThingsCentral di continuare con il resto del processo, senza interruzioni da parte del controller stesso. In caso contrario, qualora l'utente non confermi l'autenticazione, l'intero processo viene annullato, e il controller del modulo di coltivazione idroponica riceve una notifica che segnala il rifiuto della richiesta.

Come in ogni diagramma di flusso, sono previsti due scenari distinti in base al fatto che le azioni hanno successo (e il processo continua) o che si verificano errori (e la richiesta viene annullata). [37]

In modo simile allo studio presentato da [37], anche l'ultima analisi proposta per tale sotto capitolo riguarda una vertical farm idroponica e l'implementazione di un sistema idroponico automatico, tramite la piattaforma IoT per realizzare il controllo automatico.

Lo scopo della ricerca in [38] è stato ottimizzare l'efficienza della coltivazione e garantire un controllo preciso dei nutrienti, cercando inoltre di migliorare l'efficienza nell'uso dell'acqua.

Nel sistema automatizzato descritto in [38], il microcontrollore centrale offre la possibilità di controllare e monitorare tutti i sensori collegati al sistema verticale idroponico.

Per la gestione delle luci artificiali, della pompa dell'acqua e delle pompe dosatrici utilizzate per regolare il pH e l'apporto di nutrienti all'acqua, è stato adoperato un modulo a relè.

Inoltre, i dati acquisiti dal circuito del microcontrollore sono stati trasmessi in modalità wireless ad un *database* online tramite Wi-Fi. È stata anche effettuata una supervisione continua del consumo energetico attraverso il sottosistema del misuratore di potenza, il quale può essere espanso per adattarsi alle esigenze di coltivazioni su vasta scala. [38]

Infine, nel contesto di questo progetto, si afferma che l'utente ha la capacità di monitorare e visualizzare vari parametri, oltre a ricevere notifiche tramite messaggi SMS in caso di problemi. Attraverso la piattaforma IoT, è possibile estrarre i dati in un formato CSV, che può essere utilizzato per sviluppare algoritmi di apprendimento automatico. Inoltre, il sistema genera una vasta quantità di dati che possono essere impiegati per addestrare algoritmi di apprendimento tradizionali e avanzati, mirando a migliorare le prestazioni del sistema automatico di controllo. [38]

## 2.8 INNOVAZIONE NEL VERTICAL FARMING

Il termine "innovazione" è ormai un concetto comune nella quotidianità della società attuale, talvolta però viene utilizzato impropriamente. A questo punto della trattazione, è opportuno sottolineare che il vertical farming rappresenta un importante passo avanti rispetto all'agricoltura tradizionale; questo porta a riflettere sulla natura stessa dell'innovazione e a distinguere chiaramente tra ciò che si configura come "innovazione" e "invenzione".

Le fonti definiscono l'invenzione come il processo di concepire una nuova soluzione per un problema, o il risultato stesso di tale processo. Quest'ultimo è strettamente connesso all'ambito della tecnologia, che si prefigge di ideare e successivamente validare nuovi dispositivi o soluzioni.

L'innovazione, invece, è riconosciuta quando l'invenzione viene portata sul mercato e diventa accessibile alla società. Più precisamente, l'innovazione si realizza quando un'idea o un'invenzione vengono commercializzate, acquistate e risultano integrate nella vita quotidiana delle persone.

Gli economisti hanno sempre riconosciuto l'importanza dell'impatto economico della tecnologia e dell'innovazione, ma inizialmente consideravano queste come forze esogene all'economia, quasi come disturbi da studiare solo da una prospettiva tecnica.

Schumpeter, invece, è stato un precursore nel riconoscere che in realtà la tecnologia e l'innovazione sono elementi endogeni all'economia; dunque, l'innovazione ha un vero e proprio impatto sull'economia.

Per comprendere i passaggi che trasformano un'invenzione in un'innovazione, si fa riferimento al modello lineare dell'innovazione. Tale modello rappresenta in modo semplificato il processo di sviluppo e diffusione di nuove tecnologie, sebbene non tenga pienamente conto della complessità del mondo reale.

È bene specificare che questo modello, il quale sarà esaminato in seguito nel dettaglio, non è attribuibile a un singolo individuo, ma è il risultato del contributo di numerosi studiosi, tra cui Schumpeter.

Tuttavia, è importante riconoscere che il modello lineare dell'innovazione ha subito critiche e revisioni nel corso del tempo. Molteplici studiosi hanno ammesso che il processo di innovazione è spesso molto più complesso rispetto a quanto suggerito dal modello lineare; infatti, la relazione che lega ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e applicazione, può risultare articolata. [39]

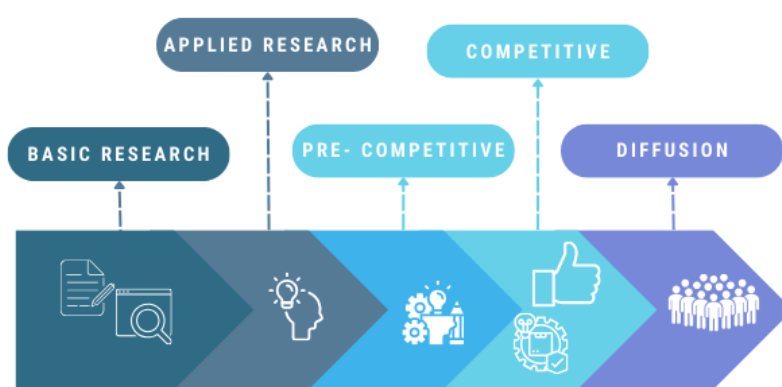


Figura 8: Modello lineare dell'innovazione (personal elaboration)

Il modello lineare dell'innovazione, visibile nella figura 8 presenta una serie di fasi, che vengono lette in sequenza da sinistra verso destra.

Cominciando da sinistra, si incontra la cosiddetta ricerca di base o *basic research*, la quale si presenta come una ricerca totalmente teorica, ed è l'attività responsabile della scoperta, che si focalizza sui principi di base, sul progresso della conoscenza scientifica con il fine di comprendere completamente argomenti e fenomeni naturali.

Proseguendo si analizza la ricerca applicata o *applied research* che, come suggerisce il nome, è l'applicazione della tecnologia negli specifici settori, dunque ha un approccio pratico.

Il risultato di questa fase è il dimostratore, il quale ha come scopo dimostrare che l'invenzione in questione è tecnicamente praticabile.

In queste prime due fasi sono coinvolti principalmente attori pubblici, quali università e centri di ricerca: ciò accade perché il loro obiettivo è diffondere la conoscenza, mentre le imprese hanno come obiettivo proteggere la loro conoscenza per mantenere il vantaggio competitivo; dunque, le organizzazioni sono presenti nelle fasi di sviluppo prodotto. [39] [40]

Procedendo, notiamo lo sviluppo prodotto, ed è prassi suddividerlo in due fasi: fase precompetitiva e fase competitiva.

L'elemento discriminante è che la fase precompetitiva porta a prototipi che non hanno valore commerciale, ovvero non possono essere venduti, mentre la fase competitiva riguarda il prodotto

reale che sarà lanciato sul mercato: si parla dunque di innovazione e si ottiene la diffusione della tecnologia.

Chiarito il modello, è possibile collocare il vertical farming in una di queste fasi. Effettuando una valutazione, sulla base della definizione di ogni fase, si è deciso di inserire il vertical farming in fase competitiva, questo perché nonostante si stia ancora facendo molta ricerca in merito, sono già presenti diverse strutture di vertical farming sul mercato, sia nazionale sia internazionale; pertanto, i prodotti ottenuti nelle vertical farms trovano una commercializzazione.

La letteratura definisce, inoltre, diverse classificazioni per le innovazioni: troviamo ad esempio innovazioni di prodotto, di processo, di marketing e organizzative.

Applicando tali tipologie di innovazione al vertical farming, è possibile attribuire tale pratica ad un'innovazione di processo, qualora si scelga di rapportarlo all'agricoltura tradizionale. L'innovazione di processo si configura come l'implementazione di un metodo di produzione o distribuzione, che sia nuovo o nettamente migliorato, incluse modifiche considerevoli nella tecnologia o nelle attrezzature utilizzate. Dunque, sicuramente non si tratta di un'innovazione di prodotto, poiché secondo la letteratura, un'innovazione in tal senso implicherebbe l'introduzione di un bene o di un servizio non esistente precedentemente, mentre invece lo scopo del vertical farming è proprio ottenere medesimi prodotti tramite una differente modalità. [39] [41]

Secondo le fonti, è possibile adottare una classificazione più dettagliata dell'innovazione utilizzando il modello sviluppato da Henderson e Clark. Tale modello distingue le innovazioni in funzione del fatto che cambi la tecnologia o che si modifichi la relazione tra i componenti, dunque l'architettura.

Il modello, che è rappresentato nella figura 9, coinvolge due dimensioni principali.

Relationships between components	Do not change	Change
Reference technologies		
Change	Modular innovation	Radical innovation
Do not change	Incremental innovation	Architectural innovation

Figura 9: Modello di Henderson & Clark, 1990 [31]

Esaminando l'asse relativo alla relazione tra i componenti, è possibile distinguere due tipi di innovazione: se tale relazione rimane invariata (indicato nella figura 9 come *do not change*), e qualora la tecnologia di base subisca cambiamenti significativi (*change*), si verificano innovazioni modulari; mentre si manifestano innovazioni incrementali quando la tecnologia di base risulta solamente migliorata, senza subire cambiamenti sostanziali (indicato nella figura 9 come *do not change*).

D'altra parte, quando la relazione tra i componenti subisce modifiche significative (indicato nella figura 9 come *change*), si parla di innovazione architeturale o radicale. Nell'ambito dell'innovazione radicale, sia la tecnologia di base sia l'architettura del prodotto subiscono cambiamenti profondi (la cella rappresenta l'incrocio di entrambi gli assi etichettati come *change* nella figura 9), inoltre affinché un'innovazione sia definita radicale, deve necessariamente essere architeturale.

A titolo di esempio, il vertical farming è considerato un'innovazione radicale, qualora venga paragonato sia all'agricoltura tradizionale sia all'agricoltura in serra.

È da sottolineare che le innovazioni di tipo radicale sono le più complesse da realizzare, come suggerisce il termine stesso, e non sono molto comuni in quanto le imprese sono consapevoli delle sfide che una tale innovazione porta ad affrontare.

Infatti, spesso le aziende sono frenate nell'abbracciare innovazioni radicali, questo può comportare per esse la perdita di opportunità significative, in quanto accade che *new entrants* nel settore accettino la sfida e approfittano di tali opportunità. [39] [42]

## 2.9 TENDENZE FUTURE E PREVISIONI DI MERCATO NEL VERTICAL FARMING

Il presente elaborato esamina il vertical farming come alternativa innovativa all'agricoltura tradizionale. Attraverso l'analisi delle tendenze di mercato [43], si evidenzia come questo settore abbia registrato una crescita esponenziale, alimentata dalla combinazione di una popolazione in aumento e una crescente attrattività per la vita urbana. Nel 2022, il mercato dell'agricoltura verticale ha raggiunto i 5,6 miliardi di dollari statunitensi, ma si ipotizza un aumento oltre i 35 miliardi di dollari statunitensi entro il 2032, come illustrato in figura 10. [43]

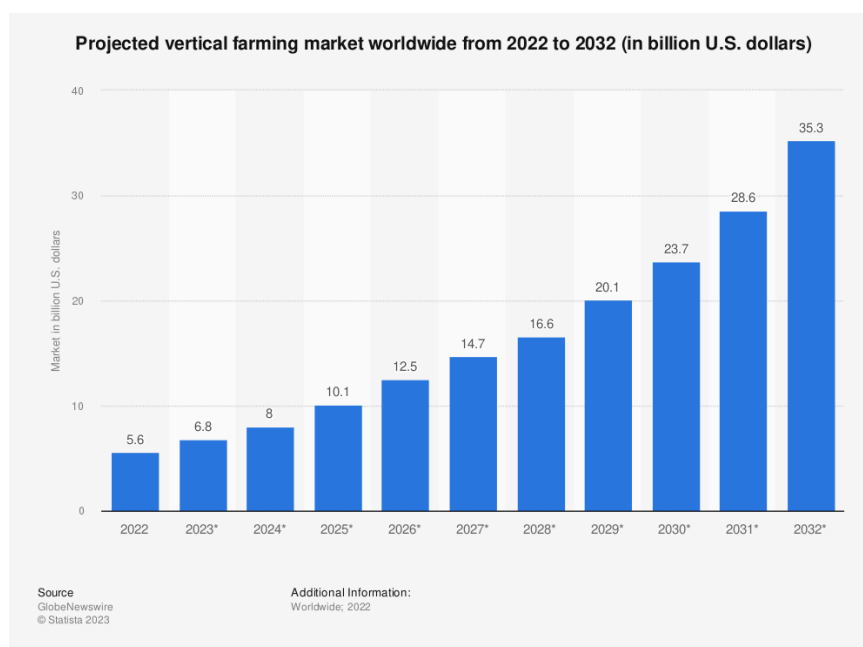
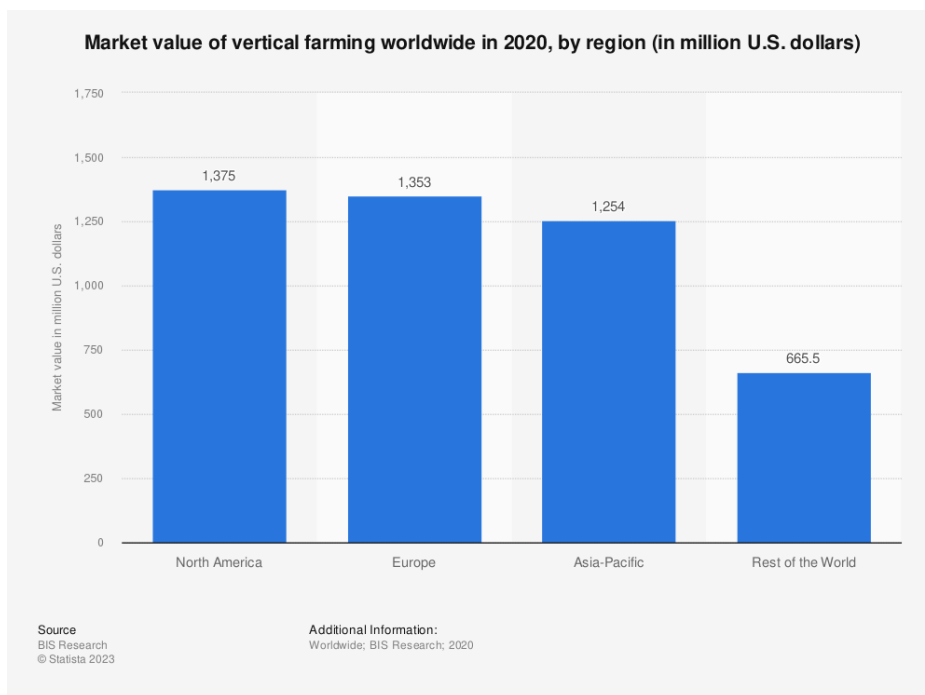


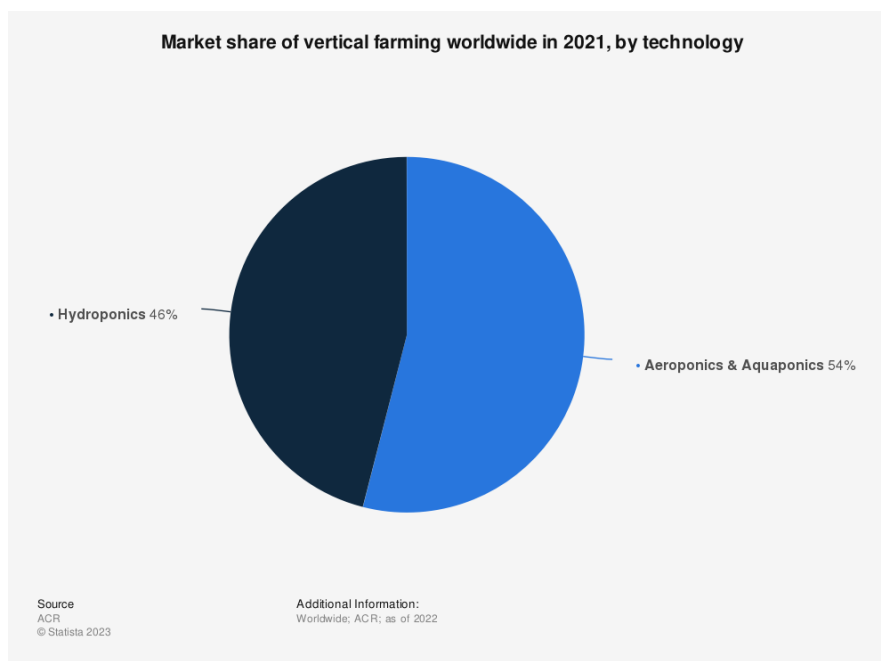
Figura 10: Proiezione del vertical farming nel mercato mondiale dal 2022 al 2032 in miliardi di dollari americani [43]

Valutando il settore in relazione ai diversi continenti, nel 2020 il Nord America ha guidato il mercato dell'agricoltura verticale con un valore di circa 1,4 miliardi di dollari statunitensi, seguito dall'Europa, dall'Asia e dal resto del mondo, come illustrato in figura 11. [43]



**Figura 11: Valore di mercato del vertical farming a livello mondiale nel 2020 per continenti in milioni di dollari americani [43]**

Precedentemente sono state esaminate le tecniche di coltivazione verticali: l'idroponica, l'aerponica e l'acquaponica. Conformemente a quanto presentato in figura 12, l'idroponica ha dominato la quota di mercato globale nel 2021, rappresentando il 46%, mentre aerponica e acquaponica insieme costituivano il restante 54%. [43]



**Figura 12: Market share del vertical farming a livello mondiale nel 2021, in base alla tecnologia [43]**

Ulteriori dettagli sulla suddivisione della *market share* in base ai meccanismi di crescita delle colture sono presentati in [44] confermando che l'idroponica prevale con il 52,51%, seguita dall'acquaponica al 30,16%, e l'aerponica al 17,33%. (figura 13)



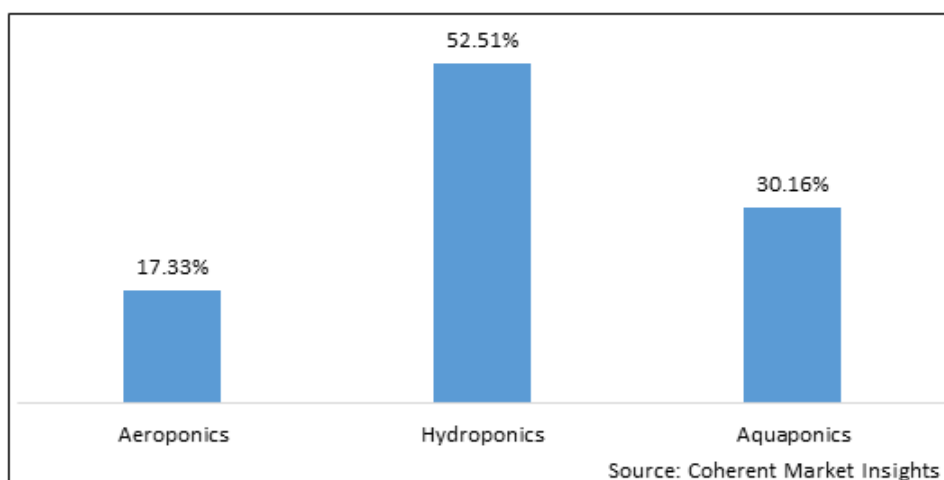


Figura 13: Market share per tecnologia del vertical farming [44]

Tale tesi dedica particolare attenzione alla produzione orticola nel contesto del vertical farming; tuttavia, come indicato in [44], esistono altri fattori che influenzano la crescita del mercato dell'agricoltura verticale, tra cui il progresso tecnologico e l'emergere di nuovi attori.

In merito a questi ultimi, infatti, si prevede che il settore trarrà vantaggio anche dallo sviluppo delle industrie cosmetiche e medicinali, nutraceutiche e dall'aumento di produzione degli articoli biofarmaceutici.

Nonostante gli indiscutibili vantaggi, come evidenziato nella trattazione (cap. 2.6) il vertical farming si confronta con sfide significative: i costi di avviamento e mantenimento elevati e il consumo energetico rappresentano ostacoli, influenzando i prezzi al consumatore finale, come anche evidenziato in [44].

Tuttavia, in controtendenza, il vertical farming emerge come una soluzione sostenibile, soprattutto in aree con condizioni climatiche estreme o limitazioni di spazio agricolo. [45]

Focalizzandosi su alcuni dati recenti relativi al settore del vertical farming, secondo le informazioni fornite in [46], nel 2023 la dimensione del mercato globale dell'agricoltura verticale è stata stimata a 6,92 miliardi di dollari. Si prevede quindi che tale mercato crescerà a un tasso di crescita annuo composto (CAGR) del 20,1% nel periodo temporale dal 2023 al 2030.

Tale crescita è attribuita principalmente all'incremento dell'adozione di pratiche di produzione eco-friendly di frutta e verdura, mentre la crescente domanda è alimentata dall'espansione della popolazione globale. [46]

Pertanto, emerge che il mercato dell'agricoltura verticale è in costante crescita, trainato dall'innovazione tecnologica, dal cambiamento climatico e dalla scarsa disponibilità delle risorse, ma anche dai mutamenti nelle preferenze dei consumatori.

Nonostante le sfide in essere, la sostenibilità e l'efficienza di questo metodo agricolo delineano un futuro promettente, che auspica una produzione alimentare più consapevole e sostenibile.

### 3 UN CONFRONTO CON L'AGRICOLTURA TRADIZIONALE

L'idea alla base delle vertical farms consiste nel riportare nella struttura urbana l'elemento produttivo, precedentemente emarginato a vantaggio della costruzione di centri di servizi. L'intento è quello di conferire alla città la capacità di essere autosufficiente tramite il proprio processo di autoproduzione. [47]

Il vertical farming presenta una serie di aspetti positivi e negativi che meritano un'analisi accurata, al fine di determinare se tale pratica possa effettivamente costituire una soluzione efficace per soddisfare la crescente richiesta di cibo e mitigare l'impatto ambientale delle coltivazioni.

Nella tabella di seguito (tabella 2) sono presentati in modo riassuntivo gli aspetti che saranno discussi nei capitoli 3.1 e 3.2, rispettivamente circa vantaggi e svantaggi relativi al vertical farming.

Tabella 2: Vantaggi e svantaggi del vertical farming

VANTAGGI	SVANTAGGI
Riduzione dell'utilizzo di suolo	Ingenti investimenti iniziali e costi di avviamento per la struttura
Riduzione delle risorse idriche e del consumo di acqua	Elevati costi di produzione e gestione
Riduzione delle emissioni di gas serra	Necessità di illuminazione continua che implica costi elevati legati all'energia
Aumento della resa agricola dovuto alla distribuzione delle colture su livelli sovrapposti	Ridotta gamma di piante coltivabili attualmente
Assenza di pesticidi, erbicidi fertilizzanti chimici; limitato uso di fitofarmaci	Elevata sensibilità delle colture alle minime fluttuazioni delle condizioni ambientali create nella struttura
Presenza di sistema di filtraggio e purificazione dell'aria per prevenire contaminazioni alimentari da inquinanti gassosi	Rischi per la sopravvivenza e riproduzione di insetti impollinatori, in quanto l'impollinazione avviene manualmente
Riduzione delle tempistiche di trasporto del prodotto	Necessità di personale altamente qualificato e specializzato
Utilizzo di spazi già edificati per le vertical farms (magazzini riconvertiti, strutture industriali, etc)	Elevati prezzi dei prodotti per il consumatore finale
Approccio maggiormente controllato e automatizzato	
Eliminazione della stagionalità delle colture grazie all'ambiente chiuso e controllato	

### 3.1 VANTAGGI DEL VERTICAL FARMING

Di seguito sono presentati nel dettaglio i vantaggi relativi alla pratica di vertical farming, rapportati rispetto alla pratica di agricoltura tradizionale.

In primis, l'adozione del vertical farming favorisce una minore utilizzazione del suolo, contribuendo a ridurre fenomeni come la deforestazione e sfruttando ambienti non agricoli per le coltivazioni. Contestualmente, l'agricoltura verticale permette di limitare l'impiego del suolo specificamente a fini agricoli. [48] [49]

Tuttavia, l'adozione di pratiche come l'agricoltura verticale si dimostra efficace non solo nel ridurre l'utilizzo del suolo, come precedentemente discusso, ma anche nel promuovere un considerevole risparmio idrico. [48]

Infatti, il vertical farming consente il riutilizzo dell'acqua attraverso cicli di depurazione adeguati, e può raggiungere fino al 90% di utilizzo di acqua in meno rispetto alle tecniche di agricoltura tradizionale. [49] [50]

Ad esempio, secondo [49] la quantità d'acqua necessaria per produrre un chilo di lattuga passa da 250 *L* in campo aperto a soli 20 *L* in una serra, fino a raggiungere 1 litro in una vertical farm.

Inoltre, come riportato in [51] l'acqua riciclata in cicli continui non solo supporta la coltivazione, ma viene anche impiegata per alimentare teche di pesci da allevamento situate nella stessa struttura. Queste vasche forniscono, a loro volta, preziosi fertilizzanti utilizzabili per le piante. [51]

Va sottolineato che la riduzione del consumo idrico fino al 90% rispetto all'agricoltura tradizionale è resa possibile grazie all'adozione di tecniche avanzate come l'idroponica, l'aeroponica e l'acquaponica, che rappresentano innovazioni significative nel panorama agricolo moderno. [47]

Procedendo con l'analisi, un ulteriore aspetto fondamentale del vertical farming risulta essere la capacità di ridurre le emissioni di gas serra, contribuendo così a rendere il sistema compatibile con i principi dell'agricoltura sostenibile. [48]

Questo risultato è ottenuto attraverso la riduzione delle emissioni legate al trasporto degli alimenti. Infatti, accorciando le distanze tra il luogo di produzione e il consumatore finale, si ottiene un significativo taglio delle emissioni di gas serra, particolarmente rilevanti nel trasporto di prodotti fuori stagione e provenienti da Paesi lontani. In questo contesto, la flessibilità offerta dalla coltivazione in qualsiasi momento dell'anno contribuisce ulteriormente a minimizzare l'impatto ambientale. [49]

Inoltre, anche la produzione delle coltivazioni in prossimità dei centri urbani contribuisce a una riduzione significativa delle emissioni di  $CO_2$ . Questo approccio si allinea con la strategia di sviluppo sostenibile, favorendo la sostenibilità ambientale nel contesto agricolo. [47]

L'incremento significativo nella resa agricola rappresenta uno degli aspetti distintivi delle vertical farms. Secondo quanto riportato in [49], la produzione di lattuga al metro quadro in campo aperto si attesta a circa 3,9 *kg*, mentre tale valore si eleva a 41 *kg* in serra e varia tra gli 80 *kg* e i 120 *kg* nelle vertical farms. [49]

Un ulteriore aspetto riguarda la possibilità di raddoppiare gli spazi destinati alla coltivazione nelle vertical farms, rispetto al caso dell'agricoltura convenzionale, in quanto nel primo caso la distribuzione delle piante avviene su più livelli. [52]

Procedendo con la trattazione, è opportuno menzionare l'assenza di pesticidi, erbicidi e altri fertilizzanti chimici nelle vertical farms, dovuta al loro sistema chiuso e altamente controllato. Questa caratteristica elimina la necessità di ricorrere a prodotti artificiali per la gestione di insetti e agenti patogeni. [48] [49]

Si registra, inoltre, un limitato impiego di fitofarmaci, poiché il sistema in questione è notevolmente più controllato rispetto all'agricoltura tradizionale, riducendo il rischio di attrarre parassiti. [50]

Inoltre, le vertical farms offrono la possibilità di filtrare l'aria all'interno degli edifici mediante appositi dispositivi di purificazione, prevenendo così eventuali contaminazioni alimentari causate da inquinanti gassosi presenti nell'atmosfera. Questo sistema di filtraggio, essenziale soprattutto nelle grandi città, contribuisce a mantenere le sostanze inquinanti all'esterno delle strutture di vertical farming. [47] [53]

Le strutture di vertical farming presentano la capacità di fornire produzioni continue durante tutto l'arco dell'anno. [48]

Questa costante disponibilità di coltivazioni garantisce prodotti di elevata qualità e sicuri per la salute umana, grazie alla possibilità di rispondere in modo controllato e personalizzato alle specifiche esigenze delle diverse piante, anche al di fuori della stagione naturale di crescita. [49] Inoltre, nelle vertical farms si preservano le coltivazioni dalle intemperie climatiche. [51]

Le vertical farms emergono come una soluzione potenziale per ridurre la distanza tra il luogo di coltivazione e i consumatori finali, facilitando la produzione direttamente all'interno delle aree urbane. In aggiunta, la tecnologia del vertical farming minimizza il rischio di contaminazione alimentare da inquinanti gassosi presenti nell'aria urbana, poiché consente la coltivazione in ambienti chiusi e protetti. [49]

In linea con questa prospettiva, si sta attivamente promuovendo il ritorno della produzione all'interno delle città, riducendo la dipendenza esterna. L'obiettivo è trasformare le città non solo in centri di servizi, ma anche in hub produttivi e autosufficienti. [53]

Inoltre, l'approccio del vertical farming consente la riconversione di magazzini, strutture industriali e edifici preesistenti. Queste locazioni vengono adoperate per ospitare le vertical farms, aspetto che risulta positivo poiché l'intento è quello di massimizzare l'utilizzo di spazi già edificati. [50]

In aggiunta, questo tipo di coltivazione verticale e al chiuso, introduce un approccio maggiormente controllato e automatizzato. [51]

Infine, tra i benefici dell'agricoltura verticale, è da sottolineare l'implementazione di pratiche agricole all'avanguardia, che favoriscono la ricerca e lo sviluppo di metodi innovativi ed efficienti di coltivazione.

Questo rappresenta un aspetto centrale, che evidenzia un significativo impulso verso l'innovazione tecnologica. [48]

### 3.2 SVANTAGGI DEL VERTICAL FARMING

Nonostante siano stati precedentemente citati importanti vantaggi, le vertical farms non rappresentano sistemi di produzione privi di difetti. Dunque, di seguito saranno illustrati i principali svantaggi associati a questa pratica.

Inizialmente, è importante notare che la costruzione di una vertical farm comporta notevoli investimenti iniziali, con costi che attualmente superano abbondantemente i 100.000€. [48] [50] [51] L'aspetto economico rappresenta uno degli svantaggi principali della coltivazione verticale, essendo legato a spese significative per la creazione o ristrutturazione delle strutture, l'acquisto di attrezzature e l'installazione di sistemi di illuminazione e climatizzazione. [52]

Anche i costi di produzione e gestione risultano particolarmente elevati, con un'attenzione particolare rivolta al costo dell'energia. [49]

Il mantenimento delle strutture di vertical farming implica notevoli spese energetiche, rendendo talvolta l'approccio poco conveniente. Per mitigare questi costi, è essenziale investire in tecnologie mirate al risparmio energetico e fonti di energia rinnovabile, come l'energia solare fotovoltaica e l'eolico. Dunque, l'auto-produzione di energia tramite impianti fotovoltaici e minieolici emerge come strategia cruciale. Questo approccio non solo riduce i costi energetici, ma contribuisce anche a diminuire l'impronta di carbonio delle vertical farms, rendendole più competitive ed ecologiche. [48]

Come specificato in [54], gli elevati consumi energetici sono dovuti al mantenimento delle condizioni di coltivazione ottimali in termini di luce e temperatura. [54]

Inoltre, le vertical farms richiedono un'intensa illuminazione artificiale a causa della disposizione verticale delle coltivazioni. Questo, unito alla necessità di automatizzare i processi e mantenere costanti i parametri vitali, contribuisce a un costo energetico medio per chilogrammo di prodotto significativamente superiore rispetto alle serre tradizionali. [54]

Inoltre, la sfida del 2022 caratterizzata da un aumento dei costi energetici, ha impattato anche il settore del vertical farming. In accordo con quanto affermato in [48], anche secondo [55], per rendere questa pratica più sostenibile e a basso consumo, sono necessari interventi come l'uso di lampade e LED e l'installazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, come fotovoltaico ed eolico.

Un ulteriore svantaggio riguarda il fatto che la gamma di piante coltivabili in vertical farm è ancora molto ridotta e si limita per lo più ad alcune tipologie di ortaggi a foglia verde, funghi e bacche. Esclusi invece, perlomeno allo stato attuale, sono legumi e cereali, alimenti alla base della dieta mediterranea. [49] Inoltre, il vertical farming è una pratica più difficoltosa anche per quanto riguarda gli alberi da frutto. [51]

Le vertical farm sono frequentemente denominate anche come "fabbriche di insalata", poiché risultano particolarmente adatte per la coltivazione di ortaggi a foglia della tipologia "*baby leaf*".

Queste colture sono preferite nel contesto del vertical farming grazie al loro ciclo produttivo breve, spesso inferiore ad un mese, considerando un arco temporale che va dal periodo di semina alla raccolta. [50] [54]

Inoltre, la coltivazione verticale si concentra principalmente su colture con ridotte esigenze in termini di intensità di illuminazione e impollinazione, favorendo uno sviluppo controllato e cicli produttivi brevi. [50]

Procedendo con la trattazione, si presentano ulteriori sfide significative per il vertical farming. In particolare, esse sono legate alla sensibilità degli impianti e alle variazioni delle condizioni ambientali: i sistemi nelle vertical farms utilizzano tecnologie avanzate per monitorare e mantenere costanti temperatura e umidità, ma anche piccole fluttuazioni, seppur di breve durata, possono influire negativamente sull'intera produzione. [49]

Inoltre, la pratica dell'impollinazione manuale, che potrebbe diventare necessaria nelle vertical farms, comporta rischi per la sopravvivenza e la riproduzione degli insetti impollinatori.

Questi insetti verrebbero privati delle loro fonti primarie di sostentamento, soprattutto se le vertical farms diventassero il modello produttivo predominante. [49]

L'aspetto dell'impollinazione manuale sopra citato costituisce inoltre un aspetto critico della tecnica del vertical farming, dato che impone la necessità di disporre di personale altamente qualificato e specializzato, tra cui agronomi e altre figure professionali.

Questa richiesta di competenze specializzate non si limita all'ambito dell'impollinazione, ma coinvolge tutti gli aspetti connessi alle operazioni di una vertical farm. Tale necessità si traduce in un aumento aggiuntivo delle spese di gestione associate a questa pratica. [47] [49]

L'ultimo aspetto negativo da sottolineare, che si configura tra i più significativi, è l'incidenza di prezzi più elevati associati ai prodotti derivati dalle vertical farms rispetto a quelli da metodi tradizionali. I consistenti costi di produzione relativi a tale pratica, si riflettono direttamente nei prezzi al consumatore, i quali si collocano decisamente al di sopra della media rispetto ad altri prodotti presenti sul mercato, ottenuti con l'agricoltura tradizionale. [49] [50]

Complessivamente dal capitolo 3 emerge come i vantaggi appaiano in numero maggiore rispetto agli svantaggi (tabella 2), tuttavia gli svantaggi più rilevanti risultano essere di natura economica, e quindi è bene trovare soluzioni al più presto per tali aspetti, in modo tale che il vertical farming diventi maggiormente accessibile per i produttori e di conseguenza anche per il consumatore finale, in termini di prezzo del prodotto in questione.

#### 4 ANALISI DELLA SOSTENIBILITA' DEL VERTICAL FARMING

Questo capitolo presenta un'analisi della letteratura volta ad esaminare differenti *Key Performance Indicator* (KPI) relativi al consumo di acqua, l'utilizzo di energia e del suolo, nonché l'impiego di pesticidi, nutrienti e fertilizzanti nei sistemi di vertical farming, al fine di valutarne la sostenibilità complessiva.

Inoltre, nel presente capitolo viene proposta l'analisi LCA (*Life Cycle Assessment*) specifica per il vertical farming, fornendo dettagli sui passaggi e parametri essenziali necessari per condurre tale analisi in questo contesto specifico.

Per condurre l'analisi dei capitoli 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, sono stati applicati filtri rigorosi nei motori di ricerca, principalmente su Scopus e Google Scholar.

Lo studio è stato limitato alle seguenti condizioni:

- ricerca attraverso *article title, abstract, keywords*;
- esclusi i documenti relativi a conferenze;
- considerati i documenti pubblicati tra il 2017 e il 2023 per garantire la rilevanza e l'aggiornamento delle informazioni, tenendo conto della crescente popolarità del vertical farming in questi anni e delle attuali metriche chiave di performance (KPI).

Infine, sulla lingua non è stato posto alcun filtro, ma la maggioranza dei documenti trovati è risultato in lingua inglese.

Inizialmente è stata eseguita una *query* generale su Scopus con il termine "*vertical farming*", ottenendo un totale di 1940 documenti. Questo ha permesso di valutare l'entità della letteratura disponibile sul *database*. Successivamente, per restringere la ricerca, è stata utilizzata la *query* "*vertical farming consumptions*", dalla quale sono emersi circa 100 documenti. Di questi, ne sono stati selezionati 30 per l'analisi, in quanto gli altri sono risultati *out of scope*.

Su Google Scholar, la *query* di successo è stata più specifica, "*vertical farming sustainability KPI*". Restringendo il campo di analisi, in tal caso sono stati scelti 6 documenti.

Successivamente, con una migliore comprensione del campo di studio, sono state formulate *query* ancora più mirate, come "*WUE vertical farming OR EUE vertical farming OR SUE vertical farming*". Tuttavia, non sono stati considerati ulteriori documenti rispetto a quelli precedentemente selezionati.

Inoltre, per il capitolo 4.4 è stata effettuata anche una *query* direttamente sul motore di ricerca di *Google Chrome*, tenendo conto complessivamente di 5 siti web, in aggiunta ad alcuni articoli già utilizzati per gli altri capitoli.

Il capitolo 4.5, incentrato sull'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), ha richiesto un approccio separato. Attraverso Scopus e Google Scholar è stata effettuata una *query* specifica con il termine "*LCA vertical farming*" per il periodo 2017-2023, includendo anche documenti relativi a conferenze. Su Scopus, le ricerche hanno fornito solo 11 risultati, mentre su Google Scholar i risultati sono stati più numerosi, ma la selezione ha ritenuto 10 documenti come pertinenti.

Tuttavia, successivamente sono stati scremati ulteriormente i documenti, eliminando quelli relativi a serre generiche o all'agricoltura urbana, concentrandoci esclusivamente su articoli inerenti all'espressione "vertical farming". Inoltre, è stato incluso un sito web ottenuto tramite una ricerca su Google per la parte teorica di tale capitolo.

Le informazioni circa le query eseguite per il capitolo sulla sostenibilità ambientale sono riassunte nella tabella 3.

Tabella 3: Resoconto query eseguite per articoli circa l'analisi di sostenibilità ambientale

QUERY ESEGUITA	MOTORE DI RICERCA	DOCUMENTI OUTPUT	DOCUMENTI ANALIZZATI
<b><i>vertical farming</i></b>	Scopus	1940	Query eseguita a soli scopi di stima dell'ordine di grandezza.
<b><i>vertical farming consumptions</i></b>	Scopus	100	30
<b><i>vertical farming sustainability KPI</i></b>	Google Scholar <sup>1</sup>	Circa 100	6
<b><i>WUE vertical farming OR EUE vertical farming OR SUE vertical farming</i></b>	Google Scholar/ Scopus	Nessun risultato ulteriore rispetto ai precedenti	Nessun risultato ulteriore rispetto ai precedenti
<b><i>LCA vertical farming</i></b>	Scopus	11	11
<b><i>LCA vertical farming</i></b>	Google Scholar	Circa 100	10
<b><i>Vertical farming</i></b>	Google	Circa 100	5

Nel contesto della ricerca, uno dei passi fondamentali è stato quello di garantire la qualità e l'affidabilità delle fonti di informazione e dei riferimenti bibliografici individuati. Per questo scopo, ci si è avvalsi di Mybib [56], una risorsa online che non solo consente la generazione automatica delle citazioni, ma svolge un ruolo cruciale nell'attribuire un giudizio di credibilità a ciascuna fonte consultata. Tale giudizio è espresso attraverso una delle seguenti categorie: "procedere con cautela," "non credibile," o "credibile."

È importante sottolineare che è stata data particolare attenzione alle fonti classificate come "credibili," privilegiandole nella trattazione. Al contempo, le fonti considerate "non credibili" sono state scartate. Quest'ultime, per lo più, risultavano essere fonti di informazione reperite tramite motori di ricerca generici come Google, mentre le ricerche derivate da Scopus e Google Scholar sono risultate più affidabili.

Nel caso delle fonti considerate "da utilizzare con cautela," è stato adottato un approccio prudente e rigoroso. Quando una fonte in questa categoria risultava essere l'unica a riportare determinate informazioni, si è scelto di scartarla. Al contrario, qualora ci fosse una concordanza tra diverse fonti sulla stessa informazione, anche se alcune di esse erano classificate come "da utilizzare con cautela," è stato ritenuto opportuno utilizzare tali fonti per avvalorare le informazioni.

Questo metodo ha permesso di garantire la massima qualità e affidabilità possibile delle fonti utilizzate nella ricerca, contribuendo in modo significativo alla solidità dell'elaborato.

<sup>1</sup> Google Scholar e Google non forniscono un conteggio esatto del numero di documenti restituiti da una specifica query. Dunque, una stima dei documenti output è stata ottenuta considerando il numero di documenti per ogni pagina moltiplicata per il numero di pagine risultanti. Si precisa che i risultati di Google Scholar e Google sono stati calcolati considerando al massimo la pagina 10 di risultati, per restringere il campo. Solamente Scopus fornisce il numero esatto dei documenti output di una query eseguita.



In sintesi, dopo un'attenta valutazione dei documenti di cui sopra, esposti nella tabella 3 relativi alla colonna “documenti analizzati”, l’analisi del capitolo tiene conto delle informazioni presenti in 25 riferimenti totali; tuttavia, alcune fonti sono state considerate per molteplici capitoli.

Di seguito i riferimenti risultano così suddivisi:

- 8 riferimenti relativi al consumo di acqua (capitolo 4.1);
- 6 riferimenti relativi all'utilizzo di energia (capitolo 4.2);
- 3 riferimenti relativi all'utilizzo del suolo (capitolo 4.3);
- 10 riferimenti relativi all'utilizzo di pesticidi, fertilizzanti e nutrienti (capitolo 4.4);
- 7 riferimenti relativi all'analisi LCA (capitolo 4.5).

L’allocazione delle fonti è stata rappresentata con il diagramma di Venn in figura 14 e attraverso una tabella in cui è esplicitato il riferimento in letteratura e quali temi affronta (tabella 4).

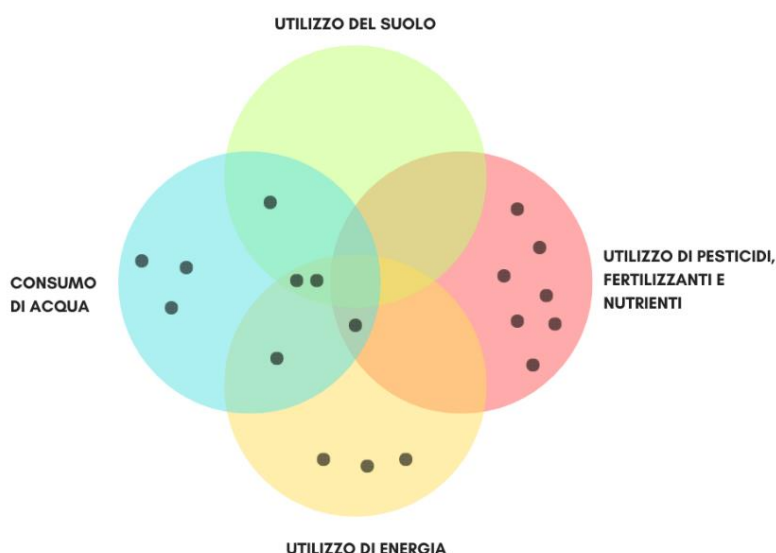


Figura 14: Diagramma di Venn per la distribuzione delle fonti circa la sostenibilità ambientale (personal elaboration)

Tabella 4: Riassunto allocazione delle fonti del capitolo 4

Riferimento fonte	CONSUMO DI ACQUA	UTILIZZO DI ENERGIA	UTILIZZO DI SUOLO	UTILIZZO DI PESTICIDI, FERTILIZZANTI, NUTRIENTI	ANALISI LCA
[57]	X	X	X		
[58]	X				
[59]	X				
[60]	X				
[61]	X	X			
[62]	X	X	X		
[63]	X	X		X	
[64]	X		X		X
[65]		X			

[66]		X			
[67]				X	
[68]				X	
[69]				X	
[70]				X	
[71]				X	
[72]				X	
[73]				X	
[74]				X	
[75]				X	
[76]					X
[77]					X
[78]					X
[79]					X
[80]					X
[81]					X

#### 4.1 CONSUMO DI ACQUA

La crescente consapevolezza dell'importanza della gestione sostenibile delle risorse idriche ha portato l'agricoltura a rivolgere sempre più attenzione al consumo d'acqua e all'implementazione di indicatori chiave di prestazione (KPI) per il monitoraggio di questa risorsa preziosa. Questo capitolo affronta il tema del monitoraggio del consumo d'acqua attraverso KPI e come esso possa contribuire in modo significativo ad una gestione più efficiente e sostenibile delle risorse idriche. In particolare, si tratteranno KPI per l'analisi dell'acqua, come *Water Use Efficiency* (WUE) e *Water Footprint* (WF).

Ai fini della trattazione, si ritiene rilevante quanto citato in [57]. In tale studio l'ipotesi di base è che le *plant factories* operino come sistemi completamente sigillati, minimizzando la perdita di vapore acqueo. Questi impianti sono dotati di sistemi di irrigazione chiusi che raccolgono l'acqua di drenaggio e quella derivante dall'evaporazione, inclusa l'acqua raccolta dai componenti di raffreddamento del sistema di trattamento dell'aria. In base a questa ipotesi, in [57] stato calcolato il consumo d'acqua (WU), da intendersi come il contenuto d'acqua presente nel prodotto e ottenuto come il reciproco dell'indice di raccolto (HI, *Harvest Index*) (equazione 1).

$$water\ use_{PFAL} = \frac{1}{HI} (L\ kg^{-1}) \quad (1)$$

Nella formula sopracitata (Equazione 1), l'unità di misura dell'uso dell'acqua (WU) è espressa in litri per chilogrammo ( $L/kg$ ), equivalendo 1 litro d'acqua a 1 chilogrammo.

Inoltre, in [57] si tiene conto anche di un altro approccio per il calcolo, fondato sull'unità di misura "PLATE". Tale metodologia verrà discussa anche nei capitoli 4.2 e 4.3, i quali sono relativi rispettivamente al consumo di energia e al consumo di suolo.

Questo approccio presenta una metodologia per valutare l'efficienza dei sistemi di agricoltura urbana nella conversione di risorse come acqua, energia e terreno in termini di valore nutrizionale. La tecnica in esame si basa su un'unità di misura recentemente definita, denominata "PLATE" o "PIATTO", e segue tre passaggi principali:

1. calcolare i requisiti alimentari basati su una composizione annuale consigliata per una dieta sana ed equilibrata per una persona;
2. valutare il consumo di risorse per le diverse colture coinvolte in una dieta prodotta in vari sistemi di coltivazione;
3. quantificare le risorse impiegate per soddisfare i requisiti alimentari.

L'unità di riferimento *PLATE* rappresenta un piatto immaginario composto da sette categorie di colture diverse. Queste categorie comprendono quattro gruppi di frutta e verdura, un gruppo di legumi ad alto contenuto proteico (come fagioli e ceci), un gruppo di ortaggi amidacei (tra cui le patate) e un gruppo di cereali integrali (come riso integrale e grano). Per ciascuna categoria di colture, viene stabilita una quantità raccomandata in termini di peso, esprimendola in chilogrammi per persona all'anno. Per garantire una dieta sana ed equilibrata, è necessario consumare una varietà di colture alimentari dai sette gruppi. Quindi, il metodo suggerisce di calcolare la quantità totale raccomandata di colture per una persona in un anno, che rappresenta 1 *PLATE*. Questo concetto consente di valutare il consumo di risorse in termini di colture alimentari e di confrontare l'efficienza di diversi sistemi di coltivazione.

A fronte di quanto è stato reso esplicito, secondo [57] l'acqua impiegata annualmente per la produzione di alimenti a base vegetale per una persona nei sistemi di coltivazione OF e UA è determinata attraverso la seguente equazione (equazione 2):

$$water\ use_{PLATE} = \sum_{i=1}^n (WU_{crop_i} \times Mass\ Intake_{crop_i}) (L\ capita^{-1} year^{-1}) \quad (2)$$

Procedendo con l'analisi, è stato ritenuto rilevante quanto detto in [58] e [59], i quali condividono la modalità utilizzata per il calcolo dell'Efficienza nell'Uso dell'Acqua (WUE) in contesti agricoli e, più precisamente, idroponici. Entrambi gli articoli [58] e [59] misurano quanto efficacemente l'acqua viene utilizzata per produrre biomassa o peso fresco (FW). In entrambi i casi, WUE è rappresentata come il rapporto tra la biomassa totale (TFW) e la quantità di acqua (W) utilizzata, con l'obiettivo di valutare quanto valore nutritivo o biomassa è ottenuto rispetto alla quantità di acqua impiegata.

In particolare, in [58] si definisce la WUE come quantità di peso fresco (FW) ottenuta per ogni litro di acqua utilizzata all'interno del sistema. Mentre in [59] è resa nota la seguente formula (equazione 3):

$$WUE = \frac{TFW}{\sum W} \quad (3)$$

In relazione all'equazione (equazione 3), TFW è la quantità totale di biomassa raccolta in ciascun contenitore di crescita, espressa in grammi (*g*); mentre W indica la quantità totale di acqua aggiunta a ciascun contenitore di crescita, misurata in litri (*L*).

Oltre al WUE, in [59] è menzionato un ulteriore KPI relativo all'acqua nell'agricoltura, indipendentemente che essa sia tradizionale o vertical farming: l'indice di stress idrico delle colture. L'indice di stress idrico delle colture, noto come CWSI, rappresenta un parametro cruciale nell'ambito dell'agronomia e delle scienze agrarie, poiché serve a valutare il grado di stress idrico o siccità che le colture stanno sperimentando. Questo indice assume particolare rilevanza in quanto

l'acqua è un elemento fondamentale per la crescita delle piante, e un'inadeguata disponibilità d'acqua può comportare un significativo impatto negativo sulla crescita e sulla resa delle colture. Nel CWSI si utilizza una scala da 0 a 1, dove 1 rappresenta un grave stress, mentre 0 indica l'assenza di stress.

Secondo quanto affermato in [59], il CWSI è dato dalla seguente formula (equazione 4):

$$CWSI = \frac{(T_c - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})} \quad (4)$$

All'interno della formula (equazione 4), è da notare che  $T_c$  indica la temperatura della parte superiore della pianta (espressa in gradi Celsius), mentre  $T_{wet}$  rappresenta la temperatura di un'area completamente traspirante, agendo come un punto di riferimento umido. D'altra parte,  $T_{dry}$  indica la temperatura di un'area non traspirante. È importante sottolineare che le temperature di riferimento empiriche, ovvero  $T_{wet}$  e  $T_{dry}$ , sono state calcolate utilizzando un metodo computazionale basato sull'analisi di immagini termiche a infrarossi. Tutte le temperature menzionate sono espresse in gradi Celsius.

Dunque, in [60] e [61] si nota un'interpretazione simile del calcolo del WUE: entrambi utilizzano il rapporto tra l'acqua consumata per l'irrigazione e l'unità di prodotto come metrica per valutare l'efficienza nell'uso dell'acqua. In altre parole, essi misurano quanto peso fresco di prodotto agricolo viene prodotto per unità di acqua utilizzata.

Tuttavia, un'interpretazione simile è data anche in [62], che definisce la WUE come la biomassa fresca prodotta per l'unità di acqua usata. Inoltre, [62] offre un approfondimento più ampio sull'argomento, discutendo anche circa i fattori che influenzano la WUE in un contesto di vertical farm, come la gestione della luce, il tipo di sistema di coltivazione e il controllo climatico.

In particolare, in [62] la ricerca si concentra sulla messa a punto dello spettro luminoso e dell'intensità luminosa per massimizzare la produzione agricola in rapporto all'acqua impiegata, in quanto è emerso che l'intensità della luce può influenzare l'efficienza nell'uso dell'acqua.

Tuttavia, è importante notare che i parametri di luce ideali possono variare in base alla specie coltivata. Ad esempio, per il basilico, è stato osservato che un rapporto rosso e blu (RB) di RB=2 o RB=3 utilizzando LED può massimizzare la WUE. Allo stesso modo, per la lattuga, l'RB=3 è stato associato a un aumento significativo della WUE rispetto ad altre combinazioni di luce.

Inoltre, la ricerca in [62] esplora anche l'utilizzo di lunghezze d'onda alternative per migliorare la WUE.

Ad esempio, l'aggiunta di luce bianca a uno spettro RB ha dimostrato di aumentare la WUE per la lattuga verde, ma tali risultati non sono stati riscontrati per la lattuga rossa.

Secondo quanto detto in [62], alcuni studi hanno dimostrato che l'applicazione di specifici valori di densità di flusso di fotoni fotosintetici (PPFD) porta a un aumento della WUE per diverse colture, come la lattuga e il basilico.

Oltre all'illuminazione, il tipo di sistema di coltivazione utilizzato in una vertical farm può influire notevolmente sulla WUE. Un esempio è la comparazione tra l'idroponica e l'aeroponica,

quest'ultima dimostra essere 2,2 volte più efficiente nell'uso dell'acqua, principalmente a causa delle diverse capacità di ritenzione d'acqua nei substrati utilizzati.

Inoltre, lo studio di [62] afferma che è importante tenere presente che il consumo d'acqua in una vertical farm non si limita all'irrigazione, ma comprende anche l'acqua utilizzata per la climatizzazione e la pulizia delle strutture.

Tuttavia, una percentuale considerevole di quest'acqua può essere recuperata da sistemi di deumidificazione, consentendo un aumento significativo della WUE.

In conclusione, un aspetto di particolare rilevanza della WUE, come discusso in [62], riguarda la possibilità di riciclare l'acqua: attraverso processi di filtraggio e sterilizzazione, l'acqua trattata può essere reintrodotta nel sistema di irrigazione. Questa pratica ha dimostrato di ridurre il consumo d'acqua nell'ambiente di coltivazione indoor fino al 95%, portando a un notevole miglioramento della WUE complessiva. Il riciclaggio dell'acqua rappresenta quindi una strategia chiave per promuovere la sostenibilità e l'efficienza delle operazioni agricole in contesti di fattorie verticali.

Spostando l'attenzione, lo studio condotto in [63] basa la sua metodologia di monitoraggio per valutare l'impronta idrica utilizzando la tecnologia IoT. Questo approccio richiede l'installazione di un flussometro per misurare il consumo d'acqua in modo accurato. Inoltre, l'articolo [63] evidenzia l'importanza di monitorare l'umidità sia del suolo che dell'ambiente. Questi dati sono cruciali per comprendere il processo di evaporazione e il consumo d'acqua da parte delle piante, contribuendo così al calcolo dell'impronta idrica. Inoltre, lo studio in [63] definisce la *water footprint* come un KPI correlato a tre variabili chiave: umidità, temperatura e consumo d'acqua. Anche in [64] lo studio ha un focus sulla *water footprint*, nel quale il calcolo del consumo d'acqua considera vari aspetti, come l'acqua dissipata, quella incorporata nei prodotti, trasferita in altre regioni o rilasciata in mare. In altre parole, in [64] ci si concentra sul calcolo del consumo d'acqua in relazione ai diversi processi e flussi che coinvolgono questa risorsa.

Entrambi gli articoli appena citati [63] e [64] sottolineano l'importanza di comprendere e monitorare attentamente il consumo d'acqua in diverse modalità, incorporando l'evaporazione e l'umidità come fattori significativi. Inoltre, essi identificano l'impronta idrica come un indicatore chiave per valutare l'uso sostenibile delle risorse idriche in un'ampia gamma di contesti.

## 4.2 UTILIZZO DI ENERGIA ELETTRICA

L'energia svolge un ruolo essenziale nell'agricoltura moderna, alimentando un'ampia gamma di attività, dalle operazioni di irrigazione alle lavorazioni meccaniche e al controllo climatico. Tuttavia, la crescente consapevolezza delle sfide legate all'uso sostenibile delle risorse energetiche ha posto l'attenzione sull'efficienza nell'uso dell'energia come un obiettivo chiave per il settore agricolo.

Questo capitolo affronta l'importante questione dell'utilizzo dell'energia in agricoltura e, in particolare, il concetto di *Energy Use Efficiency* (EUE), che rappresenta un indicatore fondamentale per misurare quanto efficientemente l'energia è impiegata in un sistema o processo agricolo. Un alto valore di EUE indica un uso efficiente dell'energia, mentre un valore basso suggerisce uno

spreco di tale risorsa. Tuttavia, è importante notare che, oltre all'EUE, gli articoli trattati in questa analisi fanno riferimento anche in modo generico all'indice di uso dell'energia, considerando diversi aspetti dell'impiego energetico nell'agricoltura.

Nell'ambito dell'energia, è stato considerato quanto detto in [57], il quale mette in evidenza che nei contesti agricoli come gli orti fuori suolo (OF) e i sistemi di coltivazione protetta con controllo climatico passivo, l'energia è utilizzata in modo efficiente. Questo utilizzo efficiente comprende sia l'energia solare, disponibile gratuitamente, che l'energia fossile, impiegata sia direttamente attraverso elettricità o carburanti, sia indirettamente tramite la produzione dei mezzi di produzione agricoli come fertilizzanti, pesticidi e macchinari agricoli. È importante notare che l'energia impiegata per il lavoro umano, secondo [57] non è inclusa nei calcoli energetici complessivi.

La sua inclusione è un argomento di discussione vivace in letteratura e varia notevolmente in base ai limiti del sistema e ai criteri adottati dai ricercatori. Alcuni autori, infatti, sostengono che l'energia impiegata nel lavoro umano è troppo differente dall'energia fossile per essere trattata in modo analogo. Inoltre, si sottolinea che oltre al lavoro fisico, vi è il lavoro intellettuale, che è difficile da quantificare.

Secondo quanto detto in [57], l'Utilizzo dell'Energia (UE) nelle vertical farms con illuminazione artificiale rappresenta la somma complessiva dell'energia necessaria per l'illuminazione artificiale, il condizionamento ambientale e altre attrezzature come le pompe per la soluzione nutritiva e i ventilatori di circolazione dell'aria. È importante notare che il consumo energetico dei computer e dei sensori è estremamente basso, costituendo meno dell'1% del totale e quindi può essere considerato trascurabile. Di conseguenza, la quantità totale di energia consumata viene suddivisa in base alla produzione annuale delle colture, determinando così la quantità di energia richiesta per produrre un chilogrammo di prodotto. Pertanto, in [57] il consumo energetico delle lampade (*Energy Use Lamps*) è definito come segue (equazione 5):

$$energy\ use\ lamps = \frac{PPFD * photoperiod * 3600 * 365}{\eta_{lamp} * 10^6} \quad (ML\ m^{-2}\ year^{-1}) \quad (5)$$

Nell'equazione sopra riportata (equazione 5) l'acronimo PPF<sub>D</sub> indica la densità di flusso di fotoni fotosintetici: misura la quantità di luce disponibile per la fotosintesi delle piante in una determinata area. Nella medesima formula (equazione 5) è presente inoltre il fotoperiodo, cioè le ore in cui le lampade risultano accese; il denominatore è caratterizzato dalla presenza dell'efficienza delle lampade ( $\eta_{lamp}$ ). Il PPF<sub>D</sub> è espresso in  $\mu mol$  di fotoni fotosinteticamente attivi al secondo per metro quadrato ( $\mu mol/m^2/s$ ) ed è utilizzato per valutare l'intensità luminosa disponibile per le piante, in particolare la luce nel range di lunghezze d'onda utilizzate dalla fotosintesi (spesso compreso tra 400 nm e 700 nm).

Successivamente, come già esplicitato nel capitolo 4.1, in [57] si menziona anche dell'energia utilizzata al fine di produrre il fabbisogno annuale di un individuo, calcolata come nell'equazione seguente (equazione 6):

$$energy\ use\ PLATE = \sum_{i=1}^n (EU_{crop_i} * Mass\ Intake_{crop_i}) \quad (ML\ capita^{-1}\ year^{-1}) \quad (6)$$

Una prospettiva di KPI più semplice in ambito energetico è presentata in [65], il quale introduce l'*Energy Use Index* (EUI) calcolato come una funzione del consumo totale di energia per metro quadro di area di coltivazione (TEC) dopo il ciclo (equazione 7).

$$EUI = \frac{TEC}{Y_f} (kWhkg^{-1}) \quad (7)$$

In questa equazione (Equazione 7), il numeratore rappresenta il consumo totale di energia (*Total Energy Consumption*) espresso in chilowattora per metro quadro ( $kWh/m^2$ ); mentre  $Y_f$  indica la resa totale di prodotto fresco misurata in chilogrammi per metro quadro ( $kg/m^2$ ).

Inoltre, anche quanto riportato in [61] si rivela di particolare rilievo sia in virtù dell'analisi dell'EUE, sia in relazione ad un approfondimento circa gli effetti dell'illuminazione intermittente sulle colture. L'EUE in [61] è stato calcolato come il rapporto tra il peso fresco finale delle foglie e il consumo complessivo di elettricità delle lampade, espresso in grammi di peso fresco per chilowattora ( $g FW kWh^{-1}$ ).

La sezione sull'illuminazione intermittente in [61] rivela una strategia potenziale per ottimizzare l'efficienza nell'uso dell'energia (EUE): sostituire l'alimentazione continua di illuminazione con l'illuminazione a impulsi. Questo approccio coinvolge la modulazione sia della frequenza che del rapporto di servizio delle lampade a LED. Tale tecnica ha dimostrato vantaggi significativi per la crescita delle colture quando esposte a illuminazione intermittente. Ad esempio, nel caso del basilico l'illuminazione intermittente con periodi bui ogni dieci minuti non ha influenzato negativamente le prestazioni di crescita o produzione, portando a notevoli aumenti dell'EUE. Inoltre, grazie alla flessibilità delle tecnologie a LED, gli impulsi luminosi possono essere estremamente brevi e frequenti.

Per quanto riguarda la lattuga e molte altre colture orticole, l'articolo [61] evidenzia l'importanza della luce rossa e blu per stimolare sia la crescita sia la concentrazione di composti nutraceutici<sup>2</sup>.

Il rapporto ottimale tra luce rossa e blu (RB) per la lattuga è identificato come  $RB = 3$ , che offre elevate rese e contenuto di flavonoidi<sup>3</sup>, migliorando anche l'efficienza nell'uso del suolo, dell'acqua e dell'energia. Ulteriori fattori critici sono l'intensità luminosa ideale ( $200-250 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ ) e il fotoperiodo ( $16 h/day$ ) per massimizzare la crescita, il contenuto nutraceutico e l'efficienza energetica della coltivazione.

---

<sup>2</sup> Contenuto nutraceutico: Il termine "nutraceutico" è una combinazione delle parole "nutrizione" e "farmaceutico". Si riferisce ad alimenti o componenti alimentari che forniscono benefici per la salute oltre la semplice nutrizione di base. I nutraceutici possono includere sostanze come antiossidanti, vitamine, minerali e altri composti bioattivi presenti negli alimenti che possono contribuire a migliorare la salute o prevenire malattie. Il contenuto nutraceutico di un alimento indica quanto quel cibo può essere benefico per la salute oltre al suo valore nutritivo.

<sup>3</sup> Contenuto di flavonoidi: I flavonoidi sono un gruppo di composti polifenolici naturali presenti in molti alimenti di origine vegetale, come frutta, verdura, tè, vino. Essi sono noti per le loro proprietà antiossidanti e antinfiammatorie, che possono contribuire a migliorare la salute. Il contenuto di flavonoidi in un alimento rappresenta la quantità di questi composti presenti in esso ed è spesso associato a benefici per la salute, come la riduzione del rischio di malattie cardiovascolari e altre condizioni.

In linea con quanto enunciato in [61], anche [62] e [66] forniscono informazioni significative relative al rapporto ottimale  $RB=3$ .

Nello specifico, nello studio di [62] viene messo in evidenza che l'applicazione dell'illuminazione a impulsi nell'ambito dell'agricoltura indoor può determinare un notevole miglioramento dell'EUE, quando si impiega un'illuminazione a impulsi con  $RB = 3$ , soprattutto a basse frequenze di commutazione per i diodi blu. A titolo di esempio, si menziona l'adozione di  $293\text{ kHz}$  anziché l'alta frequenza di  $850\text{ kHz}$ . L'articolo in esame fa anche riferimento all'EUE come un parametro utilizzato per valutare l'efficacia del sistema nel conseguire la massima resa di biomassa fresca per ogni  $kWh$  consumato.

Parallelamente, anche l'analisi in [66] concorda con [61] e [62] in merito al rapporto ottimale  $RB$  e afferma che l'EUE, espresso in grammi di biomassa fresca prodotta per  $kWh$ , possa registrare un notevole incremento fino a 2,5 volte, quando si transita dall'utilizzo di illuminazione fluorescente (con un valore di  $15,9\text{ g FW kWh}^{-1}$ ) all'utilizzo di illuminazione a LED (dove il valore aumenta a  $40,6\text{ g FW kWh}^{-1}$ ) per la coltivazione di lattuga. Questo risultato rappresenta un notevole avanzamento nelle prestazioni energetiche e nel conseguimento della massima produzione di biomassa fresca.

Nella trattazione di questo capitolo, l'applicazione di [63] rappresenta l'ultimo contributo analizzato in termini di indici circa l'utilizzo dell'energia. In questo articolo, si affronta la tematica del consumo di energia e delle relative emissioni di  $CO_2$ , le quali sono state utilizzate come variabili chiave per calcolare il KPI dell'impronta di carbonio (*carbon footprint*). L'analisi sottolinea che gran parte dell'elettricità è attualmente generata da fonti di energia che emettono gas serra, come il carbone e il gas naturale, con un impatto significativo sull'impronta di carbonio. Dunque, maggiore è il consumo di energia, maggiore è l'impronta di carbonio associata a quella produzione di energia.

### 4.3 UTILIZZO DEL SUOLO

Il presente capitolo considera tre contributi scientifici, i quali offrono una panoramica differente in merito all'utilizzo del suolo, uno degli aspetti di maggior rilievo nell'ambito del vertical farming.

Nel primo articolo in esame [62] si pone l'attenzione sull'Efficienza dell'Uso della Superficie Terrestre (SUE) e come questa metrica sia rilevante nell'ambito del vertical farming. In [62] la SUE è definita come la quantità di biomassa fresca prodotta per unità di spazio occupato. Le vertical farms, grazie alla loro dimensione verticale, ottimizzano notevolmente l'uso dello spazio e consentono una maggiore efficienza nella crescita delle colture. Un esempio è che, per ottenere  $1\text{ kg}$  di lattuga fresca, in campo aperto sarebbero necessari  $93\text{ m}^2$ , mentre in una serra sarebbero sufficienti  $9\text{ m}^2$ . L'agricoltura verticale, in particolare, riduce ulteriormente lo spazio necessario, con solo  $0,3\text{ m}^2$  richiesti per 10 strati di coltivazione.

Inoltre, è degno di nota che nel contesto del vertical farming vengono impiegate metodologie come la regolazione dinamica degli spazi tra le piante. Questa tecnica prevede un adeguamento costante degli intervalli tra le piante in base al loro stadio di crescita, mirando a mantenere un ottimale livello di copertura fogliare, spesso misurato come l'Indice di Area Fogliare (LAI).



Tale approccio è riconosciuto come un mezzo efficace per incrementare la produttività su ogni unità di superficie terrestre.

L'articolo [64] introduce il concetto di *land footprint*, in italiano noto come "impronta ecologica del suolo" o "impronta territoriale". La letteratura in tal caso definisce il *land footprint* concentrandosi sull'area di occupazione del territorio e sulla sua trasformazione per la produzione di un prodotto, considerando anche i sotto strati di produzione e l'uso delle risorse. Questo approccio è più ampio e considera l'impatto ambientale complessivo dell'attività produttiva.

L'articolo [57] esamina l'importanza della massimizzazione dell'uso del suolo nell'ambito dell'agricoltura urbana, dove la disponibilità di terreni rappresenta una sfida significativa. In tale contesto, il KPI associato all'utilizzo del terreno è definito come l'area necessaria per raggiungere una resa specifica di colture, spesso correlata ai tassi di resa annuali, espresso in ( $kg/m^2$  anno). L'articolo pone l'attenzione sul fatto che non necessariamente l'area considerata corrisponde all'area totale della vertical farm.

In aggiunta, l'impiego della tecnica di coltivazione a strati offre l'opportunità di sfruttare lo spazio in verticale, contribuendo a una riduzione complessiva dell'area del pavimento nella camera di produzione. Ogni utilizzatore ha la possibilità di calcolare l'area del pavimento della camera di produzione suddividendo l'area coltivata per il numero totale di strati.

Successivamente, nell'articolo [57] è stato indicato come calcolare l'uso del suolo necessario per soddisfare il fabbisogno annuale pro capite di alimenti di origine vegetale, comunemente noto come "1 PLATE". (equazione 8)

$$land\ use_{PLATE} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{mass\ intake\ crop_i}{yield_{crop_i}} \right) (m^2\ capita^{-1}year^{-1}) \quad (8)$$

È importante sottolineare che il concetto di "1 PLATE" è stato in precedenza spiegato nei due capitoli passati dedicati al consumo di acqua ed energia. (capitolo 4.1, capitolo 4.2)

In generale, tutti gli articoli si riferiscono all'utilizzo del suolo, ognuno di essi ha un obiettivo specifico e utilizza metodi o indicatori diversi per effettuare una valutazione.

#### 4.4 UTILIZZO DI PESTICIDI, FERTILIZZANTI E NUTRIENTI

I pesticidi, conosciuti anche come prodotti fitosanitari o prodotti per la protezione delle piante (PPP), rappresentano strumenti cruciali nell'ottimizzazione della produzione agricola e nella lotta alle malattie vegetali. Queste sostanze chimiche adempiono a diverse funzioni specifiche, come quelle di erbicidi, insetticidi, fungicidi e fitoregolatori, al fine di massimizzare la resa delle colture e garantire la conservazione e il trasporto dei prodotti agricoli. Gli ingredienti attivi contenuti nei pesticidi interferiscono con processi fisici, chimici e biochimici specifici all'interno degli organismi bersaglio. Tuttavia, è importante notare che il consumo di prodotti contenenti residui di pesticidi espone persone e animali a livelli ridotti di tali composti. [67]

In accordo con la letteratura scientifica, nel contesto del vertical farming l'uso dei pesticidi è limitato, in quanto gli ambienti controllati riducono il rischio di infestazioni da parassiti. Pertanto, la necessità di utilizzare pesticidi è nettamente meno frequente.

Al fine di garantire la sicurezza alimentare, sono in vigore rigorose normative che stabiliscono i limiti massimi di residui (LMR) consentiti per i pesticidi nei prodotti destinati al consumo umano e animale. Questi limiti variano da regione a regione in tutto il mondo, e i produttori di beni alimentari devono conformarsi agli standard specifici della regione di destinazione dell'alimento. [68]

Secondo quanto detto in [67] e [69], l'analisi dei residui di pesticidi è eseguita utilizzando tecniche come la gascromatografia e spettrometria di massa (GC-MS) per composti volatili e la cromatografia liquida e spettrometria di massa (LC-MS) per composti non volatili. Queste tecniche permettono l'identificazione e la quantificazione dei residui di pesticidi nei campioni confrontandoli con una matrice di pesticidi noti.

Conformemente a quanto riportato in [70], il Limite di Quantificazione (LDQ) rappresenta la concentrazione minima di residuo che può essere misurata ed è cruciale per stabilire la presenza di pesticidi nei campioni. Un indicatore fondamentale è il Limite Massimo di Residuo (LMR), che rappresenta la massima quantità di residuo di un singolo pesticida ammessa per legge nei prodotti alimentari destinati al consumo umano e animale. [67] [70]

Inoltre, secondo quanto presente in [68] un indicatore chiave per valutare l'efficacia del controllo dei parassiti in agricoltura verticale e per garantire il rispetto delle normative in materia di pesticidi, è la produzione e resa delle colture, in quanto essa può essere influenzata dalla presenza di tali parassiti.

Maggiori approfondimenti circa la resa delle colture, indicatore che riflette l'efficacia del controllo dei parassiti, ma anche la produttività relativa al vertical farming, saranno affrontati nel capitolo 5.

La trattazione del capitolo 4.4 prosegue con i fertilizzanti e i nutrienti.

Definendo i nutrienti come sostanze chimiche essenziali per la crescita delle piante, si dichiara l'esistenza di tre elementi principali, chiamati macro-elementi: azoto (N), fosforo, (P), potassio (K).

L'azoto (N) gioca un ruolo fondamentale nella stimolazione della fotosintesi clorofilliana, favorendo lo sviluppo di rami, foglie e steli durante la fase vegetativa delle piante. Pertanto, è particolarmente adatto per favorire la crescita vegetativa.

Il potassio (K) riveste un'importanza cruciale per le piante, contribuendo a numerosi processi biologici. Ad esempio, è fondamentale per la sintesi degli zuccheri, i quali influenzano le caratteristiche organolettiche delle piante, tra cui aroma e sapore dei fiori e dei frutti. Inoltre, il potassio regola la traspirazione fogliare, favorendo l'apertura degli stomi, che sono piccole ghiandole superficiali responsabili della regolazione del rilascio di vapore acqueo in eccesso.

Il fosforo (P) assume un ruolo essenziale durante la fase di fioritura delle piante.

Questi tre elementi nutritivi sono strettamente collegati allo sviluppo delle radici, dei rami e soprattutto dei fiori, nonché alla struttura dei germogli.

Pertanto, durante la fase di fioritura, è comune fornire fertilizzanti con una maggiore concentrazione di fosforo al fine di favorire raccolti abbondanti e di alta qualità.

Inoltre, è importante tenere in considerazione gli elementi nutritivi secondari noti come micronutrienti. Anche se non sono essenziali come i tre principali, questi micronutrienti svolgono un ruolo fondamentale in varie fasi dello sviluppo delle piante. Tra questi micronutrienti troviamo: Calcio (Ca), Ferro (Fe), Magnesio (Mg), Zolfo (S), Boro (B) e Molibdeno (Mo).

Gli elementi appena menzionati sono necessari in quantità molto ridotte, ma risultano essenziali per garantire alle piante una gamma completa dei minerali di cui hanno bisogno per crescere in modo sano e produttivo. Di conseguenza, essi vengono aggiunti alle soluzioni nutritive in coltivazioni idroponiche per assicurare che le piante ricevano tutti gli elementi nutritivi di cui hanno bisogno per raggiungere il loro massimo potenziale di crescita. [71]

D'altra parte, i fertilizzanti sono prodotti chimici o miscele di sostanze chimiche progettati per aggiungere nutrienti al suolo o alle piante quando i livelli naturali di nutrienti non sono sufficienti per sostenere la crescita ottimale delle piante.

In sintesi, i nutrienti sono presenti in natura e sono essenziali per le piante, mentre i fertilizzanti sono prodotti artificiali che forniscono nutrienti aggiuntivi alle piante quando necessario.

In questo contesto, i KPI utilizzati per misurare l'efficienza nell'uso dei nutrienti includono principalmente il *Nutrient Use Efficiency* (NUE), che trova ampio utilizzo nella valutazione dell'efficienza nell'uso di nutrienti come azoto, fosforo e potassio. Tuttavia, è essenziale prestare attenzione alla terminologia, poiché in alcuni casi l'acronimo NUE può riferirsi in modo specifico all'efficienza nell'utilizzo dell'azoto (N). Di conseguenza, potrebbe sorgere la necessità di utilizzare un secondo indicatore distinto, noto come Parametro di Utilizzo del Fosforo (PUE), per valutare l'efficienza nell'uso del fosforo.

In generale, sia il PUE che l'NUE in agricoltura mirano all'ottimizzazione dell'uso dei nutrienti da parte delle piante, al fine di massimizzare la produzione agricola in modo sostenibile.

Secondo l'analisi della letteratura, il NUE, come descritto in [72], rappresenta il *Nitrogen Use Efficiency* ed è calcolato come il rapporto percentuale tra input e output di azoto su ettaro coltivato (equazione 9).

$$NUE = \frac{N_{output}}{N_{input}} \quad (9)$$

Nell'equazione sopra (equazione 9), il numeratore  $N_{output}$  è rappresentato dalla somma dei quantitativi di azoto contenuti nei prodotti vegetali coltivati ( $N_i$ ), moltiplicata per la resa di ciascuna coltura ( $Y_i$ ). L'input, ovvero il denominatore, è costituito dalla quantità totale di azoto applicata attraverso i fertilizzanti in campo ( $F_{TOT}$ ). Quanto appena menzionato è rappresentato nella seguente formula (equazione 10):

$$NUE = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i * Y_i)}{F_{TOT}} \quad (10)$$

In conformità a quanto presente in [72] che delinea il significato dell'acronimo NUE come l'Efficienza nell'Utilizzo dell'Azoto, possiamo far riferimento anche a [73], il quale afferma che tale indicatore è determinato dall'incremento nella resa per unità di input del fertilizzante azotato, in relazione all'efficienza agronomica dell'azoto. Questo concetto è illustrato nell'equazione seguente (equazione 11):

$$\Delta NUE = \frac{yield (kg ha^{-1})}{fertilizer N (kg ha^{-1})_{inoculated}} - \frac{yield (kg ha^{-1})}{fertilizer N (kg ha^{-1})_{non inoculated}} \quad (11)$$

In modo analogo, seguendo quanto affermato in [73], il *Phosphorus Use Efficiency* (PUE) è calcolato come l'incremento nella resa del prodotto principale in termini di peso secco per unità di input del fertilizzante fosforato, come indicato nell'equazione di seguito (equazione 12):

$$\Delta PUE = \frac{yield (kg ha^{-1})}{fertilizer P (kg ha^{-1})_{inoculated}} - \frac{yield (kg ha^{-1})}{fertilizer P (kg ha^{-1})_{non inoculated}} \quad (12)$$

Nel contesto dell'articolo [74], viene menzionato che il concetto di *Nutrient Use Efficiency* (NUE) è associato all'efficienza nell'uso dei nutrienti. Con precisione, la NUE è definita come il rapporto tra la resa del prodotto raccolto e l'apporto di nutrienti disponibili sia dal suolo che dai fertilizzanti. L'equazione per il calcolo di NUE è la seguente (equazione 13):

$$NUE = \frac{resa}{nutrienti\ forniti\ o\ disponibili} \quad (13)$$

Il NUE rappresenta il risultato di due fattori fisiologici:

- efficienza di assorbimento dei nutrienti, che misura la quantità di nutrienti assorbiti dalla coltura rispetto all'apporto totale di nutrienti disponibili per la coltura;
- efficienza di utilizzo dei nutrienti.

Dunque, in formule si ottiene (equazione 14):

$$NUE = \text{efficienza di assorbimento di N} \times \text{efficienza di utilizzo di N} \quad (14)$$

In particolare, l'efficienza di assorbimento di N si calcola come il contenuto di azoto nella pianta diviso per l'apporto di azoto fornito o disponibile (equazione 15):

$$\text{Efficienza di assorbimento di N} = \frac{\text{contenuto di N nella pianta}}{N\ fornito\ o\ disponibile} \quad (15)$$

Invece, il secondo fattore di (14), ovvero l'efficienza di utilizzo di N si ottiene dividendo il rendimento per il contenuto di azoto nella pianta (equazione 16):

$$\text{Efficienza di utilizzo di N} = \frac{\text{rendimento}}{\text{contenuto di N nella pianta}} \quad (16)$$

Questa suddivisione del calcolo dei componenti nelle equazioni (15) e (16) consente di identificare quale tra i due processi, assorbimento o utilizzo dei nutrienti, contribuisce a una riduzione della NUE. In sintesi, è importante notare che un basso valore di NUE indica che una quantità ridotta di azoto applicata al terreno viene effettivamente assorbita dalle colture.

Ad esempio, se l'NUE è del 20%, significa che l'80% dell'azoto applicato viene disperso. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che valori superiori al 100% non indicano una situazione positiva. Anzi, suggeriscono un problema in cui l'attività agricola sta impoverendo il terreno del suo contenuto naturale di azoto. Nel tempo, questa condizione può portare all'esaurimento dei nutrienti nel suolo, causando danni a lungo termine alla produzione agricola.

Analizzando vari scenari, la ricerca conclude affermando che nei sistemi agricoli, l'ottimale NUE si situa in un intervallo tra il 50% e il 90%.

Per normalizzare i dati relativi a questo indicatore, si considera 0% come il valore minimo, corrispondente all'assenza totale di assorbimento del fertilizzante applicato, mentre il 90% rappresenta il massimo valore di NUE, indicante il massimo rendimento senza un eccessivo prelievo di nutrienti dal suolo. Valori superiori al 90% richiedono un monitoraggio specifico poiché potrebbero indicare un progressivo impoverimento del terreno. [72]

A fronte di quanto emerge dalla ricerca complessiva, nel contesto del vertical farming è essenziale non solo garantire l'uso adeguato dei fertilizzanti, ma anche mantenere i giusti livelli di pH nella soluzione nutritiva. In linea generale, è stato osservato in [75] e [71], che un intervallo di pH compreso tra 5,5 e 6,5 è appropriato per la maggior parte delle coltivazioni indoor, in particolare per piante da fiore e da frutto. Ad esempio, seguendo il suggerimento di [75], un pH di 5,5-6,0 può portare a un miglioramento della *Light Use Efficiency* (LUE) fino al 20% rispetto a colture con un pH inferiore. Inoltre, la letteratura suggerisce che la lattuga cresciuta con un pH tra 6,0 e 6,5 potrebbe ottenere un incremento del 44% nel WUE rispetto a pH inferiori.

Un altro aspetto cruciale nella fertilizzazione è la qualità dell'acqua, che dovrebbe essere di buona o almeno accettabile qualità. Se l'acqua fosse troppo dura o calcarea, potrebbero essere necessari correttivi a base di acido fosforico, nitrico o potassico per mantenere i livelli di pH adeguati. In alternativa, quando l'acqua risulta eccessivamente salina, è fondamentale monitorare la concentrazione di Solidi Totali Disciolti (TDS), che non dovrebbe superare i livelli di 200-350 mg/L. Nel caso di valori superiori, può essere necessario ricorrere a un'appropriata filtrazione dell'acqua mediante un sistema di osmosi inversa.

Infine, per quanto riguarda i nutrienti, quanto riportato in [63] evidenzia correlazioni tra il contenuto di clorofilla e l'efficienza nell'uso dei nutrienti. Piante che godono di buona salute ricevono un apporto nutrizionale adeguato e conducono una fotosintesi efficiente, tendono ad avere un maggiore contenuto di clorofilla. La clorofilla, che rappresenta un pigmento verde nelle foglie delle piante, funge da fotorecettore, catturando la luce solare e utilizzandola per la fotosintesi, producendo zuccheri e sostanze nutritive che sostengono la crescita delle piante. Pertanto, è di fondamentale importanza misurare il contenuto di clorofilla per valutare il benessere delle colture. L'utilizzo di sensori per la clorofilla risulta essenziale per monitorare la salute e la crescita delle piante con precisione.

## 4.5 ANALISI LCA

L'analisi del Ciclo di Vita (*Life Cycle Assessment* o LCA) rappresenta un potente strumento ampiamente utilizzato per valutare in che misura un prodotto o un processo influenzi l'ambiente, sia a livello locale che globale, in base ai materiali e alle risorse coinvolte. Attraverso il LCA, è possibile individuare con precisione le fasi del ciclo di vita che richiedono miglioramenti al fine di conseguire prestazioni superiori in termini di impatti ambientali. L'ISO (Organizzazione Internazionale di Standardizzazione) ha introdotto una cornice standardizzata per il LCA, riconosciuta a livello globale, che consente una valutazione rigorosa e affidabile, con le norme ISO 14040 e ISO 14044 (ISO, 2006) e fornisce linee guida essenziali per i professionisti in questo campo.

L'attenzione all'ambiente e alla sostenibilità sta crescendo costantemente tra i consumatori e le imprese. In particolare, nel settore alimentare, la valutazione del ciclo di vita (LCA) viene sempre più utilizzata per evidenziare l'"impronta" ecologica dei prodotti alimentari. Questo approccio metodologico ha una rilevanza significativa per il settore del vertical farming, poiché consente di affrontare le critiche che spesso colpiscono il settore e fornisce una base solida e trasparente per affrontare le questioni di sostenibilità in modo strategico.

Il processo di LCA, secondo la norma ISO 14044 (2006), è strutturato in quattro fasi principali:

- 1) definizione degli obiettivi e dell'ambito;
- 2) analisi dell'inventario;
- 3) valutazione dell'impatto ambientale;
- 4) interpretazione.

Tuttavia, è importante notare che in alcuni contesti potrebbe essere inclusa una quinta fase di miglioramento, in cui vengono esaminate alternative e strategie per ridurre gli impatti ambientali identificati nelle fasi precedenti.

Pertanto, mentre le quattro fasi principali rappresentano il nucleo del processo LCA, la quinta fase di miglioramento è una componente aggiuntiva che può essere inclusa a discrezione dell'analista, ma non è obbligatoria in tutti i casi. [64] [76] [77]

Inoltre, gli studi LCA possono essere categorizzati in tre tipologie principali, ciascuna con un focus specifico:

- *gate to gate* (dal cancello al cancello): questo tipo di analisi si concentra esclusivamente sugli impatti ambientali legati alla fase di produzione all'interno dello stabilimento produttivo;
- *cradle to gate* (dalla culla al cancello): questo approccio rappresenta un'analisi più ampia, considerando le fasi iniziali del ciclo di vita di un prodotto. È un'analisi che guarda alle fasi precedenti all'utilizzo del prodotto, ma non tiene conto delle fasi successive;
- *cradle to grave* (dalla culla alla tomba): questo è il tipo di analisi più completa poiché considera l'intero ciclo di vita di un prodotto. Comprende anche gli impatti derivanti dall'uso del prodotto e dalla sua gestione a fine vita, compresa la fase di smaltimento o riciclo.

Queste diverse tipologie di analisi consentono di valutare gli impatti ambientali da prospettive diverse, in base all'obiettivo specifico dello studio e alle informazioni necessarie. [76] [77]

L'obiettivo di questo capitolo è fornire una visione completa dell'applicazione del LCA nel contesto del vertical farming. Vengono esplorate sia le fasi fondamentali del processo LCA che i parametri specifici rilevanti per condurre analisi LCA in questo settore. Inoltre, saranno presentati alcuni casi di studio che illustrano l'applicazione concreta dell'Analisi del Ciclo di Vita nell'ambito del vertical farming.

Nella prima fase dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), si svolge un lavoro fondamentale per garantire la chiarezza e la coerenza dello studio. Questa fase mira a definire con precisione l'obiettivo e l'ambito del LCA, stabilendo il contesto in cui si condurrà l'analisi. L'obiettivo dello studio LCA deve essere definito in modo inequivocabile, specificando l'applicazione prevista dello studio, le ragioni che lo motivano, il pubblico a cui sono destinati i risultati e l'eventuale utilizzo di tali risultati per scopi di comunicazione. Un aspetto cruciale in questa fase riguarda la definizione dei confini del sistema, ovvero quali processi e aspetti dovrebbero essere inclusi nello studio, in base agli obiettivi e alle restrizioni dei dati disponibili.

Inoltre, è necessario chiarire qual è l'unità funzionale, cioè l'unità di misura di riferimento rispetto alla quale saranno valutati i consumi di energia, le risorse e gli impatti ambientali.

Nel contesto delle coltivazioni in verticale, l'unità funzionale di riferimento è generalmente legata alla produzione, solitamente espressa come una quantità specifica di alimento destinata al consumo da parte dei consumatori. Ad esempio, spesso si considera un chilogrammo di porzione commestibile (peso fresco) di un determinato alimento.

Nella seconda fase del LCA, nota come "inventario del ciclo di vita" (LCI), il focus principale è la raccolta e la quantificazione dei dati rilevanti per la valutazione degli impatti ambientali del sistema in oggetto. Per le coltivazioni in verticale, questa fase comporta la raccolta di dati riguardanti tutti gli input di materiali ed energia, i requisiti di trasporto, i processi, le infrastrutture e gli step necessari per la coltivazione e la gestione dei rifiuti.

Nella terza fase del processo di LCA, nota come LCIA (valutazione dell'impatto del ciclo di vita), vengono quantificati e analizzati gli impatti ambientali associati a tutti gli input e ai processi coinvolti. L'obiettivo di questa fase è utilizzare i dati provenienti dalla fase di LCI, che riguardano il consumo di energia e risorse, per creare indicatori specifici di impatto ambientale.

Nel contesto del LCA delle vertical farms, esiste la flessibilità di includere tutte o solo alcune categorie di impatto ambientale. Tuttavia, studi specifici nel campo del vertical farming hanno suggerito che gli indicatori cruciali nei metodi LCIA includono l'impronta di carbonio, il consumo di risorse, l'esaurimento delle acque, l'ecotossicità, l'acidificazione e l'eutrofizzazione. Questa valutazione pratica degli impatti ambientali viene effettuata tramite specifici software, quali ad esempio SimaPro e OpenLCA.

Dunque, tali indicatori sono essenziali per valutare in modo accurato l'impatto ambientale complessivo delle coltivazioni in verticale durante il loro ciclo di vita.

Nella fase conclusiva del processo di LCA vengono esaminati i risultati dell'analisi dell'inventario e della valutazione dell'impatto. L'obiettivo principale è estrarre conclusioni e formulare raccomandazioni basate su tali risultati. In questa fase, viene effettuato un controllo di completezza per assicurarsi che i dati e le informazioni necessarie siano disponibili e accurati. Inoltre, vengono eseguiti controlli di coerenza per identificare eventuali discrepanze tra le fonti di dati, la copertura geografica, la precisione e l'età dei dati.

Tuttavia, va tenuto presente che l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA) non è priva di limitazioni: il limite principale risiede nel fatto che l'LCA si concentra principalmente sugli impatti ambientali, e ciò può rendere difficile cogliere a pieno i vantaggi delle vertical farms, specialmente quelli legati all'approvvigionamento alimentare locale in confronto ai metodi agricoli convenzionali.

A seguito di ciò, è importante sottolineare che esistono approcci alternativi all'interno del campo dell'Analisi del Ciclo di Vita che consentono di valutare le implicazioni sociali ed economiche delle indoor vertical farms: l'LCA sociale e il *life cycle costing*. Questi strumenti possono essere utilizzati in parallelo al LCA ambientale per ottenere una visione più completa e integrata delle prestazioni del vertical farming. [76] [77]

Giunti a questo punto della trattazione, come anticipato in precedenza, saranno presentati a titolo esplicativo degli esempi di letteratura circa LCA effettuati nell'ambito del vertical farming

Lo studio presentato in [64] si è focalizzato sull'analisi dell'agricoltura verticale in un'azienda agricola immaginaria situata a New Cairo, Egitto. L'obiettivo principale è stato quello di confrontare gli impatti ambientali dell'agricoltura verticale con quelli dell'agricoltura tradizionale in un contesto caratterizzato da un clima caldo e arido. La ricerca è stata condotta in accordo alla norma ISO 14044 (2006). L'analisi si è concentrata sul periodo operativo, includendo aspetti come l'uso di energia, acqua, fertilizzanti e materiali. L'unità funzionale selezionata per questa valutazione è stata 1 *kg* di pomodori freschi. I risultati evidenziano notevoli differenze tra i due metodi, con l'agricoltura verticale che richiede notevolmente meno acqua e ha un impatto ambientale inferiore in termini di cambiamento climatico (GWP - Potenziale di Riscaldamento Globale) e impronta idrica (WF) rispetto all'agricoltura tradizionale.

Un ulteriore studio basato sulla valutazione del ciclo di vita (LCA) è presentato da [78]. Questo studio è stato condotto in un contesto di agricoltura verticale in un campus universitario di Lisbona (Portogallo), con un focus specifico sulla produzione di *microgreens*. Nella ricerca descritta in [78], così come in [64], l'unità funzionale considerata è stata 1 *kg* di prodotto.

Il fine di [78] era individuare le condizioni ottimali che permettessero di ridurre al minimo le emissioni di gas serra, per ogni chilogrammo di microverdure prodotte. Questo permetterebbe di fornire utili informazioni sulle metodologie più sostenibili per condurre l'agricoltura urbana e gestire le operazioni di agricoltura verticale, con l'obiettivo di affrontare le sfide globali legate al cambiamento climatico e alla produzione alimentare.



Infatti, in [78] è stato osservato che l'intensificazione della produzione è vantaggiosa dal punto di vista ambientale in un sistema di agricoltura verticale, poiché le condizioni che minimizzano il potenziale di riscaldamento globale coincidono con l'uso massimo delle risorse e la massima resa.

Inoltre, un'ulteriore analisi relativa all'unità funzionale di 1 *kg* di *microgreens* è stata effettuata da [79]. Tale analisi, anch'essa riferita ad un campus universitario, ha portato ad affermare che l'ottimizzazione delle condizioni di crescita e l'uso di sementi possono influenzare significativamente le prestazioni ambientali. Un calcolo condotto in [79] relativo alle emissioni riferite alla produzione di 1 *kg* di *microgreens* di broccoli venduti all'interno del campus, ha generato un valore di 18,6 *kg* di  $CO_2$  equivalente per chilogrammo. Questa cifra tiene conto delle emissioni evitate grazie al compostaggio dei rifiuti locali destinati al riutilizzo nei giardini del campus.

Tuttavia, se i prodotti fossero stati distribuiti e venduti altrove, il calcolo avrebbe generato un aumento del 20% sul risultato nelle emissioni, comprese le emissioni di sostanze che possono risultare tossiche per gli esseri umani.

Dalle ricerche effettuate, sono emersi infine degli studi relativi all'agricoltura verticale in Svezia. L'indagine affrontata in [80] ha avuto come obiettivo l'analisi delle performance ambientali di un'azienda agricola verticale operante in Svezia, specializzata nella produzione di lattuga confezionata. Il fine dello studio è stato condurre il LCA per valutare le prestazioni ambientali e metterle a confronto con quelle della lattuga convenzionale, sia importata che nazionalmente prodotta. Questa valutazione ha adottato una prospettiva dalla culla alla tomba. L'unità di misura utilizzata per condurre l'analisi è stata 1 *kg* di lattuga confezionata. Diverse categorie di impatto sono state considerate in questa analisi, tra cui il potenziale di riscaldamento globale, il potenziale di acidificazione, l'ecotossicità in acque dolci e l'eutrofizzazione delle acque dolci, l'uso del suolo (LU), l'esaurimento delle risorse fossili, l'esaurimento delle risorse materiali e metalli e l'uso dell'acqua (WU).

Secondo [80] una strategia per ridurre l'impatto ambientale del sistema potrebbe includere l'ottimizzazione del sistema di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria, attraverso la cattura del calore residuo emesso dai LED per un possibile utilizzo esterno. Questo potrebbe rivelarsi particolarmente utile in climi più freddi, come quello svedese. In generale, l'analisi ha evidenziato che gran parte degli impatti ambientali del sistema agricolo derivano dall'uso di elettricità, una caratteristica comune a tutte le fonti consultate.

L'ultimo studio [81] ha valutato una coltivazione idroponica verticale a Stoccolma, con una prospettiva dalla culla al cancello.

In [81] il LCA è stato realizzato attraverso il software OpenLCA; inoltre sono stati considerati soltanto i principali nutrienti, cioè azoto (N), fosforo (P) e infine potassio (K). Infine, è emerso che l'utilizzo di materiali residui, al posto del classico terreno da giardino, ha ridotto le emissioni di gas serra del sistema di oltre il 60% e inoltre, anche la sostituzione di fertilizzanti con l'uso di biofertilizzanti ha contribuito ad una riduzione ulteriore.

In conclusione, l'agricoltura verticale rappresenta una prospettiva in crescita che offre un'alternativa significativa ai tradizionali sistemi di produzione vegetale.

Il vertical farming ha un grande potenziale, tuttavia richiede ulteriori ricerche e innovazioni per superare i limiti attuali. L'obiettivo principale è quello di garantire la sostenibilità di questo approccio e di massimizzare i benefici per l'ambiente e la produzione alimentare; inoltre, per affrontare questa sfida, è essenziale adottare dei sistemi di controllo ambientale efficienti.

## 5 ANALISI DELLA PRODUTTIVITA' DEL VERTICAL FARMING

Per quanto riguarda tale capitolo, viene fornita una panoramica di come sono state individuate le fonti che verranno citate e discusse.

Per quanto riguarda il sotto capitolo 5.1 relativo alla tematica della resa, sono stati utilizzati due articoli già menzionati nel capitolo 4, i quali risultano essere [59] e [65]. Inoltre, è stata ritenuta utile la fonte [82], precedentemente scartata per il capitolo della sostenibilità del vertical farming. Nonostante tale fonte risalga all'anno 2015, si è ritenuto opportuno menzionarla per la validità dei contenuti presenti in essa.

Successivamente è stata effettuata la query "*vertical farming yield*" sul motore di ricerca Scopus con filtro dal 2018 al 2023. Sono stati considerati nella ricerca solo gli articoli, e l'analisi è stata limitata alle keyword "*crop yield AND vertical farming*". La presente ricerca ha trovato un numero di 61 articoli, tutti in lingua inglese ad eccezione di uno in lingua cinese. È stato inoltre effettuato un tentativo di restringere il campo, rendendo la query più particolare, aggiungendo la parola *index* e inviando la query "*vertical farming yield index*". Tramite quest'ultima sono stati ottenuti soltanto 6 documenti, i quali erano già presenti nella query precedente.

Infine, dopo una preliminare valutazione, a partire dagli articoli di Scopus, sono stati considerati 12 documenti per la resa, poiché molti affrontavano solo il vertical farming in generale e non la tematica particolare della resa.

Procedendo, è stato interrogato anche il database di Google Scholar, digitando la seguente query: "*crop yield how to calculate it*". Successivamente, a causa del numero ridotto di fonti pertinenti individuate, si è deciso di considerare un campo più ampio, eliminando il filtro relativo agli anni dal 2018 al 2023.

Complessivamente per il capitolo 5.1 in merito alla resa, sono stati utilizzati 13 riferimenti, inclusi i due precedentemente menzionati nel cap.4. Alcuni di questi riferimenti mostrano solamente una definizione teorica e una panoramica di confronto con l'agricoltura tradizionale, altri invece presentano come essa possa essere calcolata dal punto di vista matematico.

Per quanto concerne invece il sotto capitolo 5.2, esso è relativo alla presentazione di alcuni concetti riguardanti la produzione industriale, e come essi possano essere applicati nel contesto del vertical farming. L'analisi di 5.2 ha inizio con un articolo relativo al 2017, tramite cui è stato possibile estrapolare il concetto di *up-time*. Da questa nozione si è tentato di comprenderne una definizione, tramite molteplici fonti riguardanti anche il suo contrario (*down-time*), effettuando la seguente query su Google: "*up-time definition*".

Successivamente, vista la scarsa presenza in letteratura di elementi relativi contemporaneamente a termini della produzione industriale e applicazioni al vertical farming, si è deciso di proseguire la trattazione, nel seguente modo:

- 1) riflettere e considerare alcuni concetti attinenti alla produzione industriale, ad esempio appresi nei corsi di Sistemi di Produzione e Programmazione e Gestione della Produzione;
- 2) effettuare *query ad hoc* su Google;
- 3) ottenere definizioni dei concetti ricercati;
- 4) fornire una personale interpretazione di come applicare tali definizioni al settore del vertical farming.

In questo capitolo, complessivamente, sono state considerate 6 fonti (di cui un articolo e cinque riferimenti di siti web), e in aggiunta sono presenti delle personali opinioni.

Infine, per quanto riguarda il capitolo 5.3 relativo all'analisi della logistica, sono stati considerati alcuni macro-temi principali: i trasporti, i magazzini, i materiali e le attrezzature utilizzate.

In merito alle fonti relative ai trasporti, su Google Scholar è stata effettuata la seguente query: "*trasporto vertical farming*", e tale query ha portato ad utilizzare nel presente elaborato due fonti. Successivamente con la query "*transport system in vertical farming*", sono stati considerati alcuni studi circa dati numerici di confronto con l'agricoltura tradizionale e *case study*, in particolare risultano 4 riferimenti.

Inoltre, per quanto riguarda il discorso trasporti, è stata effettuata la query "*vertical farming supply chain*" sul motore Google, che ha portato a tener conto di altri 4 articoli per tale trattazione.

Relativamente al discorso circa i magazzini, sono state effettuate alcune query sia su Scopus sia su Google Scholar, e infine anche su Google; soltanto quest'ultimo ha dimostrato risultati utili per la ricerca. La spiegazione che ci si è dati deriva dal fatto che comunque tale settore è un'innovazione radicale (cap. 2.8) e quindi la letteratura potrebbe ancora scarseggiare circa tale tematica, mentre è più semplice trovare alcuni siti web che menzionino delle novità o aziende che presentano i propri prodotti, proprio come nel caso dei magazzini automatici relativi al vertical farming. Per tale tematica sono stati utilizzati 2 siti web, dove nel primo si presentano due *case studies*.

Infine, l'ultima parte del 5.3 riguarda i materiali e le attrezzature. È stata effettuata la query su Scopus "*vertical AND farming AND components*", in tal caso è stato applicato il filtro dal 2018 al 2023, ma a differenza delle precedenti query, sono state considerate sia conferenze sia articoli, poiché la letteratura è risultata scarsa. Tramite tale ricerca è stato compreso come, anche basandosi su informazioni ottenute nei capitoli precedenti, il vertical farming sia un ambiente controllato e automatizzato. Dunque, la ricerca riguardo i materiali e le attrezzature ha condotto ad una decina di articoli, tuttavia sono stati ritenuti consoni alla trattazione solamente 3 riferimenti.

Le query effettuate con i documenti output e quelli analizzati sono presenti nella tabella 5. Si precisa che tale tabella esclude i riferimenti relativi alla resa già menzionati nel capitolo 4, e anche l'articolo

relativo al capitolo 5.2, poiché esso non deriva da *query* sui motori di ricerca ma dal materiale fornito dal docente relatore.

Tabella 5: Resoconto query eseguite per articoli circa l'analisi della produttività

QUERY ESEGUITA	MOTORE DI RICERCA	DOCUMENTI OUTPUT	DOCUMENTI ANALIZZATI
<b><i>vertical farming yield</i></b>	Scopus	61	12
<b><i>vertical farming yield index</i></b>	Scopus	6 (già presenti nei 61 della query precedente)	6 (già presenti nei 12 precedenti)
<b><i>crop yield how to calculate it</i></b>	Google Scholar	Circa 50 (considerati i documenti fino alla quinta pagina di output)	3
<b><i>trasporto vertical farming</i></b>	Google Scholar	Circa 40 (considerati i documenti fino alla quarta pagina di output)	2
<b><i>transport system in vertical farming</i></b>	Google Scholar	Circa 40 (considerati i documenti fino alla quarta pagina di output)	4
<b><i>vertical farming supply chain</i></b>	Google	Circa 80 (espressi solamente in una pagina)	4
<b><i>vertical AND farming AND components</i></b>	Scopus	117	3
<b><i>uptime definition</i></b>	Google	Circa 40 (espressi solamente in una pagina)	5

La tabella 5 mostra i documenti analizzati, tuttavia dopo alcune valutazioni, non tutti questi sono stati effettivamente inclusi nella trattazione. In particolare, il capitolo relativo all'analisi della produttività, tiene conto di 34 riferimenti complessivi, così suddivisi: 13 riferimenti per il cap. 5.1, 6 in merito al cap. 5.2 e 15 inclusi nel cap. 5.3.

Inoltre, in modo analogo al capitolo 4 relativo alla sostenibilità del vertical farming, anche in tal caso è stato considerato l'utilizzo di Mybib [56] per verificare l'attendibilità delle fonti ritenute utili per la presente ricerca.

## 5.1 RESA VERTICALE VERSO ORIZZONTALE

In questo sotto capitolo ci si focalizza sul concetto di resa delle colture, esplorando non solo alcune proposte di definizione teorica, ma anche come essa possa essere quantificata attraverso formule e indicatori specifici. La resa delle colture costituisce un indicatore cruciale per valutare l'efficienza e la produttività dell'agricoltura, oltre a rappresentare un elemento chiave nella pianificazione delle risorse alimentari a livello globale.

In aggiunta, verrà trattato anche come le moderne tecnologie, in particolare l'apprendimento automatico (*machine learning*), possano essere sfruttate per prevedere la resa delle colture. L'utilizzo di algoritmi di *machine learning* offre l'opportunità di migliorare notevolmente la precisione nella previsione delle rese agricole, contribuendo così a una gestione più efficiente delle colture e delle risorse. Dunque, tale sotto capitolo fornisce una panoramica completa dei concetti e delle metodologie relativi all'analisi della resa delle colture, contribuendo a una comprensione approfondita della sua importanza nell'ambito dell'agricoltura moderna e delle sfide connesse alla sicurezza alimentare globale.

Secondo quanto riportato in [83], l'agricoltura verticale è vista come un possibile rimedio per incrementare la produttività agricola, riducendo allo stesso tempo il consumo di risorse e l'impiego di pesticidi rispetto all'agricoltura tradizionale. Numerosi studiosi hanno constatato che l'agricoltura verticale, in effetti, conduce a rendimenti superiori rispetto all'agricoltura convenzionale, mentre i rendimenti nell'agricoltura in serra si collocano in una posizione intermedia.

Dal punto di vista teorico, la resa è definita come la quantità di biomassa prodotta in rapporto all'area o al volume entro un determinato periodo di tempo. [84]

Un ulteriore approfondimento della nozione di resa è presente in [85], il quale stabilisce una distinzione tra due concetti: resa delle colture e resa agricola. In particolare, si definisce la resa delle colture, o "resa del raccolto", come il peso del grano o di altri prodotti economici, ad un determinato contenuto di umidità concordato, per unità di superficie coltivata per una specifica coltura (solitamente espresso in tonnellate per ettaro). Il rendimento agricolo, noto anche come *farm yield* e indicato con l'acronimo FY, si presenta invece come la resa media complessiva di tutte le colture coltivate su un'intera azienda agricola o su una specifica area agricola. Il *farm yield* tiene conto di tutte le colture presenti e calcola la produzione totale rispetto all'area agricola complessiva; esso è misurato in peso (*kg/hectare* o *t/ha*) e offre una prospettiva più ampia del rendimento agricolo rispetto alla resa del raccolto.

In sintesi, mentre la resa del raccolto si focalizza su una singola coltura o un gruppo di colture specifiche, il *farm yield* offre una visione complessiva dell'efficienza produttiva su vasta area. [85]

Procedendo con l'analisi, è stato ritenuto rilevante quanto espresso nell'articolo [59], già adoperato nel capitolo relativo al consumo di acqua (cap. 4.1), il quale propone la seguente formula per esprimere il calcolo della resa (equazione 17):

$$Yield = \frac{TWF}{A} \quad (17)$$

In (Equazione 17), il numeratore rappresenta la biomassa complessivamente raccolta da ogni container utilizzato per le colture, espresso in grammi; mentre il denominatore indica l'area del tappetino di crescita, calcolato in metri quadri. [59]

Tuttavia, come menzionato in precedenza nel capitolo dedicato all'utilizzo del terreno (capitolo 4.3), la resa è intrinsecamente legata a esso. Un esempio illustrativo di questa connessione è rappresentato in [65] dal calcolo del Rapporto di Equivalenza del Terreno (*LER*), utilizzato per valutare l'efficienza della produzione su suoli specifici. Nel contesto di sistemi di coltivazione, il *LER* viene utilizzato come indicatore per valutare la produttività del terreno.

Il *LER* è stato adottato come strumento per confrontare l'aumento della produttività del suolo, che può includere la produzione di cibo e di energia, nell'ambito dell'agricoltura verticale e dell'agricoltura convenzionale (CA).

La formula utilizzata per calcolare il *LER* è la seguente (equazione 18):

$$LER = \frac{Y_{fVFCA}}{Y_{fCA}} + \frac{(E_{VFCA} - TEC)}{E_{CA}} \quad (18)$$

Nell'equazione sopra definita (equazione 18) il termine  $Y_{fVFCA}$  rappresenta la media della resa totale fresca,  $E_{VFCA}$  indica la media della produzione di energia, ed entrambi sono riferiti al sistema integrato misto, che si indica con *VFCA*. Notiamo anche i due termini a denominatore:  $Y_{fCA}$  ed  $E_{CA}$  rappresentano la media della resa totale fresca e della produzione di energia dell'agricoltura convenzionale (CA). Si specifica che, per considerare l'uso di energia nel sistema *VFCA*, esso è stato calcolato sottraendo il Consumo Totale di Energia (*TEC*) associato all'agricoltura verticale, dal valore  $E_{VFCA}$ . [65]

Inoltre, è rilevante menzionare quanto emerso nella ricerca descritta nell'articolo [86].

Questo studio presenta somiglianze con l'articolo [65], in quanto entrambi esplorano la relazione tra la resa delle colture e altri fattori. Nell'articolo [86] viene approfondita la correlazione tra la resa, l'intensità luminosa e il fotoperiodo. In particolare, la ricerca dimostra che l'impiego di un fotoperiodo di 16 ore e un'intensità luminosa di  $200 \mu mol m^{-2} s^{-1}$  può comportare un incremento della resa e delle proprietà antiossidanti dei *microgreens* di barbabietola. Inoltre, l'indagine mette in luce l'importanza di un ambiente controllato nella produzione di micro-verdure, al fine di massimizzare i loro benefici nutrizionali. Le conclusioni avanzate suggeriscono che tali tipologie di colture possono essere considerate alimenti funzionali e che la loro coltivazione in ambienti controllati costituisce un approccio sostenibile ed efficiente per la produzione di alimenti ad alto valore nutrizionale.

Nel contesto di questo sotto capitolo, è fondamentale menzionare uno studio che fornisce dati numerici relativi al confronto tra la resa ottenuta nell'ambito del vertical farming e quella nell'agricoltura tradizionale. Lo studio in questione [82] presenta una comparazione basata sui dati raccolti: la resa per unità di superficie nella produzione idroponica di lattuga in Arizona è risultata essere  $11 \pm 1,7$  volte superiore rispetto a quella ottenuta tramite l'agricoltura tradizionale. Nello specifico, secondo i dati riportati, la resa per l'idroponica è stata stimata essere di  $41 \pm 6,1 kg/m^2/anno$  mentre nell'agricoltura tradizionale è stata di soli  $3,9 \pm 0,21 kg/m^2/anno$ .

Questi notevoli incrementi nella resa derivano dalle condizioni ambientali controllate mantenute all'interno delle strutture idroponiche. Tali condizioni permettono una produzione costante durante tutto l'anno, riducendo il numero di giorni necessari per ciascun raccolto e consentendo quindi la realizzazione di più raccolti annuali.

Inoltre, in relazione a [82], è importante citare lo studio riportato in [87]. Anche in quest'ultimo si fa riferimento all'incremento della produttività nell'ambito del vertical farming, e vengono forniti alcuni dati numerici a supporto di questa affermazione. In particolare, l'analisi di [87] presenta un confronto tra un sistema di coltivazione verticale all'aperto e l'agricoltura tradizionale, dunque orizzontale.

Questo studio ha un focus sulla coltivazione del pomodoro, rilevando che la produzione complessiva di pomodori nell'azienda agricola verticale supera quella dell'azienda agricola orizzontale in termini di resa.

Questa differenza sostanziale nella resa di frutta raccolta potrebbe essere attribuita alla capacità della coltivazione verticale di ottimizzare lo spazio attraverso la sovrapposizione delle colture, offrendo un vantaggio significativo rispetto al metodo tradizionale che richiede una vasta estensione di terreno. Dal punto di vista numerico, in [87] si afferma che la coltivazione verticale, sfruttando uno spazio di soli  $1,8 m^2$ , ha dimostrato una maggiore resa di frutta rispetto allo spazio di coltivazione orizzontale di  $3,6 m^2$ , suggerendo un potenziale per incrementare la produzione alimentare in situazioni in cui il terreno è in rapida diminuzione.

Inoltre, la variabilità delle altezze delle matrici verticali all'aperto garantisce alle piante più elevate un maggiore accesso alla luce solare, con impatti positivi sul rendimento delle specie coltivate.

L'adozione della coltivazione verticale offre vantaggi significativi non solo in termini di ottimizzazione dello spazio e riduzione del consumo di suolo, ma crea anche opportunità di crescita aerea, in cui le colture possono essere disposte in modo efficiente per aumentare la resa.

A titolo esplicativo, si riportano i dati relativi alla resa totale di pomodori, espressa in grammi, nei due contesti analizzati: l'*array* 3, l'*array* 2 e l'*array* 1 della coltivazione verticale hanno registrato una media di massa di pomodoro rispettivamente pari a  $67,10 g$ ,  $61,20 g$  e  $55,10 g$ , a differenza della coltivazione orizzontale che ha riportato una media di  $16,90 g$ . [87]

Proseguendo l'analisi di questo capitolo, ci concentriamo sullo studio di [88], che affronta la coltivazione del grano, una delle colture alimentari più rilevanti a livello mondiale, e che risulta occupare milioni di ettari. Le rese del grano nei campi, solitamente condizionate da clima, suolo e pratiche di gestione, tendono ad essere relativamente basse.

L'articolo [88] dimostra che la coltivazione del grano in fattorie verticali indoor, in condizioni di crescita ottimali, potrebbe generare rese diverse centinaia di volte superiori rispetto alla coltivazione in campo. Questo risultato è dovuto alla possibilità di ottenere più raccolti annuali e lo sfruttamento di strati sovrapposti verticalmente.

Tuttavia, nonostante l'ottimizzare l'uso del terreno, l'immunità alle condizioni climatiche, il riutilizzo dell'acqua, e l'eliminazione del rischio di parassiti e malattie, è improbabile che il grano coltivato in tal modo possa competere economicamente con i prezzi di mercato attuali, soprattutto a causa degli elevati costi energetici legati all'illuminazione artificiale del vertical farming.

Dal punto di vista numerico, il grano rappresenta una delle colture più cruciali a livello globale, fornendo il 20% delle calorie e delle proteine nella dieta umana. La produzione di grano nei campi richiede almeno sei mesi per maturare, consentendo un solo raccolto all'anno, con rese annuali che variano notevolmente in base all'accesso all'acqua e ai nutrienti.

In [88], inoltre, viene proposta anche una definizione dell'indice di raccolto, considerando l'efficienza della fotosintesi nella produzione della parte edibile delle piante.

Per i cereali, l'indice di raccolto viene calcolato come il rapporto tra la massa dei chicchi e la biomassa totale delle parti aeree.

La trattazione di [88] termina affermando che, nonostante il grande potenziale di resa, l'attuale costo elevato della coltivazione del grano indoor e le condizioni di mercato rendono improbabile il recupero dei costi di gestione di un impianto di frumento indoor di grandi dimensioni.

L'analisi di [89] esamina l'utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione, per la stima precisa della resa delle colture. Lo studio, condotto in un'area agricola tedesca, dimostra che quest'approccio offre un'accuratezza del 70%-80%, rivelando potenziali benefici nell'ambito dell'agricoltura di precisione. Tuttavia, va notato che questa tecnologia sembra essere maggiormente applicabile all'agricoltura tradizionale in campo aperto.

Nel contesto del vertical farming, l'utilizzo di sistemi satellitari potrebbe risultare limitato, ma altre tecnologie come i sensori ambientali interni, possono monitorare le condizioni all'interno delle strutture. Questa affermazione apre prospettive per ulteriori esplorazioni in successivi articoli che verranno presentati, come [90] e [91].

Inoltre, nel contesto di questo studio [89] si fa riferimento all'utilizzo dei *Crop Canopy Models* (noti come CCM) per calcolare la resa delle colture attraverso l'analisi di immagini satellitari ad alta risoluzione. Tali modelli si basano su dati relativi alla copertura vegetale, inclusi parametri quali densità della copertura e l'altezza delle piante. L'applicazione dei CCM rappresenta un pilastro dell'agricoltura di precisione, poiché fornisce agli agricoltori informazioni dettagliate per prendere decisioni informate sulla gestione delle colture.

Giunti a questo punto della trattazione, è possibile affermare che indipendentemente dal contesto, che sia il vertical farming o l'agricoltura tradizionale, è ampiamente riconosciuto che la previsione della resa delle colture rappresenti uno strumento essenziale per gli agricoltori. Un recente studio condotto in India [90], Paese dove l'agricoltura tradizionale è fondamentale per l'economia, ha dimostrato l'utilità di algoritmi di *machine learning* nel migliorare la produzione del tasso di resa. Tra i fattori chiave che influenzano la resa del raccolto, sono stati identificati la qualità dei semi e la selezione delle colture. La verifica della qualità dei semi prima della semina è dunque fondamentale per ottenere una resa ottimale.

Nel contesto del *machine learning* presentato in [90], è stata sviluppata un'applicazione Java per prevedere il tasso di resa del raccolto. Questa applicazione si articola in tre parti:

- 1) la gestione dei set di dati;
- 2) il testing dei dati;
- 3) l'analisi dei dati.



Nella fase 1 relativa alla gestione dei dati, vengono utilizzati dati storici convertiti in un formato compatibile con lo strumento Weka.

Durante i test, invece, sono stati considerati due approcci di *machine learning*: il Naive Bayes<sup>4</sup> e il metodo K-Nearest Neighbor<sup>5</sup>.

Tali metodi sono stati applicati su set di dati specifici, consentendo di ottenere risultati predittivi sulla resa in base a coltura, luogo e stagione. L'analisi dei dati ha permesso di valutare l'accuratezza dei diversi metodi, fornendo indicazioni preziose sugli approcci più efficaci.

Sebbene lo studio si basi sull'agricoltura tradizionale, è bene interrogarsi sul fatto che, se tali avanzamenti sono stati raggiunti in ambienti agricoli all'aperto, allora potrebbero essere altrettanto applicabili in strutture controllate al chiuso, come il vertical farming. Questa prospettiva suggerisce che le metodologie di previsione della resa sviluppate potrebbero essere adattate e implementate in ambienti indoor, offrendo nuove opportunità per l'ottimizzazione della produzione anche in contesti di farming verticale.

Un altro studio pertinente alle tematiche affrontate nel riferimento [90] risulta essere quanto presentato in [91], condotto anch'esso in India. La previsione della resa delle colture rappresenta una delle sfide più complesse nel settore agricolo, e diverse ricerche sono state effettuate con il fine di migliorare la precisione di tali previsioni, utilizzando algoritmi di *machine learning*. In questo contesto, l'articolo [91] esamina l'interconnessione tra due approcci distinti: l'algoritmo di apprendimento automatico chiamato Rete Neurale Artificiale (ANN) e il modello statistico di Regressione Lineare Multipla (MLR). Lo studio propone un modello ibrido MLR-ANN come metodo efficiente per la previsione della resa delle colture, utilizzando la programmazione R.

Il modello ibrido sviluppato è stato confrontato con altri modelli tradizionali, tra cui ANN<sup>6</sup>, MLR, Support Vector Regression (SVR)<sup>7</sup>, k-Nearest Neighbor (KNN) e Random Forest (RF)<sup>8</sup>, utilizzando parametri di prestazione specifici. I risultati ottenuti dimostrano che il modello ibrido MLR-ANN proposto da [91] offre una precisione superiore rispetto ai modelli convenzionali.

---

<sup>4</sup> Il teorema di Bayes è utilizzato per determinare la probabilità di un evento A, data l'occorrenza di un altro evento B. [177]

<sup>5</sup> Nell'ambito statistico, l'algoritmo k-NN rappresenta un metodo di apprendimento supervisionato non parametrico, che viene impiegato sia per la classificazione sia per la regressione. In entrambi i contesti, l'input si basa su una selezione dei k esempi di addestramento più vicini all'interno di un dataset. L'output, invece, varia a seconda dell'applicazione dell'algoritmo: nel caso della classificazione k-NN, l'output consiste nell'assegnazione dell'osservazione ad una specifica classe, mentre nella regressione k-NN, l'output rappresenta il valore associato a una particolare caratteristica o attributo dell'oggetto in analisi. [176]

<sup>6</sup> Artificial Neural Network (ANN) è un modello computazionale utilizzato nel machine learning, si configura come astratto ed una semplificazione del cervello umano, infatti risulta composto di "neuroni" artificiali. [178] [179]

<sup>7</sup> L'Algoritmo di Regressione a Vettori di Supporto (SVR) si basa sul medesimo principio fondamentale dell'Algoritmo di Support Vector Machine (SVM), noto per la classificazione, ma ne fa uso per stimare valori continui invece che assegnare classi. [181]

<sup>8</sup> L'algoritmo Random Forest è comunemente utilizzato in machine learning, esso combina i risultati di molti alberi decisionali per ottenere una singola previsione. La sua facilità d'uso e adattabilità lo hanno reso popolare, in quanto risulta in grado di affrontare problemi di classificazione e regressione. [180]

Nel dettaglio, l'articolo [91] spiega che l'ANN è uno strumento di *machine learning* ampiamente utilizzato nella previsione della resa delle colture, poiché esso imita il funzionamento del cervello degli esseri umani e, inoltre ANN si compone di tre strati: il livello di input, il livello nascosto e il livello di output.

D'altra parte, la Regressione lineare multipla, in acronimo MLR, è un modello statistico in cui la variabile dipendente  $Y$  (produzione) è correlata linearmente a diverse variabili indipendenti  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . In tale contesto  $Y$  è indicata come la produzione, mentre  $x_1, x_2, x_3, x_4$  potrebbero essere associati all'area di produzione, il numero di pozzi aperti e serbatoi per l'irrigazione, la lunghezza dei canali e la temperatura massima media. Questo approccio multidimensionale offre una maggiore precisione nella previsione della resa delle colture rispetto ai modelli tradizionali basati su un'unica variabile indipendente. [91]

## 5.2 APPLICAZIONE DI CONCETTI DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE

La trattazione del presente sotto-capitolo ha inizio con l'analisi affrontata in [92], nel quale si definisce la produzione lorda nel contesto del vertical farming, come il peso dei prodotti vendibili raccolti per metro quadro di area di crescita all'anno, supponendo che il tempo di funzionamento (*up-time*) della vertical farm sia operativa al 100% del tempo, e che la superficie di crescita disponibile sia utilizzata al massimo.

Questa citazione è ritenuta rilevante in quanto introduce il concetto di *up-time*. Per chiarire il significato del termine *up-time*, prendiamo in considerazione la definizione fornita da [93], che lo descrive come il rapporto tra il tempo in cui una macchina o un dispositivo è operativo o in produzione e il tempo totale a disposizione, ossia il tempo in cui la macchina o il dispositivo sono disponibili.

Il valore del presente KPI si esprime in percentuale; inoltre, il termine *up-time* si configura come il contrario di *down-time*, ovvero il tempo in cui la macchina o il dispositivo non è operativo rispetto al tempo totale a disposizione.

Tuttavia, è importante notare che l'*up-time* non sarà sempre del 100%, come riportato da [92]. Esistono diversi fattori che possono influenzare il KPI *up-time*, tra cui:

- orario non programmato: il tempo in cui non c'è una domanda per la produzione;
- fermi non programmati: periodi in cui è necessario interrompere la produzione;
- fermi programmati: tempo dedicato alla manutenzione;
- tempo di progettazione: tempo necessario per apportare correzioni e ottimizzazioni al sistema;
- tempo di *stand-by*: il sistema è pronto per la produzione ma in attesa di un passaggio successivo.

Inoltre, l'area di crescita disponibile potrebbe non essere utilizzata completamente nella pratica, ad esempio a causa di restrizioni logistiche del sistema, una domanda limitata oppure per variazioni nel mix delle colture.

Dal punto di vista matematico, riportando quanto citato in [93], l'*up-time* operativo è calcolato come segue (equazione 19):

$$\text{operational up - time} = \frac{\text{actual production time}}{\text{total available time}} * 100 \quad (19)$$

Nell'equazione sopra citata (Equazione 19), il numeratore è espresso come (equazione 20):

$$\text{actual production time} = \text{available time} - \text{setup time} \quad (20)$$

Inoltre, procedendo con l'analisi, è opportuno tener conto di un termine fondamentale nell'ambito della produzione industriale: il concetto di *failures*. Secondo quanto riportato in [94], questa nozione è definita come lo stato in cui gli articoli fabbricati non soddisfano completamente gli standard di qualità, e tali prodotti sono definiti come difettosi.

Relativamente al concetto di *failures* che è stato definito, alcuni esempi nel contesto del vertical farming che potrebbero verificarsi risultano essere:

- guasti nell'illuminazione;
- guasti nei sistemi di irrigazione;
- guasti nei sensori;
- guasti informatici o software.

I *failures* riferiti all'illuminazione potrebbero manifestarsi sotto forma di interruzioni nelle lampade a LED o fluttuazioni nell'intensità luminosa. Tali situazioni possono avere un impatto negativo sulla crescita delle piante, comportando una crescita non omogenea e ritardi nella maturazione delle colture.

I guasti nei sistemi di irrigazione potrebbero includere perdite d'acqua o problemi legati alle pompe, che portano a una distribuzione non omogenea dell'acqua tra le piante. Questo può causare problemi di stress idrico, sia per eccesso che per carenza d'acqua, influenzando la salute generale delle colture (capitolo 4.1, indice di stress idrico).

I malfunzionamenti dei sensori possono derivare da sensori difettosi o intermittenze. Tali problemi nei sensori, per quanto riguarda il monitoraggio delle condizioni ambientali, possono portare a dati non affidabili e alla mancanza di informazioni critiche per il controllo del sistema.

Infine, *failures* riferiti ai software o di natura informatica, possono verificarsi in modo comune nel vertical farming, così come in altri settori. Essi possono derivare ad esempio da interruzioni di rete o errori di programmazione nei sistemi di automazione dei processi.

Pertanto, la comprensione e la gestione degli esempi di guasti che possono verificarsi, risulta essenziale per mantenere un ambiente di coltivazione efficiente.

Una volta compreso il significato di *failures* e alcuni esempi pratici, diventa essenziale esplorare le strategie per la loro riduzione. Come evidenziato in [95], l'innovazione nella progettazione del prodotto risulta inefficace senza una sorveglianza costante della linea di produzione.

A questo proposito, le imprese hanno a disposizione diverse opzioni di manutenzione industriale per garantire la qualità della produzione, in accordo con quanto appreso durante il corso di sistemi di produzione.

Tali strategie risultano le seguenti:

- manutenzione correttiva;
- manutenzione preventiva;
- manutenzione predittiva.

La manutenzione correttiva, come suggerisce il termine, è un tipo di manutenzione che interviene al fine di correggere incidenti man mano che essi si verificano. Tale metodo risulta essere il più basilare, ma allo stesso tempo è anche il meno efficiente tra tutti.

La manutenzione preventiva si configura come una delle tecniche più comuni, e mira a prevenire guasti, riduce quindi il numero di rotture causate dal deterioramento. Di solito, la manutenzione preventiva prevede ad esempio le ispezioni regolari e misurazioni a scopo preventivo.

Infine, la manutenzione predittiva, si presenta come un sistema avanzato che fa uso dell'intelligenza artificiale per rilevare anomalie nell'operatività degli *asset*, al fine di anticipare quelli che si configurano come possibili guasti; tale tecnica sta diventando sempre più diffusa nelle cosiddette fabbriche intelligenti.

Inoltre, in relazione al concetto di *failures*, è importante considerare tre indicatori chiave, essi risultano essere MTTF, MTBF e MTTR. [95]

L'acronimo MTTF indica il *Mean Time To Failure*, ovvero un indicatore che rappresenta la media del tempo trascorso prima che un determinato apparecchio o componente fallisca oppure si guasti. Nello stesso modo in cui avviene in altre industrie, anche nella coltivazione verticale il MTTF trova applicazione per valutare la durata e l'affidabilità delle attrezzature e dei sistemi di produzione. Un valore elevato di MTTF indica che le attrezzature operano senza guasti per prolungati periodi, mentre un valore basso di MTTF suggerisce la necessità di interventi di manutenzione preventiva o di miglioramenti tecnici.

Un secondo indicatore è il *Mean Time Between Failures* (MTBF), il quale indica la media del tempo trascorso tra due guasti consecutivi di un determinato componente.

Per ultimo, è opportuno menzionare il MTTR (*Mean Time To Repair*): esso misura la media del tempo necessario per riparare e far ritornare allo stato funzionante un apparecchio, dopo che ha mostrato la presenza di un guasto. In particolare, un valore ridotto di MTTR è gradito per ridurre il tempo di inattività della produzione (*down-time*). [95]

Esistono altri due indicatori che possono essere estratti dal contesto della produzione industriale e applicati al settore dell'agricoltura verticale:

- 1) l'indice *throughput* (TH);
- 2) il tempo del ciclo della coltivazione [96].

In particolare, in accordo con [96] il tempo del ciclo della coltivazione rappresenta l'intervallo di tempo tra la fase di semina e il momento della raccolta di una coltura. Più precisamente, il periodo base è definito come il periodo che va dall'irrigazione iniziale della coltura quando avviene la semina, fino all'ultima irrigazione prima della raccolta. La quantità complessiva d'acqua necessaria per il completo sviluppo della coltura è quantificata in metri cubi per ettaro.

Dunque, è evidente che il monitoraggio del tempo del ciclo della coltivazione è fondamentale per ottimizzare la pianificazione delle semine e delle raccolte. Riducendo il tempo del ciclo, è possibile incrementare la frequenza delle raccolte e, conseguentemente, la produzione totale della vertical farm.

Per quanto riguarda l'indice TH nella produzione, è opportuno menzionare la distinzione introdotta in [97]: il "tempo di *throughput*" è un concetto correlato al "tasso di *throughput*," ma essi misurano aspetti leggermente differenti. Il "tasso di *throughput*" o *throughput rate* indica la quantità di inventario prodotto durante un dato intervallo di tempo (ad esempio ore, giorni, etc...), il "tempo di *throughput*" o *throughput time* denota il tempo indispensabile per generare un'unità di inventario. Da un punto di vista matematico, la formula per il *throughput* è la seguente (equazione 21):

$$TH = \frac{I}{T} \quad (21)$$

Dove il numeratore dell'equazione 21 rappresenta l'inventario, cioè la risorsa generata al completamento di un'attività (come televisori per un'azienda di elettronica, panini e focacce per una panetteria o clienti che sono stati assistiti per un centro di assistenza IT). Mentre il denominatore T rappresenta il tempo, cioè il periodo necessario per produrre l'inventario.

Un'ulteriore definizione di TH è fornita in [98], dove tale KPI viene calcolato come la quantità che attraversa una linea di produzione o il volume trattato. Si riferisce alla quantità di materiale processato in un dato intervallo di tempo, che passa ad esempio attraverso un magazzino.

Sotto il profilo dell'applicazione, poiché l'indice TH misura l'efficienza della produzione, aumentare il TH consente di massimizzare la produzione in un determinato intervallo di tempo, migliorando l'efficienza e la redditività complessiva.

Nell'ambito del vertical farming, la scelta di coltivare delle varietà che possiedono un rapido tasso di crescita, dunque un ciclo di crescita breve, ha impatti positivi sul TH, in quanto tale decisione aumenta il numero di raccolti che si ottengono nel tempo stabilito, come ad esempio l'unità di un anno.

Inoltre, in accordo con [99], la fase di lavorazione più lenta prende il nome di collo di bottiglia (*bottleneck*) e si configura come un punto di congestione; tale fase risulta di notevole importanza in quanto essa determina il ritmo del processo produttivo.

Dunque, una soluzione per aumentare l'efficienza di produzione risulta essere l'eliminazione dei *bottleneck*.

Un'applicazione del concetto di *bottleneck* nel settore del vertical farming potrebbe essere rappresentata dai processi di irrigazione delle piante, qualora tali processi dovessero necessitare di più tempo rispetto alle altre operazioni. Per affrontare questa sfida, è possibile ottimizzare il sistema di irrigazione sfruttando tecnologie avanzate come l'automazione, al fine di aumentare l'efficienza complessiva.

Un altro possibile *bottleneck* potrebbe manifestarsi nei processi di raccolta e imballaggio delle colture, specialmente quando affidati alla manodopera. In questo caso, l'introduzione di sistemi robotizzati potrebbe contribuire a mitigare la presente problematica.

Va sottolineato che anche altri processi, come la semina, potrebbero diventare dei colli di bottiglia. Pertanto, in ogni azienda di vertical farming, così come in qualsiasi settore industriale, è fondamentale condurre un'analisi dettagliata dei processi specifici al fine di individuare i punti critici e sviluppare soluzioni customizzate per ottimizzare le operazioni.

Come conclusione di tale sotto capitolo, viene presentato un ultimo concetto di notevole importanza: la *bill of materials* (BoM). In riferimento alla definizione fornita in [98], la BoM è espressa come la struttura e la composizione di un prodotto industriale, la quale elenca tutti i materiali e componenti, inclusi i codici di riferimento e il numero di pezzi, necessari per la produzione di un'unità del prodotto; in modo simile alla ricetta di una pietanza.

La struttura della *bill of materials* può essere organizzata su più livelli:

- 1) il primo livello rappresenta i gruppi funzionali che costituiscono il prodotto finito;
- 2) il secondo livello elenca tutti i componenti dei suddetti gruppi funzionali in modo ordinato;
- 3) il terzo livello si riferisce ai componenti dei componenti (definiti al punto 2), e così si procede fino a giungere al livello più dettagliato, oltre il quale non è più possibile procedere.

Per quanto riguarda l'applicazione pratica di tale concetto nel contesto dell'elaborato in oggetto, è possibile sviluppare, ad esempio, una BoM per la struttura di una vertical farm, la quale risulterebbe costituita dai seguenti elementi principali:

- semi e piante da coltivare;
- substrato;
- sostanze nutritive;
- sistema di illuminazione e irrigazione;
- sistema di monitoraggio, con sensori e robot;
- vassoi, contenitori, utensili;
- materiale per il packaging e confezionamento dei prodotti.

### 5.3 ANALISI DELLA LOGISTICA

Nel contesto della produttività relativa al vertical farming, viene esaminato il sotto capitolo dedicato all'analisi della logistica.

Nella presente sezione, la trattazione esplora diversi macro-temi riguardanti la gestione logistica nel contesto delle vertical farms.

In particolare, si focalizzerà l'attenzione sul problema del trasporto, analizzando anche alcuni dati numerici come confronto tra tale approccio e l'agricoltura tradizionale. Successivamente, ci si concentrerà sull'utilizzo dei magazzini nelle vertical farms, evidenziando anche in tal caso le differenze sostanziali rispetto all'approccio tradizionale, ed esaminando come tali differenze influiscano sulle operazioni logistiche complessive.

La pratica del vertical farming sta guadagnando sempre più popolarità e potrebbe offrire una soluzione al problema dell'approvvigionamento alimentare nelle aree urbane ad alta densità abitativa. Inoltre, potrebbe contribuire a mitigare le sfide legate al trasporto, rendendo possibile la produzione e la distribuzione di alimenti in una forma più sostenibile. L'uso di edifici dismessi o abbandonati potrebbe contribuire a ridurre, se non addirittura eliminare, la distanza tra produttori e consumatori.

Un altro aspetto significativo del vertical farming è il suo potenziale impatto sulle emissioni legate alla distribuzione alimentare, soprattutto in relazione alla Grande Distribuzione Organizzata (GDO). Il sistema agricolo tradizionale è responsabile di una parte significativa delle emissioni di gas serra. [100] La filiera agroalimentare tradizionale comporta il trasporto a lunga distanza tra luoghi di produzione, trasformazione, confezionamento e distribuzione, causando inquinamento e il deterioramento degli alimenti coinvolti in tale trasporto.

Le vertical farms, dunque, possono rappresentare un'alternativa in grado di integrare la catena di approvvigionamento alimentare, soprattutto in situazioni di crisi, in cui la GDO potrebbe non essere in grado di reagire prontamente ai cambiamenti improvvisi, rendendo difficile l'accesso ai consumatori urbani. [100]

Come riportato in precedenza in [100], anche [101] enfatizza la persistente pressione sui sistemi alimentari dovuta alla crescita della popolazione urbana, una situazione che è stata evidente anche durante l'epidemia di Covid-19. Di conseguenza, è essenziale promuovere lo sviluppo di sistemi alimentari urbani che siano più sostenibili, in grado di garantire la fornitura di alimenti direttamente nelle aree urbane o nelle zone circostanti, al fine di affrontare le sfide che si prospettano nel futuro.

Inoltre, la vicinanza delle vertical farms ai centri di consumo contribuisce notevolmente alla riduzione delle emissioni legate al trasporto e allo stoccaggio, avendo un impatto positivo sull'impronta di carbonio dei sistemi alimentari. [101] [102]

Procedendo nell'analisi, un ragionamento simile è stato esaminato anche in [103].

Secondo quest'ultima fonte, la vicinanza delle vertical farms ai consumatori può comportare significative riduzioni nei tempi di viaggio, ma anche nei costi di stoccaggio e nelle necessità di refrigerazione e trasporto degli alimenti. Tale studio afferma in aggiunta che i benefici delle vertical farms non si limitano esclusivamente ai consumatori finali, ma possono estendersi a diverse posizioni nella catena alimentare, come distributori e punti vendita al dettaglio. [103]

In aggiunta, l'agricoltura verticale richiedendo meno spazio garantisce la possibilità di ottenere un notevole aumento relativo alla produzione degli alimenti coltivati, e inoltre implica una flessibilità notevole, in quanto rivenditori di prodotti e supermercati, potrebbero direttamente trasformare parte dei propri spazi inattivi in strutture di vertical farming con dimensioni ridotte. [104]

Dal punto di vista dei dati, tramite uno studio LCA sono stati ipotizzati alcuni dati sul trasporto, utili per comprendere come i tragitti risultino ridotti e dunque come conseguenza anche le emissioni sono minori. In particolare, in [105] le distanze di trasporto per i materiali di coltivazione e gli input infrastrutturali sono state ipotizzate a 100 km, mentre per il substrato di coltivazione e l'imballaggio, che provengono da fonti locali, si è considerata una distanza di trasporto di 50 km. Nel contesto del sistema di vertical farming, i prodotti finali vengono principalmente consegnati utilizzando biciclette da carico, poiché il mercato è prevalentemente locale.

Tuttavia, nelle zone circostanti la città di Stoccolma, in cui è stato effettuato lo studio di [105], si prevede che circa il 50% delle consegne totali vengano effettuate anche in auto. Tali consegne in automobile sono pianificate con veicoli elettrici, dato che l'azienda dispone di questa soluzione di trasporto, e tali mezzi possono portare circa 430 piante per ogni consegna.

L'adozione di catene di approvvigionamento più brevi potrebbe significativamente ridurre le perdite durante il trasporto e garantire la freschezza dei prodotti. [105]

È opportuno confrontare anche alcuni valori numerici tra l'agricoltura tradizionale e il vertical farming per comprendere effettivamente la convenienza di quest'ultimo in termini di trasporto ed emissioni. Secondo [106] il cibo proveniente dall'agricoltura tradizionale richiede un consumo di carburante che varia da 4 a 17 volte superiore rispetto al cibo coltivato localmente. L'agricoltura convenzionale è anche responsabile di emissioni di  $CO_2$  significativamente più alte, con un intervallo che va da 5 a 17 volte superiore rispetto ad altre pratiche agricole. Nel frattempo, le fattorie verticali potrebbero aumentare la produttività nelle aree altamente urbanizzate, portando a miglioramenti nella sicurezza alimentare della comunità.

Purtroppo, l'agricoltura tradizionale è associata a emissioni più elevate, soprattutto dovute al trasporto dei prodotti, noto come "*food miles*". La quantità di chilometri necessari per far viaggiare il cibo dal produttore ai consumatori può risultare in emissioni di  $CO_2$  che variano da 11 kg a 666 kg, a seconda della distanza dalla quale proviene il cibo.

Poiché spesso i terreni agricoli si trovano a notevole distanza dai centri urbani, dove risiedono la maggior parte dei consumatori finali, le emissioni legate ai *food miles* costituiscono in media il 62% delle emissioni totali dell'agricoltura tradizionale. Inoltre, un'ulteriore fonte importante di emissioni di  $CO_2$  nell'ambito dell'agricoltura tradizionale è il notevole spreco alimentare. [106]

Dopo la raccolta dei prodotti, è necessario seguire un complesso processo post-raccolta e di logistica per trasportare il cibo dagli agricoltori ai consumatori. Le verdure e la frutta, in particolare, sono soggette a un alto tasso di deterioramento e devono essere mantenute fresche per conservare il loro valore nutrizionale. Nell'ambito dell'agricoltura tradizionale, gli alimenti vengono trasportati dal campo agli impianti di lavorazione, dove subiscono taglio e lavaggio con acqua fredda, utilizzando centrifugazione per rimuovere l'acqua in eccesso. Dopo il trattamento, i prodotti iniziano a decomporsi.

Per giungere dai luoghi di lavorazione ai negozi un prodotto richiede mediamente da 2.000 a 3.500 km di trasporto, corrispondenti a 4-6 giorni.



In soli tre giorni, gli alimenti possono perdere il 30% del loro valore nutrizionale dopo essere stati raccolti e sottoposti alle operazioni di lavorazione, il che si traduce in prodotti finali significativamente impoveriti dal punto di vista nutrizionale per i consumatori. [106]

Uno studio simile a [106] è affrontato da [107], nel quale si afferma che dal punto di vista della catena di approvvigionamento, l'agricoltura verticale presenta due principali vantaggi: riduzione dei tempi di trasporto e riduzione dello spazio necessario per svolgere l'attività di coltivazione.

In primo luogo, quindi, il vertical farming riduce notevolmente il percorso che i prodotti quali frutta e verdura fresca devono compiere per raggiungere gli scaffali dei supermercati, con conseguente riduzione del consumo di carburante e del costo totale per i consumatori.

Secondo alcune ricerche negli USA circa il 35% dei prodotti venduti nei supermercati è importato, e mediamente ciascun prodotto ha sopportato circa 3.200 km di viaggio. Questa distanza implica che i prodotti vengono raccolti circa due settimane prima che possano essere acquistati dai consumatori. Tuttavia, nonostante i dati proposti siano relativi a prodotti importati, anche per quanto riguarda i prodotti nazionali, il tempo e il costo necessari per spedire i prodotti in tutto il Paese sono notevoli. Dunque, per limitare tale problematica, la soluzione potrebbero essere le vertical farms, che grazie alle loro dimensioni compatte in termini di suolo occupato, possono essere collocate nelle aree urbane, garantendo una più rapida disponibilità di prodotti freschi sugli scaffali dei supermercati. [107]

All'interno di una vertical farm, come già accennato in precedenza, vengono gestiti praticamente tutti gli aspetti della filiera agricola: dal posizionamento del seme nel substrato fino al processo di confezionamento. Questo approccio consente una significativa riduzione dei tempi di consegna nei supermercati, migliorando così la freschezza dei prodotti.

Un esempio tangibile di questa pratica è riportato in [108], dove si citano alcune aziende italiane<sup>9</sup> operanti nel settore del vertical farming e vengono presentati dati relativi alle loro strategie di trasporto. Ad esempio, l'azienda Agricola Moderna si è concentrata su una distanza massima di 100-150 km, sfruttando una posizione strategica della struttura situata alle porte di Milano.

Allo stesso modo, l'azienda Zero sta cercando attivamente *partnership* con stabilimenti di trasformazione delle materie prime.

Questo sforzo è finalizzato a integrare i sistemi di vertical farming direttamente all'interno di questi stabilimenti, dove vengono trasformate le materie prime. [108]

Successivamente, in [109] viene presentato un pensiero innovativo riguardo la filiera nel contesto del vertical farming.

Infatti, da un punto di vista logistico, secondo [109] esso si configura come un'interessante combinazione dei concetti di *dark store*<sup>10</sup> e filiera corta; l'agricoltura verticale, quindi, incorpora

---

<sup>9</sup> Le principali aziende italiane di vertical farming sono discusse in modo approfondito nel capitolo dedicato (cap. 6.1).

<sup>10</sup> Il concetto di *dark store* è una risposta diretta all'espansione dell'*e-commerce* e si configura come un supermercato virtuale.

l'efficienza operativa tipica dei *dark store* e la riduzione della filiera in una nuova prospettiva. Dunque, il vertical farming non solo riduce l'impatto ambientale delle attività agricole, ma consente anche catene di approvvigionamento più brevi e prossime ai consumatori finali, riducendo così le emissioni derivanti dal trasporto delle merci prodotte.

Questa nuova configurazione della filiera rappresenta una riduzione senza precedenti dello spazio che solitamente intercorre tra produttore e distributore. In tal modo, la distanza tra produttore e consumatore finale si accorcia significativamente, sebbene questa riduzione non sia immediatamente percepibile per l'utente finale, il che rappresenta un vantaggio significativo. Questo approccio rappresenta un perfetto connubio tra esigenze logistiche, ambientali, produttive e tecnologiche, richiedendo una sinergia armoniosa di competenze in tutte queste direzioni. [109]

Uno degli ultimi concetti che si ritiene opportuno trattare, riguarda il ruolo delle innovazioni tecnologiche nel promuovere configurazioni di catene di approvvigionamento più locali piuttosto che globali affrontato in [102]. Le catene di fornitura tradizionali spesso incorporano elementi sia globali che locali.

Le vertical farms rappresentano il futuro della coltivazione urbana, integrando tecniche avanzate di coltivazione indoor in strutture architettonicamente sostenibili.

Questi complessi racchiudono tutte le fasi del processo di produzione, dalla semina alla vendita al dettaglio, in un'unica struttura; di conseguenza costituiscono catene di approvvigionamento estremamente locali e autosufficienti.

D'altra parte, in queste catene di fornitura corte, spesso circoscritte a livello regionale, i legami tra i dipendenti e i vari reparti vanno oltre una prospettiva puramente transazionale.

Ogni entità percepisce una connessione diretta con l'intero sistema e partecipa attivamente al processo produttivo dall'inizio alla fine.

Dunque, come conclusione, si può affermare che le vertical farms integrano tutti gli elementi della catena di fornitura, operando come un'entità coesa, in modo analogo al funzionamento di un'unica azienda.

Nonostante le vertical farms possano far parte di gruppi multinazionali, ogni struttura è gestita con una focalizzazione regionale, producendo prodotti freschi per le comunità locali.

Riunendo tutte le componenti della catena di fornitura in un'unica sede, c'è il potenziale per rafforzare le interazioni sociali, migliorare il morale dei dipendenti e le condizioni di lavoro complessive per tutti gli attori coinvolti nella catena di fornitura. [102]

Come panoramica conclusiva dell'analisi relativa ai trasporti, dopo aver esaminato testimonianze riguardo all'ottimizzazione della produzione nelle catene di approvvigionamento e fornito dati

---

Questo tipo di struttura è chiuso al pubblico e privo di clienti fisici. All'interno operano solo dipendenti e veicoli dedicati alla gestione e preparazione degli ordini ricevuti in formato digitale, destinati alla consegna a domicilio in tempi rapidi. La disposizione degli articoli all'interno del *dark store* è ottimizzata in modo funzionale e logistico, anziché secondo criteri commerciali tradizionali, consentendo così un utilizzo più efficiente degli spazi.

numerici a sostegno, si presenta uno studio che delinea un sistema di trasporto logistico specifico per il vertical farming.

In particolare, nello studio affrontato in [110] viene menzionato come fin dagli anni '90, il Giappone abbia avviato ricerche sulla coltivazione verticale in strutture industriali, esplorando varie modalità di trasporto per la consegna delle unità di coltivazione all'interno delle strutture.

In particolare, relativamente allo studio attuale [110], sono stati considerati quattro tipi di sistemi logistici per le unità di coltivazione all'interno di scaffali verticali:

- 1) consegna all'estremità dello scaffale senza alimentazione all'interno dello scaffale;
- 2) consegna all'estremità dello scaffale con alimentazione all'interno dello scaffale;
- 3) trasporto logistico di magazzinaggio;
- 4) consegna all'estremità dello scaffale con un grande contenitore.

La modalità indicata al punto 1) coinvolge una linea di trasporto a terra, un carrello di sollevamento di ingresso e uscita, un veicolo a spinta guidato e un carrello di sollevamento.

Questa modalità offre un costo inferiore e una minor frequenza di guasti, essendo priva di motori e meccanismi di trasporto all'interno dello scaffale. [110]

La seconda modalità proposta implica una linea di trasporto a terra, un sistema di consegna al capo dello scaffale (IOLC) e un sistema di trasporto per lo scaffale di coltivazione (CSCS). Questa modalità applica un tipo di trasporto progressivo ma richiede un carrello elevatore in meno rispetto alla modalità 1. [110]

Proseguendo con la terza modalità, si afferma la presenza di un carrello di consegna al capo dello scaffale (EDLC) e dei veicoli di consegna guidati. Tale sistema è meno efficiente rispetto alle modalità di trasporto progressivo delle modalità 1 e 2, e inoltre risulta meno adatto alla produzione su larga scala. [110]

Infine, la quarta e ultima modalità utilizza lo stesso metodo di consegna delle unità di coltivazione della modalità 2, ma il suo contenitore di coltivazione è notevolmente più grande.

Questo approccio richiede più spazio per il trasporto delle unità di coltivazione ed è adatto a scenari che richiedono produzioni altamente efficienti e automatizzate. [110]

Lo studio sopra presentato, quindi, confronta la produttività di trasporto di queste quattro modalità logistiche per le unità di coltivazione all'interno degli stessi scaffali verticali.

La produttività del trasporto è un fattore cruciale nei sistemi logistici, e a tal fine, sono state eseguite simulazioni per valutare le prestazioni delle diverse modalità in varie condizioni operative utilizzando il software *Flexsim 20.02*. [110]

In conclusione, secondo [110], il sistema di trasporto logistico sviluppato nella modalità 1 ha raggiunto una produttività di 330 unità di coltivazione all'ora in ingresso e 270 unità di coltivazione orarie in uscita.

Questa struttura di coltivazione includeva due scaffali di coltivazione verticali, ciascuno composto da sei strati con 30 unità di coltivazione per strato.

Come anticipato precedentemente, nell'analisi del presente capitolo verrà esaminato il ruolo dei magazzini all'interno del contesto delle vertical farms. In merito saranno presentati diversi esempi concreti, al fine di fornire una panoramica esaustiva delle pratiche e delle strategie adottate in questo innovativo settore. Tale analisi mira a sottolineare l'importanza cruciale dei magazzini nel garantire un funzionamento ottimale delle vertical farms, evidenziando le soluzioni adottate da alcune aziende.

In particolare, in [111] ci si riferisce all'azienda Automha, la quale ha accumulato un'ampia esperienza e *know-how* dal 1979, diventando un leader nel settore dei magazzini automatici. L'azienda è specializzata nell'ingegnerizzazione di soluzioni su misura per diverse esigenze di stoccaggio in differenti settori.

La filosofia aziendale di Automha ruota attorno al concetto di magazzino completamente automatizzato. Fin dall'inizio, il fondatore Franco Togni si è posto come sfida la realizzazione del prelievo di unità di carico senza la necessità dell'intervento umano.

Nel contesto dello studio del presente elaborato circa il vertical farming, sono stati identificate due *case studies* correlate all'azienda Automha.

La prima *case study* si riferisce all'azienda olandese Future Crops, nella quale Automha ha realizzato un magazzino automatico verticale con trasloelevatore a satellite per la coltivazione di ortaggi. Questo ambiente orientato al riciclo di acqua ed all'utilizzo di energia solare supporta tutte le fasi dalla semina allo stoccaggio, fino alla distribuzione degli ortaggi. L'azienda Future Crops, pioniera nel vertical farming, ha adottato una filosofia di coltivazione altamente controllata che combina tecnologie all'avanguardia con competenze agricole sofisticate. [111]

Dunque, in collaborazione con Philips, Automha ha sviluppato un magazzino automatico verticale in multiprofondità per la coltivazione di erbe aromatiche. Questo magazzino offre condizioni di crescita ottimali per una vasta gamma di colture, promuovendo un'agricoltura ottimizzata, altamente efficiente e non influenzata dalla stagionalità e dai fattori esterni, quali le condizioni climatiche.

Dal punto di vista dei dati, il magazzino automatico realizzato da Automha per Future Crops occupa uno spazio di  $900\text{ m}^2$ , con un'altezza di  $12\text{ m}$  e può ospitare 980 vassoi, coprendo una superficie coltivata complessiva di  $4.000\text{ m}^2$ . Questo magazzino è equipaggiato con un trasloelevatore con satellite Supercap, un sistema di movimentazione dei vassoi attraverso tutte le macchine di processo e consente la movimentazione e lo stoccaggio di vassoi delle dimensioni di  $2,9 \times 1,4\text{ m}$ , con ciascun vassoio che offre una superficie di  $4,1\text{ m}^2$ . Inoltre, il sistema di produzione autonomo in questione, formato da coltivazioni idroponiche automatizzate, è in grado di generare sette raccolti annuali, occupando solamente un decimo dello spazio rispetto all'agricoltura tradizionale. [111]

Il secondo caso studio tenuto in considerazione in [111] riguarda l'azienda svedese Ljusingårda, specializzata nella coltivazione e nella consegna di insalata entro  $24\text{ h}$  dal raccolto.

Recentemente, l'impresa svedese ha attraversato una notevole fase di crescita, nell'ambito di un audace progetto volto a ridurre la dipendenza della Svezia dalle importazioni estere.

Attualmente, Ljusgård gestisce una coltivazione indoor in uno spazio di 7.000  $m^2$  e, in linea con i valori dell'azienda svedese, Automha ha fornito Autosat, uno *shuttle* di nuova generazione progettato per lo stoccaggio automatico e la movimentazione di pallet in multiprofondità.

Autosat si occupa di tutte le fasi della coltivazione: dalla fase iniziale in cui i semi di insalata vengono posti in vassoi insieme a materiali quali torba e fibra di cocco, alla fase di crescita in cui vengono forniti energia rinnovabile come luce, acqua e aria per 18 h al giorno, creando l'ambiente ideale per la crescita delle piante.

Il sistema di stoccaggio consiste in 4 campate con una profondità di 37 m e disposte su 4 livelli, con la capacità di contenere un numero di 688 vassoi. [111] Inoltre, sono presenti due Autosat, i quali si occupano di spostare i vassoi lungo la pista e di posizionarli in posizioni specifiche per irrigare e gestire il contenuto. Infine, Autosat gestisce anche il trasporto dei pallet e dei vassoi alle stazioni di raccolta, dove l'insalata viene preparata per la spedizione; tale approccio impedisce qualsiasi forma di contaminazione.

Il magazzino di Ljusgård è considerato un modello di esempio per le vertical farms, con un sistema totalmente automatizzato che supporta la coltivazione in magazzini multistrato, utilizzando luci, sistemi di irrigazione sofisticati e ambienti climatizzati.

Questo impianto è stato avviato nel 2021 e opera 24/7, distinguendosi per gli elevati standard igienici del prodotto e dell'ambiente, in quanto gli Autosat utilizzati possono essere realizzati in acciaio inox e sono completamente lavabili. [111]

Durante l'analisi relativa al tema in esame, è emersa un'altra azienda specializzata nei magazzini automatizzati, con particolare attenzione all'applicazione nel vertical farming.

Come descritto in [112], tale azienda è Swisslog, multinazionale svizzera specializzata in soluzioni di logistica robotizzata.

Nel 2021, Swisslog ha annunciato il suo ingresso nel settore del vertical farming, proponendo un'innovazione nell'ambito dell'intralogistica basata sul concetto di raccolta su richiesta.

L'obiettivo di Swisslog è applicare sistemi di magazzino automatizzato all'agricoltura indoor, mediante l'uso di soluzioni *software* che mirano alla riduzione dei costi operativi, aumentare la scalabilità e introdurre flessibilità nelle operazioni di magazzino, dove il rivenditore assume un ruolo centrale.

Il responsabile dell'innovazione dei prodotti presso Swisslog condivide in [112] che, sebbene l'azienda non abbia sviluppato soluzioni esclusive per il vertical farming, la vasta gamma di proposte di automazione aziendali si può adattare e utilizzare nelle attuali vertical farms o in quelle di nuova realizzazione. Questa flessibilità è il risultato di una notevole competenza acquisita nel settore alimentare e nella gestione della distribuzione di prodotti freschi. Tuttavia, l'azienda sottolinea che non è possibile applicare gli stessi processi utilizzati finora, poiché le piante in qualità di organismi viventi sono soggette a deperimento una volta raccolte.

Dunque, poiché i prodotti del vertical farming sono altamente deperibili, il fattore tempo riveste un ruolo cruciale: la sfida consiste nell'accelerare la consegna dei prodotti ai rivenditori, seguendo l'approccio innovativo della raccolta su richiesta. [112]

Swisslog è impegnata in questo progetto, consapevole che attualmente la popolazione del nostro pianeta è ai margini di una rivoluzione nella catena alimentare.

Saranno necessarie fattorie indoor all'interno dei punti vendita, con cibo fresco disponibile in risposta alle esigenze di domanda e offerta.

Infatti, in accordo con quanto già affermato in [111], anche [112] afferma che l'automazione può essere applicata a vari processi dell'agricoltura indoor, dalla semina alla raccolta, al confezionamento e alla movimentazione delle confezioni. Un alto livello di automazione offre maggiori opportunità per aumentare l'efficienza operativa e ridurre i costi di manodopera.

Tuttavia, è essenziale individuare insieme con i produttori la soglia produttiva che rende conveniente tale operazione.

Nel contesto dell'agricoltura moderna, il vertical farming si presenta come una soluzione rivoluzionaria, che abbraccia tecnologie all'avanguardia e una filosofia di produzione alimentare altamente sostenibile. Ciò che distingue in modo significativo il vertical farming dall'agricoltura tradizionale sono i materiali e le attrezzature utilizzate. Infatti, riassumendo in tale contesto quanto già affrontato nel cap.1, i materiali chiave nel vertical farming includono substrati specializzati, spesso privi di suolo, che forniscono un ambiente di crescita ottimale per le piante. Inoltre, in accordo con l'analisi del cap.4, il ricorso a sistemi di illuminazione controllata, come luci a LED ad alta efficienza energetica, è fondamentale per fornire la giusta quantità di luce alle coltivazioni a ogni stadio di crescita. Questi sistemi di illuminazione consentono ai coltivatori di adattare la luce alle esigenze specifiche delle piante, aumentando notevolmente l'efficienza e riducendo il consumo energetico.

Le attrezzature nel vertical farming sono altamente automatizzate e spesso includono sistemi di irrigazione computerizzati e robot che si occupano delle operazioni quotidiane di cura delle piante. Le vertical farms utilizzano anche sistemi di controllo climatico avanzati per mantenere costanti le condizioni di temperatura e umidità, garantendo un ambiente di crescita ottimale durante tutto l'anno.

È chiaro che questi materiali e attrezzature rappresentano un cambiamento significativo rispetto all'agricoltura tradizionale, che spesso dipende da terreni all'aperto e metodi di coltivazione meno tecnologici.

Nell'agricoltura tradizionale, è ampiamente noto che l'uso di trattori risulta un elemento fondamentale per la preparazione del terreno, la semina e la raccolta delle colture. Tuttavia, nel contesto del vertical farming, i trattori tradizionali sono stati sostituiti da tecnologie e metodi completamente diversi, basta far riferimento anche solo a quanto citato in [111] e [112].

Le coltivazioni verticali si sviluppano in ambienti interni, spesso in strutture multilivello o su scaffalature verticali. In questi contesti, l'uso di trattori tradizionali risulterebbe impraticabile, dato che spazio e manovrabilità sono limitati. Invece, i compiti che in passato richiedevano trattori, come la semina e la raccolta, sono ora gestiti da sistemi robotici avanzati. Questi robot possono eseguire operazioni precise e ripetitive, garantendo una crescita ottimale delle piante e un elevato grado di efficienza.

Inoltre, le vertical farms spesso utilizzano substrati idroponici o aeroponici al posto del suolo tradizionale, il che elimina la necessità di arature e lavori del terreno che avrebbero richiesto attrezzi

pesanti come trattori. Dopo aver affrontato il capitolo 4.2 circa l'utilizzo dell'energia elettrica, risulta semplice ribadire che la tecnologia di illuminazione controllata garantisce una crescita uniforme delle piante senza la dipendenza dal ciclo naturale della luce solare, rendendo obsolete le attività di preparazione del terreno e di semina all'aperto.

In sintesi, il vertical farming ha rivoluzionato l'agricoltura moderna sostituendo i trattori tradizionali con tecnologie avanzate e sistemi automatizzati, contribuendo a una produzione alimentare più efficiente e sostenibile.

In conclusione, si può affermare come il capitolo 5 abbia dimostrato che la produttività in termini di resa, gestione dei magazzini, utilizzo di materiali e attrezzature attraverso l'impiego di sensori, anche basati su IoT (cap. 2.8) è significativamente superiore nel vertical farming rispetto al contesto dell'agricoltura tradizionale.

Nonostante ciò, rimane aperta la discussione circa gli elevati costi energetici ampiamente discussi in precedenza, che sembrano rappresentare una delle sfide principali per il settore.

## 6 LE AZIENDE DI VERTICAL FARMING

Il capitolo 6 si dedica all'esplorazione delle aziende di vertical farming. In particolare, verranno esaminate le realtà impegnate nella produzione orticola in vertical farming sia a livello nazionale, con il capitolo 6.1 dedicato alle aziende italiane, sia a livello globale, con il capitolo 6.2 incentrato sulle aziende internazionali.

Successivamente, con il capitolo 6.3 il focus si sposterà sulle aziende fornitori di sistemi per il vertical farming, evidenziando coloro che forniscono impianti alle aziende produttrici, ai ristoranti o per gli utilizzi domestici.

Il capitolo 6.4 rappresenta un'ulteriore prospettiva, concentrando l'attenzione sulle interviste condotte con alcune aziende italiane (presentate nel capitolo 6.1). La scelta di intervistare le aziende italiane è motivata dalla vicinanza geografica, facilitando i contatti e permettendo un approfondimento più agevole.

Per quanto riguarda le aziende a livello mondiale, l'approccio del questionario è stato preferito (capitolo 6.5) garantendo una raccolta più rapida di informazioni, considerando il maggior numero di aziende coinvolte.

### 6.1 VERTICAL FARMING IN ITALIA

In tale capitolo verranno affrontate le aziende di vertical farming presenti sul territorio italiano, menzionando le origini, gli obiettivi e i valori di ognuna, per comprendere quali sono gli elementi che esse hanno in comune e in cosa invece si differenziano.

Si precisa che le imprese oggetto di discussione del capitolo sono state selezionate attraverso una ricerca online.

Le aziende che saranno presentate sono le seguenti:

- Planet Farms;
- Agricola moderna;

- Zero;
- The Circle;
- Kilometro verde;
- LocalGreen;
- BioExtraSolum.

Alcuni dettagli delle aziende di vertical farming in Italia sono presentati nella tabella 6.

Tabella 6: Aziende di vertical farming in Italia

NOME AZIENDA	ANNO DI FONDAZIONE	NUMERO DIPENDENTI <sup>11</sup>	SEDE AZIENDALE	TECNOLOGIA UTILIZZATA	PRODOTTI COLTIVATI
Planet Farms	2018	51-200	Milano, Lombardia	Idroponica	Insalate e basilico
Agricola moderna	2018	11-50	Milano, Lombardia	Idroponica	Insalate e basilico
Zero	2018	11-50	Pordenone, Friuli-Venezia Giulia	Aeroponica	Insalate ed erbe aromatiche
The Circle	2017	11-50	Roma, Lazio	Acquaponica	Insalate ed erbe aromatiche
Kilometro Verde	2021	11-50	Manerbio, Lombardia	Idroponica	Insalate
Local Green	2019	11-50	Cervesina, Lombardia	Aeroponica	Insalate
BioExtraSolum	2018	11-50	Moncalieri (TO), Piemonte	Idroponica	Basilico

Planet Farms, una start-up milanese fondata nel 2018 da Luca Travaglini e Daniele Benatoff, ha abbracciato sin dall'inizio l'ambizioso obiettivo di produrre ortaggi naturali e salutari attraverso la tecnologia del vertical farming, riducendo al minimo l'impatto ambientale. La storia di Planet Farms ha radici nel 2014, quando i due fondatori hanno iniziato a sviluppare l'idea. Successivamente nel 2018, hanno aperto l'*hub* di Cinisello Balsamo, dove ad oggi conducono test sui semi.

Nel 2019, hanno iniziato i lavori per l'impianto di Cavenago, il quale è diventato operativo a maggio 2021. [113] [114]

Attualmente l'azienda utilizza avanzate tecnologie di intelligenza artificiale e *software* per monitorare costantemente lo sviluppo delle colture nella loro vertical farm, la quale si estende per 10.000  $m^2$  a Cavenago di Brianza. Questo processo garantisce il benessere delle piante in ogni fase, dalla semina alla raccolta; inoltre, grazie a quest'approccio innovativo, Planet Farms è diventata la principale vertical farm d'Europa. [115] [116]

L'agricoltura idroponica è alla base della pratica adottata da Planet Farms, e tutti i parametri di coltivazione, come temperatura, sostanze nutritive e intensità luminosa, sono ottimizzati per

<sup>11</sup> Il range relativo al numero di dipendenti delle aziende in tabella è stato reperito tramite la pagina LinkedIn aziendale.



massimizzare la resa delle colture. Tuttavia, ciò che rende unica l'azienda è l'automazione completa del processo di coltivazione, senza l'intervento umano fino all'apertura del prodotto da parte del consumatore. [117]

La collaborazione con Siemens ha svolto un ruolo fondamentale nella trasformazione digitale e nell'automazione delle operazioni agricole. Infatti, in merito Planet Farms ammette di utilizzare Gaia VF, un avanzato sistema di intelligenza artificiale, per monitorare e tracciare costantemente lo sviluppo delle colture, garantendone la massima qualità. [118] [119]

In merito ai valori alla base della cultura aziendale di Planet Farms, essi includono i seguenti [119]:

- 1) "*Go Vertical*";
- 2) "*Fresh Thinking*";
- 3) "Innov-Azione";
- 4) "Responsabil-Mente";
- 5) "Crescere con Gusto".

I principi sopra citati si riflettono in un approccio orientato all'uso responsabile delle risorse e con l'intenzione di distinguersi come la vertical farm più innovativa a livello globale.

In particolare, il valore "*Go Vertical*" rappresenta una mentalità che va oltre il semplice pensare in grande: è una prospettiva che stravolge il modo di concepire le cose, verticale in tutti gli aspetti dell'azienda, inclusi persone, tecnologia, gusto e architettura. [119]

Riguardo al secondo valore, "*Fresh Thinking*", l'azienda adotta un approccio radicale, generando nuove idee e ricominciando da zero in campi inesplorati, creando così un'ondata di freschezza nel settore alimentare. [119]

"Innov-Azione" è il terzo valore, dove l'innovazione non è solo un concetto, ma un'azione concreta. Planet Farms considera l'innovazione come un mezzo per raggiungere obiettivi più ampi, lavorando con tecnologie all'avanguardia e un approccio creativo per servire la natura e preservare l'autenticità del sapore nel rispetto del pianeta. [119]

Il quarto valore, "Responsabil-Mente", riflette l'impegno dell'azienda nel ridurre al minimo l'impatto ambientale, utilizzando in modo responsabile spazio, acqua e confezioni ecologiche. [119]

Infine, il valore "Crescere con Gusto" rappresenta l'ambizione di Planet Farms di essere la vertical farm più innovativa del mondo. Questo obiettivo ambizioso va oltre la semplice crescita in dimensioni; si tratta di sviluppare idee audaci e promuovere l'ingegnosità, incoraggiando atteggiamenti positivi nella ricerca della leadership nel settore. [119]

I prodotti di Planet Farms sono oggi presenti in numerosi supermercati in Italia, circa 300 punti vendita, e inoltre l'azienda sta esplorando alcune opportunità di espansione all'estero, compresi Portogallo, Olanda, Inghilterra e Svizzera.

L'offerta della presente vertical farm comprende cinque tipologie di insalate pronte ad essere consumate, ricordando che questi prodotti non richiedono lavaggio in quanto sono completamente privi di contaminazioni e crescono in modo sostenibile. [120]

Infine, le insalate di Planet Farms sono disponibili presso catene di grande distribuzione come Esselunga, Viaggiator Goloso, Iper, Unes e Il Gigante. [114]

La seconda azienda che si intende approfondire è Agricola Moderna.

Nel 2018, Agricola Moderna viene fondata da Pierluigi Giuliani e Benjamin Franchetti, due amici con l'obiettivo di coniugare tradizione e tecnologia, dando vita ad un'azienda agricola all'avanguardia, collocata in Lombardia.

Nel 2019, l'azienda ha inaugurato un impianto pilota a Melzo, alle porte di Milano, con una superficie di  $1.500m^2$ , comprendente uffici, spazi dedicati a R&D, laboratori e aree per il vertical farming. Questa iniziativa coinvolge un team composto da diciotto persone tra ingegneri, agronomi e manager, oltre a sei operatori che lavorano quotidianamente all'interno della loro struttura. Agricola Moderna ha l'obiettivo di coltivare ortaggi in maniera sostenibile attraverso il vertical farming.

Questo approccio consente la coltivazione senza utilizzare pesticidi e fitofarmaci, prestando attenzione all'ambiente, e dunque implica un risparmio del 95% di acqua e del 98% di suolo.

Da maggio 2020, Agricola Moderna rifornisce quotidianamente diversi punti vendita della Grande Distribuzione Organizzata e una piattaforma di *e-commerce* con insalate *baby leaf* e aromi come il basilico. [118] [121]

I prodotti vengono raccolti quotidianamente, confezionati entro un'ora dal momento del raccolto e consegnati nel corso della stessa giornata; questo aspetto garantisce al consumatore non solo una freschezza superiore ma anche un prodotto sano e rispettoso dell'ambiente.

I due fondatori di Agricola Moderna, di cui uno con esperienza nel settore alimentare e l'altro con *background* in ingegneria energetica, hanno iniziato la loro attività con una produzione principalmente incentrata sulle insalate. I prodotti elencati sul sito web dell'azienda includono lattuga croccante, misticanza piccante, misticanza orientale e basilico.

Inoltre, Agricola Moderna è una vertical farm idroponica ed è caratterizzata dall'etichetta "*baby leaf zero pesticidi*" e "*nickel free*". Questi prodotti sono disponibili per l'acquisto tramite Cortilia e in alcuni punti vendita Carrefour a Milano, in confezioni da 80 grammi. I fondatori hanno pianificato di ampliare la loro produzione in futuro, includendo altri tipi di ortaggi e fragole. [122] [123]

Un riconoscimento significativo per Agricola Moderna è stato il premio Eletto Prodotto dell'Anno 2022 nella categoria vertical farming, assegnato a Milano. [124]

Infine, la startup ha espanso la sua linea innovativa rinnovando il *packaging*, ora disponibile anche in versione ecologica con una busta in carta. La busta in questione sfoggia colori vibranti e un design che prende ispirazione dalle emoji. È stata inoltre prodotta con un materiale all'avanguardia, il polimero PP5, il quale è completamente riciclabile e costituito per il 70% da olio di frittura esausto. Tale scelta dimostra l'impegno dell'azienda nel preservare le risorse del nostro pianeta, seguendo un approccio di economia circolare, in cui materiali come l'olio esausto possono essere riutilizzati, riducendo così gli sprechi e contribuendo a un ciclo produttivo sostenibile. [125] [126]

Procedendo nell'analisi, menzioniamo l'azienda Zero di Pordenone, che durante gli ultimi mesi del 2022 ha inaugurato il primo impianto industriale in vertical farm con tecnologia aeroponica proprietaria a Capriolo, nella provincia di Brescia.

Questa struttura è in grado di generare una produzione annua di 1300 tonnellate di insalate e alcune erbe aromatiche. Uno degli aspetti innovativi di Zero riguarda l'approccio energetico adottato: la struttura si trova all'interno di un'antica filanda a Capriolo, attrezzata con impianti idroelettrici che attualmente sono oggetto di riqualificazione. Inoltre, è in atto una collaborazione con la società Iseo Idro, specializzata in acquisizione e gestione di impianti produttivi di energia proveniente da fonti rinnovabili.

Questa iniziativa consente notevoli risparmi in termini di consumo energetico e promuove la sostenibilità ambientale.

Nel campo della ricerca e sviluppo, Zero ha recentemente acquisito uno spazio significativo a Roncade, nei pressi di Venezia.

Questo spazio ospiterà numerosi laboratori indipendenti, che saranno utilizzati per potenziare la ricerca e identificare nuove nicchie di mercato, anche al di fuori del settore alimentare, come ad esempio i prodotti farmaceutici e biomateriali. [118] [127]

Inoltre, Zero ha annunciato una partnership con Tamimi Markets Company e la multinazionale giapponese Mitsui con l'obiettivo di creare una nuova *joint venture* finalizzata allo sviluppo di vertical farms intelligenti in Arabia Saudita. Questa iniziativa servirà come prova per le tecnologie di Zero prima di realizzare impianti su scala molto più ampia. Per quanto riguarda la distribuzione, Zero ha implementato una strategia collaborativa: gestirà direttamente una piccola percentuale dei prodotti tramite la propria linea, mentre il resto dei prodotti sarà fornito attraverso una *partnership* con Tramite, un'azienda specializzata nella mediazione nel settore della GDO. [118] [127]

The Circle è un'azienda italiana nata nel 2017 da un team di quattro giovani imprenditori, la quale opera con un'imponente struttura di 5.000  $m^2$  di serre dedicate a colture sostenibili. Si tratta di una vertical farm acquaponica specializzata nella produzione di insalate ed erbe aromatiche, ponendo un'enfasi assoluta sul rispetto della salute umana, dell'ambiente e del consumatore. [128]

Il prodotto fresco viene distribuito a una rete di oltre cento ristoranti di alta gamma e chef stellati, i quali si affidano a materie prime ricercate, fresche e di stagione.

Nel frattempo, The Circle sta espandendo la sua presenza nel settore della GDO con prodotti trasformati. L'azienda è attualmente in procinto di concludere un nuovo *round* di investimenti, che consentirà un aumento considerevole della capacità produttiva e l'espansione al di fuori della città di Roma. [128]

Il percorso di nascita di questa azienda è ispirato da un ambizioso obiettivo: affrontare il cambiamento climatico nel settore agricolo introducendo in Italia un nuovo modello di business. Tale modello è stato progettato per affrontare le sfide legate all'idroponica e all'acquacoltura, offrendo una soluzione integrata, ovvero l'acquaponica.

The Circle ha iniziato la sua avventura nella capitale italiana, dove ha sviluppato un impianto per la produzione di ortaggi a foglia, coltivati senza l'uso di prodotti chimici, contribuendo

significativamente alla riduzione del consumo di suolo, acqua ed emissioni di  $CO_2$ . Tutto ciò è in linea con un modello di economia circolare, dimostrando un forte impegno per affrontare le sfide ambientali. [128] [129]

The Circle utilizza un innovativo impianto acquaponico a ricircolo, dove l'acqua estratta da una vasca di allevamento dei pesci, viene filtrata e depurata. Quest'acqua irriga le radici delle piante, che crescono all'interno di torri verticali brevettate dall'azienda; in seguito, l'acqua ritorna nella vasca di allevamento. Questa tecnologia offre il vantaggio di recuperare l'acqua non assorbita dalle piante, riducendo del 90% il consumo d'acqua per *kg* di prodotto. [128]

The Circle produce una vasta gamma di prodotti, tra cui insalate, *baby leaf* ed erbe aromatiche. I ristoranti ricevono il prodotto fresco, che include varietà come prezzemolo, senape, mizuna, acetosella, spinacio giapponese, origano, finocchietto, tatsoi, maggiorana e basilico. Inoltre, attualmente The Circle è presente nei supermercati Conad a Roma con pesti pronti e sta per lanciare una nuova linea di oli aromatizzati e sali aromatizzanti, che saranno disponibili anche sul loro *e-commerce*. [128] [130]

Infatti, i prodotti sono venduti tramite il sito web di The Circle, attivo dall'inizio del 2021, consentendo al consumatore di acquistare il pesto direttamente. In aggiunta, l'azienda collabora con botteghe partner e alcuni rivenditori per distribuire i prodotti. [129]

Kilometro Verde è la più recente vertical farm italiana, situata a Verolanuova, in provincia di Brescia. Si trova all'interno della ex sede di Agiesse, azienda storica di abbigliamento sportivo. Kilometro Verde utilizza il metodo di coltivazione idroponica su più livelli, grazie al quale produce insalate a impatto zero, che sono state commercializzate con il nome "Petali" nei supermercati in occasione delle festività natalizie del 2023. L'azienda ha un accordo con una catena di supermercati per la distribuzione dei prodotti.

Più precisamente, l'insalata coltivata nella vertical farm di Kilometro Verde è una varietà a foglia spessa e croccante, ottenuta da semi non trattati. Questa insalata non richiede il lavaggio e viene confezionata immediatamente dopo il taglio, garantendo una maggiore *shelf life*. Le proprietà di questa foglia sono dovute ad un processo controllato in tutte le sue variabili. [131] [132]

Kilometro Verde enfatizza i seguenti valori: sostenibilità, salvaguardia dell'ambiente ed etica.

Inoltre, la qualità dei prodotti è garantita per tutto l'anno, poiché essi non sono influenzati dalle variazioni climatiche. Infine, la freschezza è assicurata dal breve intervallo di tempo tra la raccolta e il confezionamento dei prodotti. [133]

Complessivamente l'azienda afferma che ha investito 32 milioni di euro in questa iniziativa di agricoltura sostenibile, anche grazie al supporto finanziario di Ismea. [131]

Procedendo con l'analisi si approfondisce LocalGreen, che è stata fondata a Milano da Paolo Forattini e Lorenzo Beccari, due studenti animati da una passione per la sostenibilità e la tecnologia. Attraverso un lungo percorso di studio e ricerca, è emersa la prima LocalFarm nel 2019. Questa iniziativa ha ottenuto il pieno sostegno di Marco Maggioni, che dopo un consolidato percorso presso la vertical farm In-Farm, ha scelto di entrare nel consiglio come responsabile R&D. [134]

L'azienda si dedica alla produzione locale di prodotti privi di pesticidi e metalli pesanti, offrendo al consumatore prodotti più gustosi, freschi e salutari con una lunga durata di conservazione, ricorrendo alla tecnica dell'aeroponica.

Il prodotto di LocalGreen è coltivato in un'unica sede di produzione, 365 giorni all'anno, in un ambiente protetto da patogeni, intemperie e siccità. Il team afferma di ridurre del 95% il consumo d'acqua rispetto all'agricoltura tradizionale in campo aperto, e di avere una filiera integrata che consente di supervisionare ogni fase del processo produttivo, dalla semina al prodotto finito. [134]

Il processo di coltivazione di Local Green si articola in diverse fasi. Dal primo giorno dedicato alla semina e alla germinazione, fino al ventiduesimo giorno, momento della raccolta. Si precisa che fino all'undicesimo giorno le piantine hanno una dimensione molto ridotta e tali giorni sono dedicati al monitoraggio dei parametri di crescita delle colture. Durante il periodo di crescita (dai giorni 12 al 21), l'azienda utilizza il sistema di coltivazione in camera bianca per massimizzare gli spettri luminosi fondamentali per la fotosintesi. Le piante sono sistemate su pareti verticali, distribuite in ampi spazi e sottoposte a un flusso d'aria ottimale. Alla raccolta, le piante lasciano le pareti verticali per essere confezionate e spedite. Tra la raccolta e il confezionamento passano pochi minuti, per preservare la freschezza e la qualità del prodotto. [134]

Inoltre, come suggerisce il nome dell'azienda, tra i punti fondamentali emerge l'impegno a non distribuire mai i prodotti a più di 150 *km* di distanza. Citando i prodotti, Local Green offre un'ampia selezione di insalate, presentate in quattro varianti diverse. Infine, l'azienda afferma che la presenza umana rimane essenziale: l'occhio vigile che monitora lo stato di salute delle piante è insostituibile, anche se supportato da un sistema predittivo di crescita e da una sofisticata architettura di monitoraggio. [134] [135]

BioExtraSolum è un'azienda piemontese attiva nel passaggio verso un uso più responsabile delle risorse, che promuove una riduzione degli sprechi e un maggiore rispetto per l'ambiente.

Infatti, l'energia impiegata nella struttura proviene interamente da fonti rinnovabili, grazie all'installazione di un impianto fotovoltaico e all'acquisto di energia certificata al 100% proveniente da fonti rinnovabili. [136]

L'obiettivo principale di BioExtraSolum è migliorare sia la produzione che la qualità del prodotto finale, ottimizzando il processo produttivo e riducendo gli sprechi e i costi associati all'agricoltura tradizionale. Per perseguire questo obiettivo, oltre alla già presente serra, nel 2018 è stata concepita e realizzata una vertical farm. Questa struttura è composta da una cella climatica lunga 18 *m*, che occupa 8 *m* in larghezza, e con un'altezza di 3,6 metri. All'interno della vertical farm, si mantiene una temperatura costante e un'umidità relativa bassa per prevenire lo sviluppo di un particolare fungo che si configura come una grave minaccia per le coltivazioni di basilico. [136]

Come appena menzionato, la gamma di prodotti di BioExtraSolum include sia mazzetti sia vasi di basilico. [136]

In base a quanto esposto in questo capitolo, emerge chiaramente che il vertical farming rappresenta una pratica innovativa, in quanto le vertical farms menzionate precedentemente sono state fondate in date piuttosto recenti.

È importante notare che queste date rientrano nell'intervallo temporale definito nei database per la ricerca della maggior parte delle informazioni in letteratura, ovvero tra il 2018 e il 2023.

## 6.2 VERTICAL FARMING NEL MONDO

Il presente sotto capitolo mira ad esplorare le principali aziende dedite alla produzione orticola in vertical farming a livello mondiale.

Attraverso una tabella informativa (tabella 7), verranno presentati campi essenziali come la denominazione dell'azienda, l'anno di fondazione, la sede dell'headquarter, i prodotti coltivati e il relativo sito web aziendale.

Questa panoramica fornirà una visione complessiva delle più note realtà aziendali che attualmente stanno contribuendo significativamente allo sviluppo e all'innovazione nel settore agricolo.

Tabella 7: Aziende di vertical farming nel mondo

NOME AZIENDA	ANNO DI FONDAZIONE	STATO SEDE AZIENDALE	PRODOTTI COLTIVATI	SITO WEB
Infarm	2013	Germany	erbe aromatiche, verdure a foglia verde, insalate, microgreens, fragole, pomodori, funghi	<a href="https://www.infarm.com/">https://www.infarm.com/</a>
Jungle France	2016	France	erbe aromatiche, insalate, microgreens, piante per la cura estetica ed il benessere	<a href="https://jungle.bio/">https://jungle.bio/</a>
Ljusgarda	2017	Sweden	insalate	<a href="https://www.supernormalgreens.se/">https://www.supernormalgreens.se/</a>
Jones Food Company	2016	United Kingdom	erbe aromatiche, insalate, fragole	<a href="https://www.jonesfoodcompany.co.uk/">https://www.jonesfoodcompany.co.uk/</a>
Leafood	2021	Lithuania	erbe aromatiche, insalate	<a href="https://leafood.com/">https://leafood.com/</a>
Babylone Growers	2018	France	erbe aromatiche, insalate, spinaci, cavoli	<a href="https://bg-agri.com/">https://bg-agri.com/</a>
Grönska	2014	Sweden	erbe aromatiche, leafy greens, fiori commestibili. attualmente in fase di test: pomodori,	<a href="https://www.gronska.org/">https://www.gronska.org/</a>

			physalis, tat soi, bok choi	
YASAI AG	2020	Switzerland	erbe aromatiche	<a href="https://www.yasai.earth/">https://www.yasai.earth/</a>
Groots	2018	Spain	erbe in coni (ancora con le radici) o in vassoi (pronte da consumare), insalate, spezie	<a href="https://groots.eco/">https://groots.eco/</a>
Local Greens	2020	Turkey	insalate	<a href="https://www.localgreens.co/">https://www.localgreens.co/</a>
CityCrop Automated Indoor Farming	2015	United Kingdom	microgreens, leafy greens, erbe esotiche (es. chamomile wild partenio), lattuga	<a href="https://citycrop.io/">https://citycrop.io/</a>
Growy	2019	The Netherland	leafy greens, erbe aromatiche, microgreens	<a href="http://www.growy.nl">http://www.growy.nl</a>
Harvest	2018	United Kingdom	erbe aromatiche, insalate	<a href="https://www.harvest.london/">https://www.harvest.london/</a>
Nextfood	2017	Denmark	erbe aromatiche, leafy greens, bacche, fiori commestibili	<a href="https://www.nextfood.co/">https://www.nextfood.co/</a>
Botalys	2011	Belgium	piante medicinali	<a href="https://botalys.com/">https://botalys.com/</a>
Emerald Greens	2021	Ireland	erbe aromatiche, baby leaf (stadio intermedio tra microgreens e foglia piena), mixed greens, asian greens	<a href="https://www.emeraldgreens.ie/">https://www.emeraldgreens.ie/</a>
Herbeus Greens	2017	Austria	microgreens, insalate, baby leaf	<a href="https://herbeusgreens.com">https://herbeusgreens.com</a>
Farm.One	2015	USA	erbe rare, fiori commestibili e microgreens	<a href="https://farm.one/">https://farm.one/</a>
Uns Vertical Farms	2019	Emirati Arabi Uniti	insalata, microgreens, fiori commestibili	<a href="https://unsfarms.com/">https://unsfarms.com/</a>
Boise Vertical Farm	2018	Idaho (USA)	erbe aromatiche, pomodori, funghi insalate, bacche (lamponi, mirtilli,	<a href="http://www.boiseverticalfarm.com">http://www.boiseverticalfarm.com</a>

			fragole ), green beans	
New Roots Vertical Farm	2021	Canada	erbe internazionali, leafy greens, varietà di peperoncino piccante	<a href="https://plantsrootsandshoots.ca/">https://plantsrootsandshoots.ca/</a>
GrowUp Farms	2013	United Kingdom	lattuga	<a href="https://growupfarms.co.uk/">https://growupfarms.co.uk/</a>
SweGreen	2021	Sweden	lattuga, leafy greens, erbe aromatiche e spezie	<a href="https://www.swegreen.com/">https://www.swegreen.com/</a>
Farm8	2004	Republic of Korea	erbe aromatiche, baby leaf, mini baby leaf, paprika,	<a href="http://en.farm8.co.kr/company/overview">http://en.farm8.co.kr/company/overview</a>
PlantLab	2005	The Netherlands	leafy greens, erbe aromatiche	<a href="https://plantlab.com/">https://plantlab.com/</a>
Skygreens	2012	Republic of Singapore	verdure a foglia tropicale (nai bai, cai xin, xiao bai cai, chinese cabbage)	<a href="https://www.skygreens.com/contact-us/">https://www.skygreens.com/contact-us/</a>

### 6.3 AZIENDE PRODUTTRICI DI SISTEMI IDROPONICI, AEROPONICI, ACQUAPONICI

Il presente capitolo si concentra sull'introduzione di imprese coinvolte nella progettazione e realizzazione di sistemi idroponici, aeroponici e acquaponici. Queste aziende rivestono un ruolo cruciale come fornitori di sistemi per clienti operanti nel settore del vertical farming, come discusso nei capitoli 6.1 e 6.2. L'inclusione di questo capitolo si rende necessaria in quanto, in precedenza, sono state esaminate le imprese di vertical farming dedite alla produzione orticola. Tuttavia, non tutte queste aziende si occupano direttamente della progettazione e dell'implementazione dei propri impianti e sistemi. Al contrario, molte di esse si affidano a imprese specializzate che offrono soluzioni chiavi in mano.

Nel dettaglio, nel capitolo 6.1 sono state menzionate le aziende Planet Farms [119] e Zero [137] come produttori di ortaggi mediante il vertical farming. Va sottolineato che entrambe queste imprese svolgono un ruolo fondamentale non solo nella produzione di ortaggi, ma anche nella progettazione e realizzazione di sistemi destinati ad altre aziende. Inoltre, esse testano i propri sistemi nelle loro attività di produzione, agendo così da validatori del proprio modello di business.

Procedendo con l'esplorazione delle imprese dedicate alla fornitura di sistemi e non alla produzione orticola, si presenta l'azienda Tomato+ [138].

Fondata in Lombardia nel 2016, Tomato+ è un'azienda italiana nata con l'obiettivo di offrire soluzioni che consentano alle persone di consumare prodotti freschi, sani e coltivati con un basso impatto ambientale. [138]



Composta da esperti in botanica, agronomia, software e illuminazione a LED, l'azienda ha sviluppato un'innovativa serra indoor adatta alle esigenze di diverse tipologie di clienti. La serra Tomato+ è caratterizzata da un'installazione semplice, richiedendo solo un alimentatore di base e non necessitando di un collegamento diretto all'approvvigionamento idrico. Inoltre, presenta un consumo limitato di acqua ed elettricità. La serra assicura la corretta combinazione di elementi essenziali per la crescita delle piante, ricreando un microclima ideale per ogni coltura con le giuste proporzioni di acqua, temperatura, umidità e nutrienti. [138]

Tomato+ propone tre diverse soluzioni:

- Horto2;
- Horto4;
- Horto Professional.

Analizzando nel dettaglio le singole proposte, Horto2 è composto da due ripiani indipendenti, consentendo la programmazione di ciascuno con le condizioni ottimali per coltivare diverse specie contemporaneamente. Questo sistema garantisce la produzione rapida di prodotti freschi e salutari, senza l'utilizzo di insetticidi, erbicidi o pesticidi, e con un notevole risparmio idrico fino al 90% rispetto all'agricoltura tradizionale. Horto2 è completamente automatico, permettendo la coltivazione di verdure, germogli ed erbe senza essere vincolato alla stagionalità delle colture. [138] L'utente, grazie all'automazione del dispositivo, deve solamente inserire i semi nei baccelli, aggiungere la quantità d'acqua consigliata e selezionare la coltura desiderata tramite il display. Horto2 è quindi pronto per il ciclo di crescita delle colture.

Horto4, il secondo prodotto offerto da Tomato+, condivide tutte le caratteristiche di Horto2, ma presenta quattro ripiani indipendenti anziché due. [138]

Infine, HortoProfessional rappresenta un sistema di coltivazione industriale che consente la coltivazione simultanea di 24.000 baccelli, secondo quanto dichiarato dall'azienda. Anche questo sistema è facile da utilizzare, eliminando la necessità di personale esperto.

Tomato+ commercializza, tramite il proprio e-commerce, le cialde necessarie per la coltura, rendendo così il cliente autonomo dalla semina alla raccolta. Queste cialde, oggetto di brevetto internazionale, sono realizzate con materiali biodegradabili e compostabili e differiscono in base al tipo di coltura, garantendo un utilizzo agevole. L'azienda assicura che il software utilizzato sia estremamente intuitivo, fornendo raccomandazioni sul numero di cialde da utilizzare in base alla coltura selezionata, avvisando in caso di necessità di ulteriore acqua e monitorando l'avanzamento della crescita, con notifiche per la raccolta delle verdure quando è il momento opportuno. [138]

Proseguendo nell'analisi, è rilevante menzionare Vertical Farm Italia [6] fondata nel 2015 da Matteo Benvenuti. L'impulso a creare l'azienda è scaturito dalla profonda comprensione delle sfide legate alla sostenibilità nelle città, in particolare in relazione alla produzione alimentare.

Vertical Farm Italia ha inizialmente sviluppato una vertical farm acquaponica autosufficiente e ha successivamente ampliato la propria esperienza, realizzando impianti sempre più avanzati.

Tale crescita ha portato a collaborazioni significative con start-up, strutture alberghiere e aziende agricole. [6]

Il punto di forza di Vertical Farm Italia risiede nella capacità di progettare soluzioni personalizzate per ogni contesto, rivolgendosi a una varietà di clienti, tra cui privati, aziende e strutture urbane.

Le strutture destinate ai cittadini privati sono di dimensioni limitate e orientate a piccole produzioni per il consumo personale. [6]

Per quanto riguarda le aziende, Vertical Farm Italia si rivolge non solo a produttori di ortaggi tramite vertical farming, ma anche ad imprese coinvolte in settori diversi, come il turismo. Nel contesto urbano, l'azienda mira a servire vertical farms di grandi dimensioni che abbiano l'obiettivo di riqualificare specifiche aree, promuovendo l'autosufficienza, la sostenibilità e la produzione locale di cibo. [6]

Proseguendo nella trattazione, si menziona anche l'azienda Planeta Srl [53], specializzata nella realizzazione di soluzioni per il vertical farming, ma non solo. L'ampia gamma di competenze dell'azienda comprende la progettazione di diversi tipi di giardini, inclusi giardini verticali interni ed esterni, orti verticali e, di particolare rilievo per il presente capitolo, il vertical farming. [53]

Planeta Srl si presenta come un partner competente ed esperto nell'ideazione e nella realizzazione di vertical farms di varie dimensioni, adattandosi alle specifiche richieste dei clienti. La loro esperienza non si limita solo alla produzione di ortaggi, ma si estende a soluzioni più ampie per l'integrazione di spazi verdi verticali nelle aree urbane, contribuendo così a una visione più sostenibile e innovativa della coltivazione in ambienti verticali. [53]

Una realtà piemontese risulta Agricooltur [139], azienda con sede a Carignano, nella provincia di Torino, specializzata nella progettazione e sviluppo di sistemi brevettati per la coltivazione aeroponica. Urbancooltur opera come società agricola affiliata ad Agricooltur, gestendo i siti produttivi aeroponici ideati da Agricooltur, coltivando i prodotti e commercializzandoli attraverso diverse modalità di vendita rivolte a ristoranti, catene di distribuzione, aziende e privati.

Grazie ai siti produttivi situati a Torino, Milano CityLife e Genova Porto Antico, Agricooltur e Urbancooltur sono in grado di fornire prodotti estremamente freschi direttamente ai consumatori finali. L'utilizzo di moduli espositivi e sistemi di conservazione sviluppati da Agricooltur garantisce che i prodotti mantengano la loro freschezza fino al momento del consumo. [139]

La gamma di tecnologie fornite include:

- microhortus: una micro-serra compatta e modulare;
- aerofresh: un sistema per nutrire le piante attraverso la nebulizzazione programmata;
- minihortus: moduli di coltivazione che prevedono l'utilizzo di un sistema statico con fertirrigazione manuale;
- hortus: un modulo trasportabile per essere coinvolto nella coltivazione urbana.

L'azienda offre soluzioni per retail e GDO, settore HO.RE.CA, aziende e didattica.

La loro linea di prodotti comprende:

- basilico;
- salanova: una lattuga unica, con una struttura di foglie più abbondante rispetto alle tradizionali varietà, formando un cespo compatto che ricorda la disposizione di un fiore. Caratterizzata da un basso contenuto calorico, questa varietà è ricca di fibre, potassio e vitamine essenziali come A, B2 e C. Inoltre, presenta un elevato contenuto di acqua, contribuendo a mantenerne la freschezza e a offrire un profilo nutrizionale equilibrato;
- microortaggi: tra cui micro-riso, micro-senape, micro-lenticchia;
- erbe aromatiche: come menta marocchina e bergamotto;
- speciali: amaranto, tatsoi, mizuna red e pimpinella. [139]

Rimanendo nel contesto del territorio nazionale, Ono Exponential Farming è un'azienda con sede a Verona e specializzata nella fornitura di sistemi e impianti chiavi in mano ad alta tecnologia per il vertical farming. Il loro obiettivo è portare l'agricoltura verticale a risultati esponenziali, introducendo un sistema proprietario denominato ONO/EF. [140]

L'innovativa struttura plug&play di ONO/EF è progettata per la coltivazione intensiva in qualsiasi luogo e condizione climatica ottimale. Questo sistema modulare e scalabile consente ai coltivatori di iniziare con un singolo modulo base e crescere, in quanto ogni modulo ONO/EF è indipendente, composto da 5 rack separati gestiti individualmente, offrendo flessibilità e adattabilità alle esigenze dell'ubicazione. [140]

L'identificazione digitale univoca di ogni coltura, gestita da sensori ONO/EF, consente l'associazione con la ricetta di crescita ottimale. Tutte le informazioni, inclusi parametri di crescita e azioni svolte, sono elaborate e archiviate nel cloud mediante algoritmi blockchain, garantendo la tracciabilità completa dei prodotti.

Il sistema ONO/EF si distingue per la sua architettura progettuale, che supporta la coltivazione non solo di ortaggi tradizionali ma anche di nutrienti innovativi come alghe e insetti commestibili. L'azienda si avvicina all'automazione completa, comprese le attività di assistenza e manutenzione, l'unico intervento umano necessario è per definire gli output del sistema autosufficiente. Tuttavia, va notato che ONO Exponential Farming non si occupa della produzione e vendita di alimenti per il mercato consumer, ma si concentra esclusivamente su attività sperimentali e di validazione commerciale per i clienti. [140]

Un'altra azienda con una solida esperienza nell'agricoltura in ambiente controllato (CEA) è Netled [141]. Fondata circa 35 anni fa, inizialmente dedicata alla coltivazione di pomodori, nel 2000 Netled ha avviato la coltivazione biologica di pomodori in Finlandia.

Nel corso degli anni, l'azienda è cresciuta fino a diventare un partner specializzato nella progettazione e gestione di sistemi CEA chiavi in mano. [141]

Il loro sistema attuale, denominato Vera CEA, consente una produzione locale e sostenibile di cibo fresco, includendo erbe, verdure a foglia, bacche e fiori. Netled afferma che i loro sistemi Vera permettono fino a cento raccolti in più rispetto all'agricoltura tradizionale all'aperto. [141]

Degna di nota è, inoltre, Urban Crop Solutions [142], che offre soluzioni per produttori di vertical farming tramite la tecnica idroponica. Fondata nel 2014, l'azienda è nata dalla consapevolezza che il cambiamento climatico e l'aumento della popolazione rappresentano sfide significative per l'approvvigionamento alimentare. Dopo anni di ricerca e sviluppo per massimizzare la produzione riducendo le risorse impiegate, Urban Crop Solutions si è specializzata nella progettazione, produzione e installazione di farms automatizzate che utilizzano luci LED per la coltivazione di ortaggi in tutto il mondo, eliminando le limitazioni stagionali. [142]

Nel settore dei sistemi di vertical farming aeroponici, LettUs Grow [143] è un'azienda di Bristol fondata nel 2015 da due ex studenti universitari. Inizialmente focalizzata su kit aeroponici per uso domestico, l'azienda ha successivamente sviluppato sistemi di irrigazione aeroponici per serre e coltivazioni commerciali in vertical farming. Il team eterogeneo di ingegneri, sviluppatori software e coltivatori con diverse competenze, condivide l'obiettivo comune di contribuire a rendere l'agricoltura più sostenibile e di garantire a tutti l'accesso a cibo di qualità a prezzi accessibili. [143]

Infine, iFarm [144], che sviluppa tecnologie idroponiche dal 2017, ha sede ad Helsinki ma opera a livello internazionale, collaborando con clienti in diversi Paesi, tra cui Svizzera, Qatar, Norvegia e Germania, per la realizzazione delle loro vertical farms. [145] iFarm offre progetti di varie dimensioni, da 500 a 50.000 m<sup>2</sup>, per la coltivazione di verdure a foglia, ortaggi e fragole. [144]

Una panoramica riassuntiva circa i fornitori di sistemi di vertical farming analizzati in questo capitolo è presente in tabella 8.

**Tabella 8: Produttori di sistemi di vertical farming in Italia e nel mondo**

NOME AZIENDA	STATO	L'AZIENDA È ANCHE PRODUTTORE ORTICOLO?
<b>Planet Farms</b>	Italy (Lombardia)	Sì
<b>Zero</b>	Italy (Friuli-Venezia Giulia)	Sì
<b>Tomato+</b>	Italy (Lombardia)	No
<b>Vertical Farm Italia</b>	Italy (Toscana)	No
<b>Planeta Srl</b>	Italy (ma serve anche all'estero)	No
<b>Agricooltur</b>	Italy (Piemonte)	Sì
<b>OnoExponentialFarming</b>	Italy(Veneto)	No
<b>Netled</b>	Finland	No
<b>Urban Crop Solutions</b>	Belgium	No
<b>LettUs Grow</b>	United Kingdom	No
<b>iFarm</b>	Finland	No

## 6.4 INTERVISTE AD AZIENDE DI VERTICAL FARMING IN ITALIA

Nel corso di questo capitolo, si presentano le interviste condotte con diverse aziende italiane che utilizzano il vertical farming per la produzione orticola.

L'obiettivo primario di tali interviste è stato quello di esplorare le caratteristiche distintive di ciascuna azienda, analizzando i prodotti coltivati, le sfide e le prospettive che emergono dall'adozione del vertical farming.

L'approccio metodologico si è focalizzato sulla formulazione di domande mirate, analoghe per ogni intervista e strutturate in modo da consentire una valutazione comparativa tra le diverse realtà. Tale approccio ha permesso di identificare sia gli aspetti che accomunano queste realtà, sia gli elementi che le distinguono. In tal modo, si mira a delineare un quadro completo del panorama italiano del vertical farming, evidenziando le convergenze e le divergenze nelle pratiche e nelle visioni delle diverse aziende coinvolte.

Le interviste hanno permesso di capire in modo più approfondito la tecnica del vertical farming, comprendendo inoltre che molte persone ancora non conoscono questo approccio oppure lo vedono con scetticismo.

Le aziende intervistate sono le seguenti: Planet Farms (tabella 9), Agricola Moderna (tabella 10), Kilometro Verde (tabella 11), BioExtraSolum (tabella 12).

Di seguito sono presentate delle tabelle riassuntive delle principali informazioni raccolte e dei punti chiave emersi durante le interviste<sup>12</sup>.

Tabella 9: Intervista azienda Planet Farms

<i>ARGOMENTO</i>	<i>RISPOSTA DI PLANET FARMS</i>
<i>Anno di fondazione dell'azienda</i>	2018
<i>Tecnica utilizzata</i>	Idroponica
<i>Stabilimenti</i>	Cavenago, Cirimido (Como), Brusaporto, Cinisello Balsamo (R&D), uffici a Milano, in Portogallo (software e intelligenza artificiale), Olanda (luci e automazione dei carrelli)
<i>Società</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planet Farms Italia → società che attualmente vende insalate e pesto ottenuto tramite il basilico da loro coltivato;</li> <li>- Planet Farms Holding → che controlla al 100% Planet Farms Italia. Si occupa di sviluppare tecnologia, l'obiettivo di medio-lungo termine è vendere la loro tecnologia a chi ne ha bisogno/dove ne ha bisogno, costruendo uno stabilimento chiavi in mano. Nel mentre Planet Farms Italia si occupa della vendita di insalata per dimostrare che il business model è credibile, e quindi dimostra la profittabilità degli stabilimenti.</li> </ul>
<i>Sfide principali e disallineamenti tra pensieri e realtà</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costruzione dell'impianto di Cavenago ferma per 6 mesi durante il periodo Covid.</li> <li>- Tale periodo è stato utile per studiare meglio il design dello stabilimento e ha permesso l'inizio della collaborazione con il ristorante stellato Da Vittorio. Attualmente il ristorante possiede al suo interno uno stabilimento di 300 mq creato ad hoc dall'azienda intervistata.</li> </ul>

<sup>12</sup> I dati e gli elementi riportati nelle interviste sono relativi al mese di Dicembre 2023.

*Monitoraggio della produttività, sostenibilità e qualità del prodotto: dati emersi dal LCA*

*Monitoraggio della produttività, sostenibilità e qualità del prodotto: strumenti utilizzati*

*Personas identificate come potenziale consumatore*

*Commercializzazione del prodotto "Insalata"*

*Previsione domanda attuale e futura*

- Avviene il monitoraggio in quanto l'azienda nasce come player tecnologico, i dati sono alla base dell'interesse aziendale e di un'autovalutazione.
- Planet Farms ha fatto un LCA completo prima dell'estate 2023, che ha permesso di dichiarare, rispetto all'agricoltura tradizionale:
  - ✓ consumo inferiore di acqua del 96%
  - ✓ risparmio di suolo, 1 ettaro in VF produce l'equivalente di 300 ettari in tradizionale
  - ✓ no pesticidi, insetticidi, erbicidi
  - ✓ utilizzo di fertilizzanti inferiore del 95%
  - ✓ l'aspetto più complesso è l'utilizzo energetico, 25% dell'elettricità di Cavenago deriva da pannelli fotovoltaici
- L'azienda dichiara di non voler trovare una risposta al settore energetico, ma acquistare dal settore energetico le migliori tecnologie disponibili.
- Per non avere picchi energetici l'azienda alterna accensione e spegnimento delle stanze di crescita
- L'azienda possiede dei robot sentinella che si muovono durante la giornata nelle stanze, facendo rilevamenti in 3D del manto delle piante. Dal terzo giorno della semina l'azienda riesce a capire la resa di un determinato bench.
- Alcune aziende per il calcolo della resa massimizzano la crescita e ciò implica dati non realistici (es. fanno crescere la pianta fino a 38 gg anche se era necessario fermarsi a 16 gg); Planet Farms cerca di attenersi a delle regole di buona operatività, ossia calcolare la resa dei bench sulle scadenze per l'industrializzazione del prodotto: se il taglio avviene al gg 16, la resa è 16 giorni moltiplicati per tutti i cicli che posso fare nell'anno.
- Il cluster di cliente identificato è: sopra i 30 anni, con titolo di studio Laurea, sia uomo sia donna, quando comprano il prodotto Planet Farms la prima volta continuano a comprarlo successivamente
- L'azienda dichiara una vendita dettata dall'accattivante packaging con figure e materiale di carta anziché plastica, pur non conoscendo cosa sia il vertical farming.
- Si ipotizza di continuare ad utilizzare supermercati per vendere i prodotti e servire come attualmente anche ristoranti (oltre la partnership DaVittorio)
- Si esclude che l'azienda diventi un polo di commercializzazione perché il consumatore è spinto ad andare nel supermercato per fare tutta la spesa nello stesso luogo.
- L'obiettivo futuro dell'azienda non è capire troppo a fondo il consumatore dell'insalata a 5 e 10 anni di distanza, ma di comprendere i gruppi come Nestle, Danone, .. di quali prodotti hanno bisogno e costruire loro degli stabilimenti in modo tale che

*Strategie di marketing e comunicazione*

non debbano approvvigionarsi di caffè in Brasile, cacao in Madagascar ma possono farlo in casa.

- Planet Farms Italia collabora con scuole elementari/medie di Milano per un progetto con Esselunga, portando un carrello di vertical farming nelle scuole, in cui spiegano come funziona il VF e fanno crescere il prodotto in classe.
- Altri strumenti usati sono i classici (es. social) per il prodotto insalata.
- Per Planet Farms Holding si parla di prodotti industriali, quindi, non c'è necessità di comunicazione B2C ma piuttosto è B2B.

*Progetti futuri*

- Rendere operativo il centro costruito a Cirimido (Como), tra Luglio e Settembre 2024.
- In Inghilterra l'azienda sta cercando il terreno idoneo per costruire un nuovo stabilimento.
- Sviluppi per portare prodotti ad alto valore aggiunto all'interno degli stabilimenti aziendali in modo industrializzato (caffè, cotone, grano).

Tabella 10: Intervista azienda Agricola Moderna

<i>ARGOMENTO</i>	<i>RISPOSTA DI AGRICOLA MODERNA</i>
<i>Anno di fondazione dell'azienda</i>	2018
<i>Tecnica utilizzata</i>	Idroponica (sistema di flusso e riflusso)
<i>Stabilimenti</i>	Melzo, Lombardia
<i>Sfide principali e disallineamenti tra pensieri e realtà</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Agricola Moderna dichiara un processo lineare tra l'idea di partenza e le attività attualmente di competenza dell'azienda.</li></ul>
<i>Prodotti attuali ed eventuali prodotti futuri</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Attualmente il business plan aziendale si basa su verdura a foglia: insalate e basilico.</li></ul>
<i>Monitoraggio della produttività, sostenibilità e qualità</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- L'azienda valuta gli aspetti di qualità del prodotto non solo tramite parametri soggettivi come il gusto e l'aspetto visivo, ma anche attraverso parametri oggettivi. Questi ultimi vengono misurati con sensori e altre tecnologie, quali ad esempio telecamere.</li></ul>

*del prodotto: strumenti utilizzati ed elementi emersi*

- In merito alla qualità del prodotto derivato da vertical farming, emerge che essa è oggettivamente migliore rispetto a quanto ottenuto mediante tecniche tradizionali: l'azienda dichiara di non fare uso di pesticidi.
- Inoltre, il vertical farming presenta una catena alimentare corta e il prodotto non viene praticamente maneggiato: si pianta il seme, cresce la pianta, essa viene tagliata e consegnata al cliente; mentre in campo aperto si verifica una filiera alimentare nettamente più lunga, prima che avvenga la consegna ai clienti della GDO.
- Gli aspetti di produttività del sistema, quali la resa vengono calcolati pesando il prodotto e capendo quanti kg si riescono a coltivare in un  $m^2$  in un anno. L'azienda produce su ogni  $m^2$  cento volte in più rispetto a quanto accade in pieno campo.  
*Ulteriori informazioni circa le modalità di misurazione rimangono riservate all'interno dell'ambito aziendale.*
- L'azienda registra grazie al vertical farming un risparmio del 95%-98% di acqua rispetto all'agricoltura tradizionale.
- L'azienda minimizza gli sprechi alimentari, in quanto tutto il prodotto ottenuto è consumabile; invece, in pieno campo molto prodotto viene buttato per motivi legati alla catena alimentare.
- Agricola Moderna afferma che un ulteriore aspetto positivo del vertical farming risulta essere la possibilità di programmare il raccolto in base alla domanda.

*Personas identificate come potenziale consumatore*

- L'azienda ha sostenuto degli studi sul target del cliente.
- L'azienda afferma che cerca di conquistare la fetta di consumatori che abitualmente consumano il prodotto insalata della IV gamma, indipendentemente dalla fascia d'età del consumatore.

*Il prezzo dei prodotti da vertical farming*

- L'azienda sta cercando di promuovere la comprensione del vertical farming tra i consumatori, al fine di spingere il consumatore a fare un tentativo nel provare il prodotto.
- Secondo Agricola Moderna la differenza di prezzo tra prodotti in VF e pieno campo si sta sempre più assottigliando. L'azienda dichiara di essere vicina ai prezzi dei prodotti biologici, ribadendo comunque che esiste differenza tra biologico e derivato da vertical farming. L'azienda, quindi, non intende assolutamente paragonarsi ad un prodotto biologico.  
Il prodotto da VF ha prezzo maggiore anche perché possiede una qualità superiore rispetto al classico prodotto di IV gamma: *shelf life* maggiore, caratteristiche organolettiche che differiscono dai prodotti in pieno campo.

*Commercializzazione del prodotto attuale e piani futuri*

- Attualmente l'azienda commercializza i suoi prodotti in Lombardia affidandosi ai supermercati Carrefour e alla piattaforma Cortilia.
- Non è presente un e-commerce aziendale attraverso cui il consumatore può acquistare i prodotti.



*Strategie di marketing e comunicazione*

*Progetti e investimenti futuri*

- Si ipotizza di continuare ad utilizzare supermercati per vendere il prodotto.
- Per il futuro non si esclude la possibilità di servire anche l'ambiente della ristorazione (quali ad esempio catene di ristoranti).
- Al momento l'azienda non presenta un'area aziendale destinata direttamente alla vendita del prodotto.
  
- L'azienda dichiara di aver già intrapreso attività di promozione del prodotto all'interno dei supermercati.
- L'azienda afferma che ogni attività volta ad aumentare la platea di persone consapevoli di cosa sia il vertical farming sia positiva per l'azienda.
  
- Attualmente l'azienda possiede un impianto pilota a Melzo di circa 800 m<sup>2</sup> coltivati; sono iniziati i lavori per la costruzione di un nuovo impianto che sarà pronto tra circa un anno e mezzo / due anni in provincia di Cremona.  
Il nuovo impianto avrà una superficie di circa 15-20 volte maggiore rispetto all'impianto pilota.

Tabella 11: Intervista azienda KilometroVerde

<b>ARGOMENTO</b>	<b>RISPOSTA DI KILOMETRO VERDE</b>
<i>Anno di fondazione dell'azienda</i> <i>Tecnica utilizzata</i> <i>Stabilimenti</i>	2021  Idroponica Manerbio, Lombardia (stabilimento pilota); Verolanuova, Lombardia. Lo stabilimento pilota è servito finora solo per gli esperimenti, la semina per i prodotti destinati alla vendita da metà dicembre 2023 avviene già nel sito definitivo di Verolanuova.
<i>Prodotti attuali ed eventuali prodotti futuri</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Attualmente l'azienda tratta 4 referenze di insalata e lattuga, che verranno commercializzate in confezioni da 100 g e non 80g come il resto dei prodotti derivati da VF attualmente sul mercato.</li><li>- Si ipotizza in futuro di ampliare le referenze per arrivare ad un totale di 6. Circa altri prodotti l'azienda non ha previsioni ulteriori al momento.</li></ul>
<i>Sfide principali e disallineamenti tra pensieri e realtà</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- L'azienda afferma di aver sviluppato l'idea e sfruttato un sito pilota con dimensioni nettamente inferiori (circa 150 volte minore) rispetto allo stabilimento in cui si trasferirà l'azienda e in cui avverrà la produzione. Da novembre 2023 l'azienda dice che sta effettuando prove tecnologiche, e dichiarano sia prevedibili che determinati parametri vadano messi in discussione nel momento in cui ci si trasferisce da uno</li></ul>

*Monitoraggio della produttività, sostenibilità e qualità del prodotto*

stabilimento pilota ad uno produttivo anche di dimensioni maggiori.

- Si afferma che avviene un monitoraggio automatico attraverso sistemi informativi. L'ambiente che si ricrea è simile ad una camera bianca, in cui il prodotto non viene toccato.
- Si ricava una miscela di aria, dove le insalate sono incontaminate e vivono in un microclima di 27°C, definito come quasi assenza di umidità.
- Un aspetto importante risultano i partner commerciali forti a livello tecnologico in ambito energetico, in modo da avere un miglior rapporto prezzo-tecnologia. → al momento l'azienda acquista pannelli solari
- Elevato riciclo di acqua (circa 98%), in quanto anche quella delle foglie dei prodotti viene riciclata.
- Elevata attenzione nei confronti dell'ambiente: l'azienda ha rilevato una struttura dismessa.
  
- Un buon partner energetico può influire positivamente sul prezzo del prodotto. I maggiori costi sono dovuti all'energia, ai macchinari e alla depurazione.

*Partner energetico*

*Commercializzazione del prodotto "Insalata"*

- Da metà dicembre 2023 l'azienda approccia al mercato della GDO con il primo grande cliente, tramite private label (non con il marchio aziendale)
- Il test con il marchio "Petali" avverrà in 5 punti vendita nelle città di Firenze, Bologna e Alessandria.
- Attualmente l'azienda non presenta un e-commerce online aziendale, ma non si esclude tale idea in futuro.

*Previsione domanda attuale e futura*

- In merito alla domanda attuale, l'azienda dichiara che la IV gamma è in difficoltà, anche a seguito del fatto che essa dipende dal cambiamento climatico e dalle condizioni atmosferiche ad esempio. L'acqua è una risorsa che con il passare degli anni verrà sempre meno e di conseguenza l'azienda afferma per un futuro una maggiore presenza sullo scaffale del supermercato di prodotti derivati da VF, che può essere la soluzione a tale problematica.
- Si specifica però che attualmente la IV gamma è un comparto di riferimento, e il VF utilizza tale comparto poiché non esiste un comparto destinato solo al vertical farming attualmente.

*Personas identificate come potenziale consumatore*

- L'azienda non è ancora sul mercato, non ha ancora identificato un cluster, anche a causa dell'elevata disinformazione sul tema.

*Strategie di marketing e comunicazione*

- Attualmente è presente molta disinformazione del consumatore verso il vertical farming. Una strategia è la comunicazione attraverso il packaging del prodotto al supermercato, il quale serve anche come strumento di differenziazione.

Un altro punto di cui discutere è il prezzo: non bisogna far troppo pesare sul consumatore i costi che l'azienda sostiene, aumentando nettamente il prezzo rispetto ai prodotti derivati da tecniche convenzionali, anche perché altrimenti il rischio è la totale assenza di clientela.

- È necessario far assaggiare il prodotto al consumatore.
- È in programma per il futuro avvicinare gli studenti al tema del VF, attraverso campagne di promozione della tematica nelle scuole.

*Progetti futuri*

- In merito ai progetti futuri l'azienda dichiara di non voler rendere note informazioni aziendali. Si riserva di confermare che la tecnologia sarà sempre monitorata.

Tabella 12: Intervista azienda BioExtraSolum

<i>ARGOMENTO</i>	<i>RISPOSTA DI BIOEXTRASOLUM</i>
<i>Anno di fondazione dell'azienda</i>	2018
<i>Tecnica utilizzata</i>	Idroponica
<i>Stabilimento</i>	Moncalieri (TO), Piemonte
<i>Società</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- BioExtraSolum è costituita sia da una serra sia da una vertical farm.</li></ul>
<i>Prodotti coltivati</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- La vertical farm è impiegata nella produzione di basilico e non si ipotizza per un futuro di ampliare la varietà di prodotti.</li></ul>
<i>Sfide principali e disallineamenti tra pensieri e realtà</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Il periodo Covid-19 non ha toccato negativamente la realtà aziendale, essendo l'attività un settore primario, anzi è stato registrato un aumento delle vendite relative a tale periodo.</li><li>- BioExtraSolum afferma che per l'85% le idee e i pensieri in fase iniziale si sono rivelate congrue alla fase attuale, riscontrando soltanto le piccole sfide di un'azienda che nasce dall'unione di tre aziende differenti: azienda produttrice di lampade, azienda produttrice di celle frigorifere, azienda di serre/scaffalature.</li></ul>
<i>Monitoraggio della produttività, sostenibilità e qualità del prodotto</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Avviene il monitoraggio tramite la presenza di operatori qualificati, viste le superfici attuali dell'azienda.</li><li>- L'azienda afferma di avere una maggiore produttività rispetto all'agricoltura tradizionale, valutando la differenza tra un tempo di semina-raccolta in vertical farming e il numero di cicli di coltivazione che si possono effettuare, in relazione a quanto accade con tecnica convenzionale.</li></ul>

*Personas identificate  
come potenziale  
consumatore*

- L'azienda afferma di possedere un impianto fotovoltaico, dunque utilizza questo strumento per ridurre i consumi energetici e ottenere una maggiore sostenibilità ambientale ma anche economica. BioExtraSolum conferma quindi la presenza di un aumento di consumi elettrici rispetto all'agricoltura tradizionale, tale aumento per il momento però riesce a essere controbilanciato dall'aumento della produttività con il vertical farming.
- L'azienda afferma di ottenere una qualità migliore del prodotto tramite l'utilizzo del vertical farming, soprattutto considerando la possibilità di poter ricreare un'intensità di luce in modo artificiale, che in natura non è presente nei mesi invernali. Il prodotto da vertical farming risulta migliore sia dal punto di vista dell'aspetto che del gusto.
- L'azienda attualmente non individua una personas ma esprime alcune considerazioni secondo l'esperienza personale: il consumatore medio tendenzialmente non legge le etichette dei prodotti che compra, gli aspetti invece che guarda sono il prezzo ed eventualmente logo/simbolo, ma sempre tenendo come primo criterio di scelta il prezzo.
- Il consumatore è disinformato e restio a volte, temendo che il prodotto derivato tramite tecnica idroponica in vertical farming sia artificiale.

*Commercializzazione  
del prodotto basilico*

- L'azienda commercializza il proprio prodotto tramite mercati generali e supermercati.
- Si esclude che l'azienda diventi un polo di commercializzazione, anzi si intende in futuro appoggiarsi ad aziende di logistica che si occupano del ritiro e della vendita del prodotto.

*Strategie di marketing  
e comunicazione*

- L'azienda afferma di essere un'attività produttiva e al momento l'attività di divulgazione strategica non è nei plans aziendali. Resta un aspetto cui l'azienda è interessata, infatti tramite il sito mostra e spiega cos'è il vertical farming e qual è l'attività aziendale, anche attraverso video o rilasciando interviste.

*Progetti futuri*

- Ampliare in termini di  $m^2$  la struttura di vertical farming; dunque, per poter fare ciò lo step sarà ampliare il fotovoltaico e la creazione di un sistema di accumulo con l'idrogeno.
- L'azienda menziona l'idea di utilizzare come strategia futura di commercializzazione dei prodotti l'appoggio a delle aziende che si occupano di ritirare il prodotto e venderlo, senza che BioExtraSolum si interessi di proporre il suo prodotto al mercato/supermercato.

Dopo aver condotto le interviste alle aziende e riportato le informazioni raccolte nelle tabelle precedenti, si presentano di seguito i punti salienti attraverso un confronto tra gli elementi comuni e le differenze emerse tra le diverse realtà del settore del vertical farming in Italia:

- Tutte le aziende adottano la tecnica idroponica.
- Le sedi aziendali si trovano principalmente in Lombardia, ad eccezione di BioExtraSolum, situata in Piemonte.
- I prodotti di competenza delle aziende comprendono insalata e basilico. BioExtraSolum si specializza esclusivamente nella coltivazione di basilico, mentre Planet Farms e Agricola Moderna coltivano sia insalate che basilico. Kilometro Verde si concentra solo sulla produzione di insalate.
- In generale, tutte le aziende non riportano sfide particolari dall'avvio dell'attività.
- Il monitoraggio delle colture è una pratica comune in tutte le aziende intervistate. BioExtraSolum utilizza operatori qualificati, Kilometro Verde adotta il monitoraggio automatico tramite sistemi informativi, Agricola Moderna impiega sensori e telecamere, mentre Planet Farms utilizza robot sentinella.
- Tutte le aziende sottolineano l'importanza di un partner energetico affidabile, poiché i costi energetici rappresentano una parte significativa delle spese.
- Agricola Moderna e Planet Farms vendono i propri prodotti tramite supermercati con il proprio marchio, Kilometro Verde tramite Coop con la private label "fior fiore", mentre BioExtraSolum serve sia i mercati che il supermercato.
- Tutte le aziende riconoscono la limitata consapevolezza dei consumatori riguardo alla tecnica innovativa del vertical farming. Pertanto, l'implementazione di strategie di sensibilizzazione e marketing è vista come un elemento cruciale. Planet Farms ha già avviato una campagna nelle scuole in collaborazione con Esselunga per educare i bambini delle scuole elementari e medie sulla tecnologia del vertical farming.
- Planet Farms è l'unica azienda, al momento, che fornisce prodotti alla ristorazione, con la costruzione di un impianto *ad hoc* per il ristorante stellato DaVittorio, in Lombardia.
- Le aziende non considerano interessante attivare un e-commerce aziendale per vendere prodotti, preferendo invece appoggiarsi alla Grande Distribuzione Organizzata (GDO).
- Per quanto riguarda i progetti futuri, BioExtraSolum mira ad ampliare la struttura in termini di metri quadrati e ad affidare la distribuzione del prodotto ad aziende di logistica. Kilometro Verde non ha fornito informazioni sui progetti futuri, per riservatezza aziendale. Agricola Moderna ha attuato investimenti in un nuovo stabilimento di dimensioni maggiori rispetto all'attuale, ed è previsto che diventi operativo per il 2025; Planet Farms intende rendere operativo il nuovo centro entro il 2024, con prospettive di ampliamento anche nel Regno Unito.
- Riguardo alle personas, Planet Farms ha identificato un cluster di clienti sopra i 30 anni, laureati, uomini e donne, che mostrano fedeltà al prodotto dopo il primo acquisto. Al contrario, le altre aziende hanno fornito spunti, ma non hanno individuato un cluster specifico.

Kilometro Verde, al momento dell'intervista, non aveva ancora individuato un cluster, poiché il prodotto è stato introdotto sul mercato un paio di settimane dopo l'intervista.

## 6.5 QUESTIONARIO AD AZIENDE DI VERTICAL FARMING NEL MONDO

Al fine di comprendere meglio le caratteristiche delle aziende internazionali impegnate nella produzione orticola attraverso il vertical farming, è stato ideato di somministrare un questionario e inviarlo alle aziende indicate nella tabella 7.

Purtroppo, il numero di rispondenti non è risultato soddisfacente per effettuare delle analisi approfondite, dunque verrà proposto un breve report di quanto dichiarato dai tre rispondenti.

Le domande riportate nel questionario trattano i medesimi temi affrontati nelle interviste con le aziende italiane.

Dal punto di vista di dati demografici, le aziende rispondenti risultano essere nate prima del 2013, nel 2017 e nel 2019. I Paesi in cui si trovano sono USA, Belgio e Svezia e tutte e tre le compagnie utilizzano come metodo di crescita delle colture la tecnica idroponica.

I rispondenti dichiarano di coltivare verdure a foglia, fagiolini, bacche quali fragole e lamponi, ma anche piante medicinali.

Per comprendere la dimensione dell'azienda, è stato chiesto di indicare la percentuale media annuale di produzione: due aziende dichiarano tra 101 e 200  $kg/m^2/year$  ed una meno di 50  $kg/m^2/year$ .

È stato interessante inoltre verificare se le aziende considerassero indicatori relativi alla sostenibilità ambientale. Tutte le aziende monitorano il consumo di acqua e di energia, due misurano anche il consumo di suolo, emissioni di gas serra e la gestione dei rifiuti.

Tutte le aziende inoltre dichiarano che il monitoraggio relativo alla sostenibilità ambientale avviene attraverso metodi automatici o semi-automatici come sensori e robot.

In merito alla produttività, sono state poste le medesime domande: se vengono considerati degli indicatori relativamente alla produttività e nel caso quali sono le modalità di monitoraggio.

Un'azienda dichiara di non considerare indicatori relativi alla produttività, due affermano che monitorano il tempo ciclo di crescita di una coltura. Si ottiene inoltre una risposta per misurazione del peso fresco, peso secco, indice di area, resa della coltura. Anche in tal caso il monitoraggio avviene attraverso metodi automatici o semi-automatici come sensori e robot.

Infine, viene chiesto se esistono degli indicatori relativi alla qualità del prodotto. Tutte le aziende dichiarano di effettuare analisi sensoriale (apparenza, texture, tatto). Due aziende inoltre misurano umidità e temperatura, peso e misura, contenuto di minerali e di vitamine, livello nutrienti e presenza di contaminanti. In merito a tale questione, due aziende effettuano monitoraggio automatico e una dichiara che avviene manualmente.

Una domanda del questionario ha richiesto se l'azienda utilizza pesticidi: due sono *pesticides-free* e una utilizza pesticidi di origine naturale. In merito ai fertilizzanti, invece, le aziende utilizzano i fertilizzanti liquidi, misti e industriali.

Procedendo, è stato affrontato il tema del consumo energetico. Tutte e tre le aziende affermano di monitorare il consumo energetico, e che i metodi implementati per la riduzione del consumo sono i pannelli solari.

Volgendo la trattazione al lato di comunicazione, i canali attraverso cui le aziende dichiarano di effettuare strategie di marketing sono: sito aziendale, social networks, conferenze e congressi, supermercati e pubblicità tradizionale come tv e giornali.

Cercando poi di comprendere la *buyer persona* di tali aziende, esse hanno indicato come tali i consumatori che acquistano sul sito aziendale, tramite vendita diretta e al supermercato. Si esclude per il momento di servire la ristorazione.

Precedentemente le aziende hanno dichiarato di utilizzare sensori e robot, esse dichiarano che la percentuale di automazione rispetto alla forza lavoro risulta essere il 10% per una compagnia e il 70% per le altre due rispondenti.

Tutte le aziende dichiarano che la previsione della domanda futura, nei prossimi 5 anni, del settore del vertical farming è in aumento significativo (più del 10%).

Infine, è stato chiesto alle aziende di indicare, potendo selezionare più di una risposta, quali fossero i piani futuri aziendali: esse dichiarano di voler aprire nuovi impianti anche all'estero, aumentare la produzione ed espandere le varietà di colture, introdurre nuove tecnologie, investimenti in ricerca e sviluppo.

Questi sono gli elementi principali emersi dal questionario somministrato alle aziende di vertical farming individuate all'estero; in conclusione, la panoramica ottenuta è stata breve, riflettendo la limitata partecipazione dei rispondenti.

## 7 VERTICAL FARMING PER LA GDO

Il capitolo 7 esplora diversi aspetti fondamentali legati al vertical farming. Il capitolo 7.1 analizza i principali attori che hanno effettuato investimenti a sostegno delle aziende di vertical farming orientate alla produzione orticola. Nel capitolo 7.2, l'attenzione si sposta sui prezzi dei prodotti derivati dal vertical farming, confrontandoli con quelli ottenuti tramite le tecniche agricole convenzionali. Il capitolo 7.3 ha il focus sul ruolo della ristorazione e il 7.4 tratta il consumatore finale all'interno del contesto del vertical farming.

In particolare, per quanto riguarda il capitolo 7.4, è stata condotta un'indagine attraverso la somministrazione di un questionario anonimo, rivolto a diverse fasce d'età della popolazione italiana, con l'obiettivo di comprendere il livello di consapevolezza dei consumatori nei confronti del vertical farming, ma anche l'interesse per la sostenibilità ambientale dei rispondenti e le loro principali abitudini nel processo di acquisto.

## 7.1 INVESTIMENTI EFFETTUATI DAI PLAYERS

In questo capitolo si affronta il tema degli investimenti nel settore del vertical farming, focalizzandosi sui principali attori che emergono come investitori chiave a sostegno delle aziende dedite alla produzione orticola. Verranno esplorati i players, ma anche la direzione in cui le risorse finanziarie si dirigono: quali aziende beneficiano di tali investimenti, in che modo queste somme vengono impiegate per potenziare le attività agricole e quali impatti ciò genera sullo sviluppo sostenibile del settore.

In particolare, il capitolo concentrerà la sua attenzione sui principali attori finanziari i cui investimenti sono diretti a sostenere le realtà italiane precedentemente discusse nel capitolo 6.1. Inoltre, verrà esplorato l'apporto significativo di un colosso americano della Grande Distribuzione Organizzata, evidenziando come la sua presenza e investimenti possano influenzare il panorama internazionale del vertical farming.

Conformemente a quanto riportato nel riferimento [146], Intesa Sanpaolo emerge come investitore nell'azienda Agricola Moderna di Milano. L'investimento, del valore di 10 milioni di euro, è stato effettuato con il supporto della Garanzia Green di Sace. Questa iniezione di nuovi capitali sarà impiegata per implementare le tecnologie nell'impianto di vertical farming attualmente in costruzione ad Agnadello (CR), con prevista operatività a partire da settembre del 2024. L'innovativo stabilimento, che abbraccia l'intera filiera produttiva su un'area di circa  $9.000 m^2$ , di cui  $2.000$  destinati alla coltivazione, coprirà complessivamente  $11.000 m^2$  su più livelli.

Secondo quanto riportato in [146], Unicredit è un altro protagonista di questo capitolo e anch'esso è supportato dalla Garanzia Green di Sace. Unicredit, infatti, ha investito fornendo un finanziamento di 17,5 milioni di euro all'azienda Planet Farms. Questa somma è stata destinata all'avvio di un nuovo cantiere a Cirimido (CO), con completamento previsto per l'inizio del 2024. L'impianto, specializzato nella produzione di basilico, insalate baby leaf, e altre colture, si estenderà su un'area complessiva di  $40.000 m^2$ , di cui  $11.500 m^2$  riservati allo stabilimento, posizionandosi tra le vertical farm più estese a livello globale, con una superficie netta di coltivazione pari a  $20.000 m^2$ . [146]

Secondo quanto evidenziato in [147], Planet Farms non solo beneficia del finanziamento fornito da Unicredit, ma risulta essere sostenuta anche da Azimut, uno dei principali operatori indipendenti nel risparmio gestito in Europa. Con precisione, Azimut ha assunto il ruolo di *lead investor* durante l'aumento di capitale di Planet Farms Holding S.p.A. [148]

L'iniezione di liquidità derivante da questa partnership finanziaria supporterà l'espansione geografica della società agricola milanese, sia a livello nazionale che internazionale. Infatti, come già annunciato in [146] si prevede la creazione di un nuovo polo dedicato alla ricerca e sviluppo, mirato a esplorare le potenzialità del vertical farming nel settore alimentare e a implementare tecniche produttive sempre più efficienti; gli investimenti ricevuti serviranno a Planet Farms anche per riuscire nell'espansione in Regno Unito, per costruire un ulteriore stabilimenti, in un luogo in cui il clima avverso non permette l'elevata consumazione di ortaggi per la popolazione inglese. [147]

In questo contesto, l'operazione di Planet Farms si è conclusa con successo, con un aumento di capitale pari a 30 milioni di euro alla chiusura dell'esercizio 2021.



Questa operazione rappresenta il più ampio "*Series A investment round*" nell'ambito food e agri-tech in Europa, sottolineando l'entità e l'importanza del supporto finanziario ricevuto. [147]

Continuando con l'approfondimento degli attori chiave, è essenziale introdurre Ismea come rilevante partecipante nel panorama finanziario in discussione.

Ismea, acronimo di Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare, opera come ente pubblico economico, concentrando le sue attività sulla fornitura di servizi informativi, assicurativi e finanziari. [149] Tra le sue responsabilità istituzionali, Ismea si impegna nella creazione di strumenti di garanzia finanziaria a favore delle imprese agricole. Questa iniziativa mira a incentivare la chiarezza nei mercati, facilitare le interazioni con il settore bancario e assicurativo, oltre a sostenere la competitività delle aziende agricole mediante la mitigazione dei rischi legati alle operazioni di produzione e commercio. [149]

Attraverso lo strumento "Ismea Investe", Ismea ha destinato un investimento di 6 milioni di euro alla startup italiana del vertical farming Kilometro Verde.

Secondo le fonti lo stabilimento era ancora in fase di realizzazione all'inizio del 2023, e ad oggi è stato inaugurato come la più grande vertical farm d'Europa, focalizzata sulla coltivazione di insalate pronte al consumo e l'introduzione di quattro nuove referenze con caratteristiche distintive nelle abitudini alimentari dei consumatori. [146] [150] [151]

L'operazione ha avuto luogo a Manerbio (BS), in Lombardia, con Ismea che ha sottoscritto un aumento di capitale e concesso un prestito obbligazionario convertibile della durata di otto anni. L'investimento totale, ammontante a 19 milioni di euro, evidenzia l'impegno di Ismea nel sostenere progetti di sviluppo delle aziende operanti nel settore agricolo e agroalimentare. Inoltre, il membro del consiglio di amministrazione di Ismea, Fabio Rolfi, ha dichiarato che attraverso Ismea Investe, si mira a promuovere la capitalizzazione delle aziende offrendo un'alternativa agli strumenti di debito, contribuendo così a stimolare la crescita sostenibile nel settore. [146] [150] [151]

Procedendo con i players, Invitalia ha contribuito con un finanziamento di 1,1 milioni di euro al progetto della startup The Circle, specializzata in vertical farming tramite la tecnica acquaponica, attraverso il programma Smart&Start Italia. Questo incentivo, dedicato a sostenere la nascita e la crescita delle startup innovative, ha permesso ad Invitalia di supportare la creazione e lo sviluppo di circa 1.500 nuove imprese in tutto il Paese. [152]

Di rilevante importanza nel contesto degli investimenti legati al vertical farming è anche la presenza dell'attore Zero, azienda di Pordenone. In particolare, Zero ha instaurato una partnership con l'Università Ca' Foscari di Venezia, dando vita a "Future Farming – Innovation Technology Infrastructure".

Questa iniziativa, basata su una partnership di natura pubblico-privata, secondo quanto riportato in [153] e [154] si propone come la prima infrastruttura europea nel settore dell'agricoltura del futuro, con l'obiettivo di diventare un punto di riferimento a livello continentale. Il progetto mira ad attrarre progetti e scienziati da tutto il mondo per stimolare lo sviluppo di imprese industriali e startup tecnologiche.

Il finanziamento di 10 milioni di euro proveniente dal PNRR rappresenta una delle fonti che rende possibile questo progetto, mentre Zero contribuirà con il 51% dell'investimento totale di 20 milioni di euro per la realizzazione dell'infrastruttura. Zero assumerà anche la responsabilità della gestione delle attività di ricerca, in collaborazione sia con l'Università Ca' Foscari e con altre università del Nordest, che saranno coinvolte nel comitato tecnico scientifico dell'iniziativa. [154]

L'infrastruttura di ricerca Future Farming sarà distribuita in due sedi, con quella principale situata nel Veneto e una secondaria in Sardegna. L'obiettivo è completare la costruzione entro dicembre 2024, rendendo la struttura completamente operativa nel 2025. [155]

La rettrice dell'Università Ca' Foscari di Venezia, Tiziana Lippiello, sottolinea che Future Farming rappresenta un esempio delle potenzialità della partnership tra pubblico-privato, offrendo un'importante opportunità di innovazione nel settore delle biotecnologie applicate all'agricoltura del futuro. Il progetto incarna l'unione di ricerca, innovazione e interdisciplinarietà, dimostrando come le università italiane possano contribuire con talento e creatività alle sfide globali contemporanee. [153] [154] [155]

Come anticipato, un altro attore cruciale è il gigante della Grande Distribuzione Organizzata, Walmart, che si distingue per la sua mossa previdente nell'investire per assicurarsi un approvvigionamento di ortaggi freschi, altamente conservabili e salutari nelle migliori condizioni possibili.

Walmart, infatti, ha recentemente stretto una partnership strategica a lungo termine con Plenty, startup specializzata in Indoor Vertical Farming menzionata nel capitolo 6.2, nell'ambito del loro round di finanziamento di serie E da 400 milioni di dollari. Attraverso questa operazione, Walmart diventerà un membro del consiglio di amministrazione di Plenty e a partire dal 2022, secondo quanto riportato in [156] ha iniziato a fornire tutti i suoi negozi in California con verdure a foglia verde prive di pesticidi e non OGM, provenienti dalla fattoria Compton di Plenty.

Questo rende Walmart il primo grande rivenditore americano ad impegnarsi in modo significativo nell'agricoltura verticale. [156] [157] [158]

Il chief merchandising officer di Walmart ha sottolineato che questa partnership accelera non solo l'innovazione agricola ma anche il loro impegno per la sostenibilità, introducendo una nuova categoria di prodotti freschi di cui beneficiano sia le persone che il pianeta. [156] [158]

La mossa strategica di Walmart si propone quindi di offrire ai consumatori prodotti freschi e di alta qualità tutto l'anno, preservando allo stesso tempo le preziose risorse del pianeta attraverso il vertical farming, tecnica che integra le pratiche agricole tradizionali con approcci innovativi per contribuire all'aumento dell'approvvigionamento alimentare e mitigare l'impatto ambientale del sistema alimentare. [156] [157] [158]

## 7.2 IL PREZZO DEI PRODOTTI OTTENUTI TRAMITE VERTICAL FARMING

Il presente capitolo costituisce un'analisi del prezzo dei prodotti ottenuti tramite il vertical farming; l'obiettivo principale è confrontare tali prezzi con quelli dei prodotti agricoli tradizionali, reperibili nei supermercati di ogni città.

Nel corso di questa indagine, ci si è concentrati sull'osservazione diretta, visitando alcuni supermercati nel capoluogo piemontese. Questo approccio ha consentito di ottenere informazioni concrete e aggiornate, superando le limitazioni di una mera ricerca online. L'analisi si estende anche ai canali di e-commerce delle aziende coinvolte nel settore del vertical farming e talvolta anche dei supermercati, mettendo a confronto la disponibilità e i prezzi dei loro prodotti rispetto a quelli provenienti dall'agricoltura tradizionale.

Attraverso la visita ai supermercati, è stato possibile esaminare gli stand e gli scaffali dedicati ai prodotti da vertical farming, valutando la loro presenza e visibilità nei confronti dei prodotti tradizionali. Questo approccio sul campo mira a fornire una comprensione accurata della percezione e dell'accettazione di tali prodotti da parte dei consumatori, oltre a evidenziare eventuali disparità di prezzo rispetto agli equivalenti provenienti da fonti agricole convenzionali.

Secondo quanto riportato dalle fonti online, in accordo con il riferimento [159] del 2021, il costo delle insalate di Planet Farms era di 2,68€ per una confezione da 80 grammi (figura 15), corrispondente a un prezzo di 33,50€/kg. Questo prezzo è stato comparato a quello di un filetto di carne pregiata acquistato in un supermercato.

Analizzando la situazione, si può notare che questo costo si colloca in una fascia piuttosto elevata, soprattutto se confrontato con il già considerato elevato costo di una confezione di insalata biologica con un peso quasi doppio, senza nemmeno menzionare la differenza con una comune busta di insalata disponibile su qualsiasi scaffale del supermercato, prodotta con le pratiche agricole convenzionali.



Figura 15: Prodotti di Planet Farms in un supermercato nel 2021 [159]

Inoltre, ricorrendo al 2022 si fa riferimento a quanto dichiarato nella fonte [114], indicando che l'insalata Planet Farms in confezioni da 80 grammi è venduta al costo di 2,50 euro. Per giustificare questo prezzo, si sottolineava che gli 80 grammi rappresentassero la quantità netta di prodotto, priva di acqua, e quindi fossero equivalenti a circa 140-150 grammi di un prodotto di un altro marchio derivato da agricoltura tradizionale.

Sempre in relazione a Planet Farms, secondo quanto riportato nella fonte [160] del 2023, si evidenzia una riduzione di circa il 20% nei prezzi dei prodotti dell'azienda. Questa diminuzione è attribuita all'implementazione di nuove tecnologie aziendali. A conferma di questa riduzione effettiva dei prezzi, è possibile constatare tale cambiamento simulando un acquisto online attraverso l'e-commerce di Esselunga, che propone i seguenti prodotti di Planet Farms a prezzi di 1,98 euro per il lattughino, 2,19 euro per il mix vivace e altrettanto per quello esotico. (figura 16)

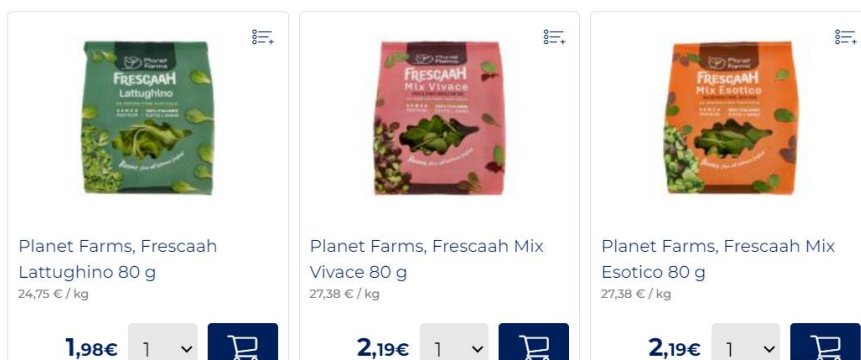


Figura 16: Schermata prodotti Planet Farms sull' e-commerce di Esselunga

Attualmente, i prodotti di Planet Farms sono disponibili anche presso la catena di supermercati Mercatò, e sono resi visibili grazie all'insegna che compare in figura 17.

Questa insegna svolge un ruolo importante nel fornire spiegazioni a coloro che si trovano di fronte ad un packaging in carta, distinguendolo dalle comuni buste di insalata in plastica. L'obiettivo è chiarire la natura di questo tipo di confezione e introdurre il concetto di vertical farming. Questa strategia è adottata principalmente a causa della presenza diffusa di disinformazione tra i consumatori. Spesso, infatti, si tende ad associare un prezzo più elevato per una confezione da 80 grammi rispetto a una busta tradizionale di insalata ad un prodotto ritenuto eccessivamente costoso, fino al punto di scoraggiare l'acquisto, non comprendendo la motivazione di tale prezzo.



Figura 17: Cartellone pubblicitario di Planet Farms in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo)

Le varietà di insalate attualmente disponibili presso il Mercatò includono il lattughino e il baby iceberg, entrambi proposti al prezzo di 1,99€ per una confezione da 80 grammi, visibile in figura 18:



Figura 18: Prodotti di Planet Farms disponibili in un supermercato Mercatò di Torino nel 2023 (personal photo)

Continuando con l'analisi, presso il supermercato Coop sono attualmente disponibili i prodotti del marchio Local Green, confezionati anch'essi in buste da 80 grammi.

Anche in questo caso, per catturare l'attenzione del consumatore su un prodotto che, a prima vista, potrebbe sembrare eccessivamente costoso rispetto alla quantità di prodotto nella confezione, è presente sulla vetrina frigorifero un cartellone pubblicitario, illustrato nella figura 19:



Figura 19: Cartellone pubblicitario per Local Green in un supermercato Coop di Torino (personal photo)

Presso il supermercato Coop sono disponibili il lattughino e il mix orientale, entrambi in confezioni da 80 grammi al prezzo di 1,59 euro, come si nota in figura 20; la figura 21 mostra invece il retro della confezione con indicazioni circa il prodotto.



Figura 20: Prodotti di Local Green in un supermercato Coop di Torino nel 2023 (personal photo)



Figura 21: Busta di insalata Local Green (personal photo)

Raccogliendo informazioni sui prodotti di Agricola Moderna, il sito aziendale per l'acquisto dei prodotti indirizza gli acquirenti all'e-commerce di Carrefour [161]. Su tale piattaforma, il basilico è proposto in confezioni da 25 grammi al prezzo di 1,39€ (figura 22):

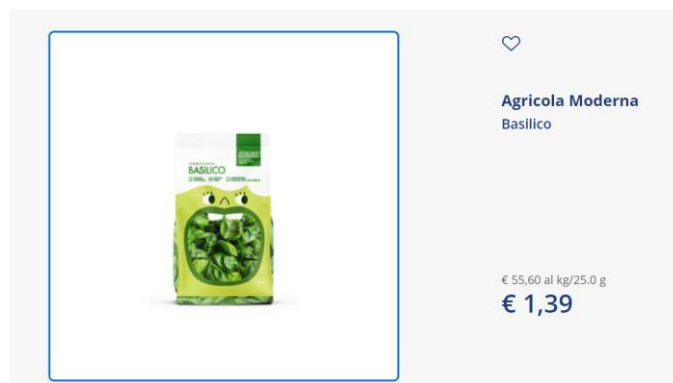


Figura 22: Schermata dell'e-commerce Carrefour con il basilico di Agricola Moderna nel 2023

Oltre al basilico, sono presenti anche i seguenti prodotti, in confezioni da 80g: lattuga per 1,59€ (in offerta) alla confezione, insalata japanese e misticanza croccante, con un prezzo caduna di 1,98€. Di seguito rappresentati in figura 23 i prodotti appena citati:

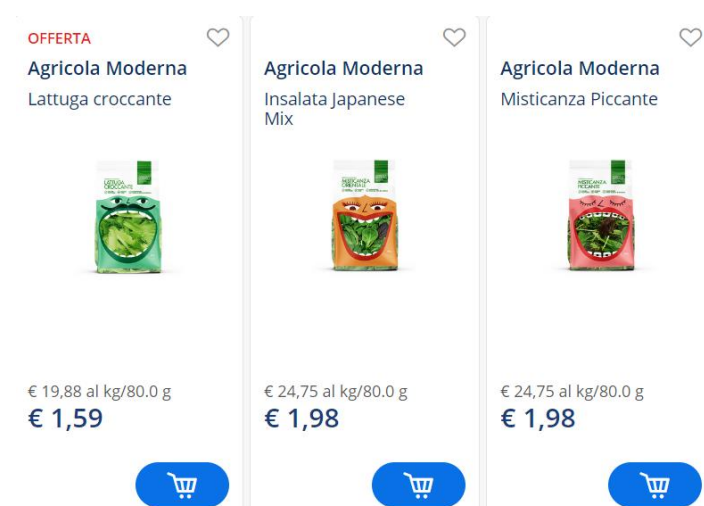


Figura 23: Schermata dell'e-commerce Carrefour con le insalate di Agricola Moderna nel 2023

Inoltre, sempre in relazione ad Agricola Moderna, essa è presente anche su Cortilia [162]. In particolare, è disponibile un tris di buste da 80 grammi al prezzo scontato di 6,57 euro, con uno sconto dell'11% rispetto al prezzo di listino (figura 24). Sempre su Cortilia, la confezione di basilico in foglie da 25 grammi è venduta a 1,49 euro, evidenziando un incremento di 0,10 euro rispetto al prezzo presente su Carrefour.



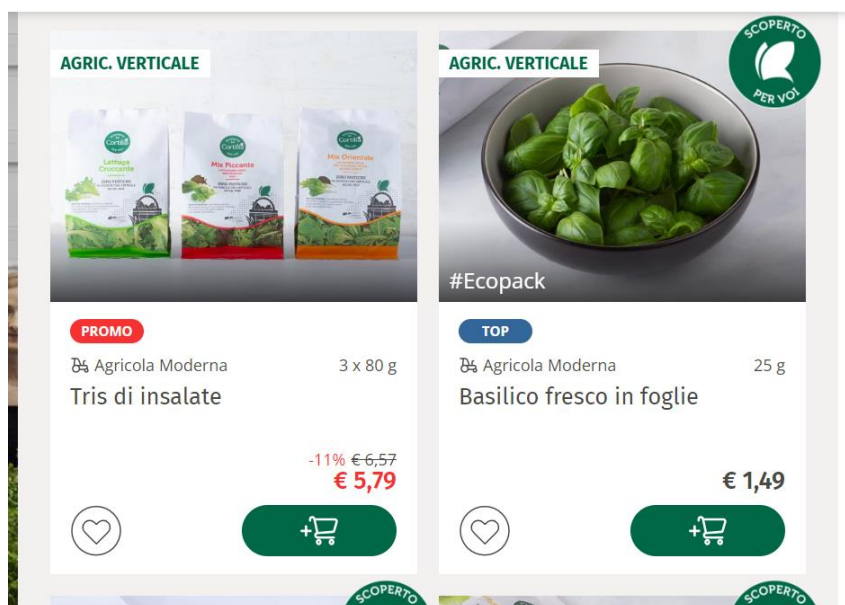


Figura 24: Schermata dell'e-commerce Cortilia con prodotti di Agricola Moderna nel 2023

Continuando l'analisi, su Cortilia sono disponibili la lattuga croccante e l'insalata lattughino al prezzo di 1,99 euro per 80 grammi (figura 25).

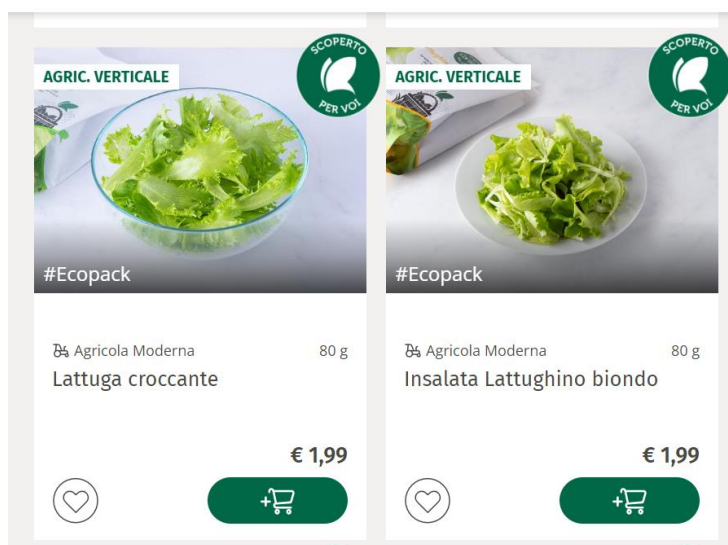


Figura 25: Schermata dell'e-commerce Cortilia con prodotti di Agricola Moderna nel 2023

Interessante notare che Cortilia, attraverso un'etichetta nella foto esplicativa del prodotto, evidenzia la provenienza da agricoltura verticale, sottolineando quindi il metodo di coltivazione utilizzato per tali prodotti.

In contrasto con i prodotti precedentemente menzionati di Agricola Moderna, i prezzi salgono per i prodotti classificati come mix orientale e mix croccante su Cortilia, stabilendosi a 2,29 euro per una confezione da 80 grammi (figura 26).

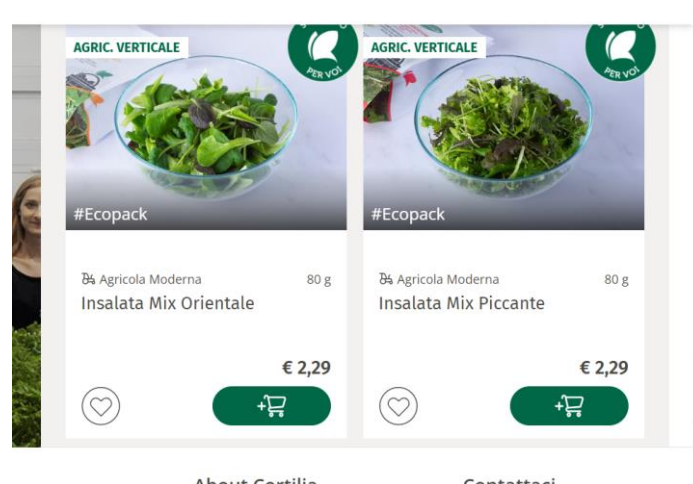


Figura 26: Schermata dell'e-commerce Cortilia con prodotti di Agricola Moderna nel 2023

Attualmente, il supermercato Penny ha deciso di investire nell'agricoltura verticale, introducendo nei suoi negozi la linea "Pianetiamo". Questa linea è dedicata all'agricoltura verticale mediante coltivazione aeroponica. [163]

Al momento del lancio, "Pianetiamo" propone tre varianti di insalata: lattughino, e due mix, Balsamica e Piccantina, all'interno del brand "Natura è". Quest'ultimo è stato recentemente rilanciato con un'attenzione particolare alla qualità e al design, rappresentando l'offerta sostenibile di Penny nella categoria frutta e verdura. [163]

Le confezioni di questi articoli mantengono sempre un peso di 80 grammi e sono offerte al prezzo di 1,29€. Come illustrato nelle figure 27 e 28, è possibile acquistarle in promozione a soli 0,99€ l'una, un costo notevolmente competitivo rispetto agli altri prodotti provenienti da coltivazioni verticali precedentemente menzionati. Anche al prezzo di listino, il prodotto di Penny risulta comunque più conveniente rispetto alle alternative finora esaminate.

La ragione dietro il prezzo più basso per il prodotto offerto da Penny è attribuibile alla cosiddetta "*private label*". Infatti, i prodotti con etichetta privata sono in gran parte esenti dai costi di marketing tipici dell'industria di marca, consentendo al distributore di mantenere margini di profitto più elevati pur offrendo prodotti con etichetta privata a un prezzo competitivo, a vantaggio del consumatore. [164]

Generalmente, sullo scaffale del frigorifero nel supermercato, la linea del vertical farming è collocata in una sezione superiore rispetto ai prodotti biologici, anche con l'obiettivo di fornire visivamente un'indicazione chiara del valore aggiunto offerto. [165]





Figura 27: Prodotti di Pianetiamo presso un supermercato Penny nella provincia di Torino (personal photo)



Figura 28: Busta di insalata Pianetiamo (personal photo)

Nel corso della ricerca dei prodotti provenienti dal vertical farming nei supermercati di Torino, è stato individuato un angolo all'interno di un supermercato Carrefour che ospita cesti di piantine di insalata coltivate tramite la tecnica aeroponica dall'azienda Agricooltur, situata a 33 minuti<sup>13</sup> di distanza dal punto vendita, più precisamente nella città di Carignano (TO). [139]

Questi prodotti, definiti “salanova”, sono presentati dettagliatamente nelle figure 29 e 30, e sono commercializzati al prezzo di 1,99€ per ciascun cestino. È evidente l'impegno dell'azienda nel farsi conoscere, come indicato dalla presenza di un corner con insegna aziendale ben visibile. Informazioni aggiuntive riguardo alla maggiore sostenibilità del prodotto sono chiaramente indicate sul packaging del prodotto, realizzato in carta anziché in plastica.

<sup>13</sup> La distanza espressa in minuti è da intendersi come tempo percorso tramite automobile.



Figura 29: Corner di piantine di insalata da tecnica aeroponica in un Carrefour di Torino (personal photo)



Figura 30: Dettaglio corner Agricooltur, coltivazioni aeroponiche urbane in un Carrefour di Torino (personal photo)

Secondo quanto dichiarato in [166] ed evidenziato nell'intervista condotta con l'azienda Kilometro Verde, a partire dal 14 dicembre 2023 è stata avviata la distribuzione dell'insalata Kilometro Verde in oltre 700 negozi Coop in Italia. Grazie alla collaborazione con il rivenditore, le diverse varietà di insalata coltivate in vertical farming saranno disponibili per i consumatori con il marchio Fior Fiore. In questa fase iniziale, il nuovo prodotto a marchio Fior Fiore sarà disponibile in tutti i punti vendita di cinque cooperative appartenenti al consorzio Coop Italia. A partire da gennaio 2024, è previsto che il consorzio delle cooperative del Nord Ovest, includendo Nova Coop in Piemonte, Coop Liguria e Coop Lombardia, si unirà alla distribuzione. L'obiettivo è estendere la copertura su tutta la rete Coop in Italia. [166]

Infatti, nel gennaio 2024, è stata effettuata una visita ad un supermercato Coop di Torino, dove i suddetti prodotti erano disponibili, come si può notare nella figura 31.



Figura 31: Prodotti di Kilometro Verde a marchio Fior Fiore in un supermercato Coop di Torino (personal photo)

È importante notare che la confezione Fior Fiore contiene 100 grammi di prodotto, differenziandosi dagli altri prodotti da vertical farming precedentemente reperiti che erano confezionati in quantità da 80 grammi. Il prezzo è di 1,68€, sulla confezione è indicato "da agricoltura verticale" sotto la tipologia di prodotto e come si nota il packaging è in carta e presenta nel retro della confezione una breve spiegazione della tecnica di coltivazione utilizzata (figura 32).



Figura 32: Dettaglio confezione di prodotto Fior Fiore (personal photo)

In conclusione, si riportano i costi dei pesti di The Circle: il pesto proveniente da coltura acquaponica è disponibile sul loro sito di e-commerce al prezzo di 6,50 euro per barattolo da 190g (figura 33) [167].



Figura 33: Schermata e-commerce The Circle con barattoli di pesto [167]

Per confrontare i prezzi del pesto The Circle, sono stati esaminati i costi dei prodotti simili, come il pesto di basilico reperibile nei supermercati, considerato uno dei prodotti più equiparabili. Dalle figure seguenti emerge una varietà di fasce di prezzo. Nel reparto dei prodotti non refrigerati, sono stati individuati pesti come il Tigullio, promosso come ottenuto da agricoltura sostenibile, venduto a 2,58€ per 190 g (figura 34). Passando alla figura 35, notiamo prezzi di 4,69€ e 3,39€, entrambi per 180 g. Inoltre, il pesto di pistacchi da 190 g è venduto a 5,60€, suggerendo che il pesto attuale di The Circle potrebbe essere paragonabile a un pesto di pistacchi supermercato. Un prodotto bio in figura 37 è offerto a 3,19€ per 130 g. Riducendo la quantità, nella figura 38 si nota un barattolo da 90 g a 2,88€ (lato sinistro) e 130 g a 2,99€. Infine, il pesto Rana è proposto a 2,69€ per 140 g (figura 39).



Figura 34: Pesto con basilico da agricoltura sostenibile in supermercato Mercatò di Torino (personal photo)





Figura 35: Due tipi di pesto di basilico e un tipo di pesto di pistacchi in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo)



Figura 36: Pesto di basilico in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo)



Figura 37: Pesto di basilico bio in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo)



Figura 38: Due tipi di pesto di basilico in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo)



Figura 39: Pesto di basilico presente in frigorifero in un supermercato Mercatò di Torino (personal photo)

Il confronto tra il barattolo di pesto ottenuto da un'azienda acquaponica al prezzo di 6,50€ e i prodotti supermercati precedentemente menzionati, fornisce un'interessante prospettiva sulle varie opzioni disponibili. Va sottolineato che il confronto iniziale è stato effettuato considerando il pesto di basilico reperibile nei supermercati, data la sua ampia varietà disponibile.

Tuttavia, è importante notare che il pesto prodotto da The Circle va oltre la categoria del semplice pesto di basilico.

Un esempio eloquente è il pesto "oriental vegano", il cui processo di trasformazione coinvolge la senape rossa, il mizuna e il tatsoi provenienti dalla produzione acquaponica di The Circle. Questa diversificazione degli ingredienti conferisce al pesto un profilo unico e distintivo, andando oltre le offerte tradizionali presenti nei supermercati.

Il prezzo di 6,50€ per un barattolo di pesto acquaponico rappresenta quindi non solo una valutazione economica, ma anche un riconoscimento del valore aggiunto derivante dalla sostenibilità ambientale e dalla qualità degli ingredienti selezionati. Tale prospettiva potrebbe influenzare positivamente la percezione del consumatore nei confronti del prodotto, spingendolo a considerare non solo il prezzo, ma anche la provenienza e la varietà unica offerta dal pesto The Circle.

Confrontando i prezzi dei prodotti ottenuti tramite il vertical farming precedentemente menzionati, con alcune insalate da agricoltura tradizionali presenti nei differenti supermercati visitati, quali Coop e Mercatò, ad esempio, si nota che i prezzi presenti nella figura 40, figura 41, figura 42, figura 43, sono certamente inferiori rispetto a tutti i prezzi relativi all'agricoltura verticale. Oltre ad avere un prezzo minore, tali insalate sono vendute in confezioni con un peso maggiore, ad esempio citiamo per la figura 40 un prezzo di 1,58€ per 200 g di prodotto, oppure in figura 41 notiamo 1,58€ per 150g.



Figura 40: Esempio 1 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo)



Figura 41: Esempio 2 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo)



Figura 42: Esempio 3 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo)



Figura 43: Esempio 4 insalata da agricoltura tradizionale (personal photo)

In conclusione, è importante sottolineare che i prezzi dei prodotti derivati dal vertical farming sono oggettivamente più elevati, tuttavia ciò è dovuto a maggiori costi che l'azienda deve sostenere rispetto all'agricoltura tradizionale, in virtù delle tecnologie avanzate, dell'energia necessaria e dell'ambiente controllato richiesto, ma anche ad una qualità superiore del prodotto offerto.

Comunque, è cruciale comunicare al consumatore che nonostante i costi visibilmente superiori, acquistando un prodotto da agricoltura verticale sta optando per un prodotto di qualità più elevata rispetto alle tecniche convenzionali. I prodotti del vertical farming inoltre presentano caratteristiche come una *shelf life* più lunga e la produzione in ambienti controllati, garantendo una qualità costante e priva di contaminanti. Inoltre, l'acquisto di tali prodotti contribuisce a sostenere pratiche agricole più sostenibili, riducendo l'impatto ambientale e promuovendo la salvaguardia del pianeta. Educare il consumatore su questi aspetti è fondamentale per far comprendere il valore intrinseco di tali prodotti e il loro impatto positivo sull'ambiente e sulla salute dell'essere umano.

Di seguito nella tabella 13 sono riportati in modo schematico i prodotti trattati in questo capitolo: azienda produttrice, supermercato in cui è stato reperito il prodotto, grammi di prodotto nella confezione, prezzo di acquisto e periodo in cui il dato è stato reperito. Quest'ultima informazione risulta chiave qualora i prezzi venissero modificati nel tempo.



Tabella 13: Prodotti da vertical farming nei supermercati di Torino: prezzi e localizzazione

AZIENDA PRODUTTORE	SUPERMERCATO	PRODOTTO	DIMENSIONE CONFEZIONE	PREZZO DI VENDITA	DATA ULTIMO AGGIORNAM.
Planet Farms	Mercatò	Insalata	80 gr	1,99 €	Dicembre 2023
Planet Farms	Esselunga (e-commerce)	Insalata	80 gr	1,98€ (lattughino) 2.19€ (mix vivace e mix esotico)	Dicembre 2023
Local Green	Coop	Insalata	80 gr	1,59€	Dicembre 2023
Agricola Moderna	Carrefour (e-commerce)	Basilico	25 gr	1,39€	Dicembre 2023
Agricola Moderna	Carrefour (e-commerce)	Insalata	80 gr	1,59 € (lattuga) 1,98€ (Misticanza piccante e Mix Japanese)	Dicembre 2023
Agricola Moderna	Cortilia (e-commerce)	Basilico	25 gr	1,49€	Dicembre 2023
Agricola Moderna	Cortilia (e-commerce)	Insalata	80 gr	1,99€ (lattuga) 2,29€ (mix piccante e mix orientale)	Dicembre 2023
Pianetiamo (Penny)	Penny	Insalata	80 gr	1,29€	Dicembre 2023
Agricooltur	Carrefour	Insalata	Venduto a cestino	1,99€	Dicembre 2023
Kilometro Verde	Coop	Insalata	100 gr	1,68€	Gennaio 2024
The Circle	E-commerce The Circle	Pesto di basilico	190gr	6,50€	Dicembre 2023

### 7.3 IL POTENZIALE DELLA RISTORAZIONE

Questo capitolo si propone di esaminare il ruolo della ristorazione in relazione al tema del vertical farming.

Per quanto concerne la ristorazione, il vertical farming può essere coinvolto attraverso due modalità distinte:

- nel primo caso, i ristoranti si affidano alle aziende di vertical farming volte alla produzione orticola, e quest'ultime operano come fornitori di prodotti alimentari necessari per la preparazione dei piatti nei ristoranti;
- nel secondo caso, i ristoranti investono per diventare autonomi nella produzione orticola in vertical farming, installando vertical farm *ad hoc* esclusivamente per le proprie esigenze.

A titolo esemplificativo del caso uno, l'azienda acquaponica The Circle [167] fornisce pesti e prodotti a rinomati ristoranti italiani come Cracco a Portofino, Angelina Testaccio, Bulgari Hotel Rome, Brucio a Testaccio, e altri ancora, come elencato dettagliatamente sul loro sito web aziendale [167].

Per quanto riguarda il secondo caso, è interessante menzionare un'iniziativa realizzata da Ikea [168] attraverso una collaborazione con la vertical farm tedesca Infarm [169].

Questa partnership ha portato all'installazione di tre serre verticali presso i ristoranti Ikea di altrettanti punti vendita, dove verranno coltivati prezzemolo e basilico destinati all'uso nelle cucine. La responsabile di Ikea Germania ha sottolineato che il concetto di Infarm ha conquistato l'azienda svedese, poiché consente di rendere tangibili concetti come sostenibilità e alimentazione salutare per dipendenti e clienti Ikea. [170]

Poiché Ikea si impegna a promuovere uno stile di vita più sano e sostenibile, con un focus crescente su cibi e piatti a base vegetale con minor impatto ambientale e prezzi accessibili a tutti, l'introduzione delle vertical farms nei ristoranti emerge come un'idea innovativa e avvincente. Tale approccio mira ad avvicinare il consumatore a questo concetto nuovo, sottolineando ulteriormente l'impegno di Ikea verso la sostenibilità e l'accessibilità alimentare. [170]

Nel contesto del secondo caso, è rilevante menzionare l'iniziativa rivoluzionaria intrapresa dal rinomato ristorante stellato DaVittorio [171], situato a Brusaporto, in Lombardia.

In particolare, durante il periodo della pandemia Covid-19, il ristorante ha conosciuto l'azienda Planet Farms [119] e, dopo averne sperimentato i prodotti, ha richiesto la costruzione della prima vertical farm dedicata all'alta ristorazione, progettata e installata direttamente da Planet Farms per DaVittorio. [172]

Questo approccio consente un passaggio diretto dalla farm alla tavola in pochi metri, offrendo notevoli vantaggi come la freschezza dei prodotti. Il basilico, i rapanelli, la rucola wasabi, le erbe aromatiche, le baby-leaves e i micro-greens arrivano in cucina ancora attaccati al loro substrato spugnoso, tagliati solo al momento del servizio.

La vertical farm opera con tecnologie avanzate, utilizzando luci artificiali provenienti dall'Olanda, garantendo temperatura e umidità controllate. Un aspetto cruciale è la totale assenza di componenti chimici, fertilizzanti o pesticidi, in quanto le piante nascono in un ambiente incontaminato, protette da filtri purificatori dell'aria. [172] [173]

La struttura della farm comprende due camere di crescita con sei aree indipendenti su tre livelli, al fine di accogliere famiglie di colture con esigenze diverse. Tutti i parametri colturali sono attentamente monitorati da un software proprietario e un sistema di intelligenza artificiale, assicurando condizioni ottimali in tutte le fasi di crescita delle piante. [173]

Come riporta [172], è interessante notare anche che i prodotti di Planet Farms sono già adottati da alcuni ristoranti milanesi come Remulass e Ratanà, ampliando la connessione al primo caso precedentemente menzionato.

Tuttavia, il progetto futuro mira a concentrarsi sul canale HO.RE.CA., offrendo prodotti freschi, non lavati, disponibili tutto l'anno e sostenibili. La famiglia Cerea, proprietaria del ristorante DaVittorio, sottolinea l'importanza di diventare ambasciatori di una nuova cultura alimentare basata su filiere integrate, zero sprechi, zero trasporti e un utilizzo responsabile delle risorse. [172] [173]

Inoltre, nel contesto del servizio di ristorazione, il riferimento [174] presenta un nuovo progetto nel comune di Torrita di Siena, volto a ridare vita a un vecchio rifugio antiaereo, inutilizzato da diversi anni.

Questo bene è stato recentemente trasferito dallo Stato al comune attraverso un accordo di valorizzazione stipulato a luglio 2022. [174] Il rifugio ora ospita la prima vertical farm sotterranea in Italia, segnando il primo esempio di proprietà pubblica. L'inaugurazione di questa struttura è avvenuta a metà settembre 2023 ed è stata progettata e realizzata da Vertical Farm Italia, un'azienda inclusa nel capitolo dedicato ai produttori di sistemi di vertical farming [6].

Oltre agli aspetti tecnologici, il progetto ha un importante impatto sociale: i prodotti ottenuti dalla vertical farm saranno destinati alle famiglie bisognose e alla mensa comunale, contribuendo alla preparazione di pasti genuini, soprattutto per le scuole. Questo progetto innovativo si propone di sostenere la sicurezza alimentare a livello locale, con l'obiettivo di coprire fino al 50% del fabbisogno per alcune specie vegetali.

L'impianto è diviso in due parti: una dedicata agli ortaggi da frutto, attualmente con pomodori, cetrioli e zucchine in piena produzione, e l'altra per gli ortaggi da foglia. [174]

Dunque, seguendo l'esempio di DaVittorio, che ha inaugurato una vertical farm esclusiva per il suo ristorante, l'idea di avviare un'azienda agricola di proprietà del ristorante non appare così irrealistica. Nell'attesa che altri ristoranti adottino la soluzione di una vertical farm privata, si possono prendere in considerazione gli esempi italiani di Miscusi e Gruppo Pizzium. Entrambe queste realtà hanno scelto di coltivare internamente le materie prime necessarie per i propri punti vendita, implementando un approccio tradizionale alla gestione agricola. [175]

La startup di pasta fresca Miscusi ha inaugurato una propria farm nel 2019, seguita successivamente dal Gruppo Pizzium.

Il Gruppo Pizzium, con 49 locali in tutta Italia, ha recentemente annunciato la creazione di una sua azienda agricola con l'obiettivo di migliorare ulteriormente la qualità degli ingredienti utilizzati in tutti i suoi ristoranti. [175] La collaborazione con un contadino ha dato vita ad una fattoria campana, gestita da tale professionista agricolo con una lunga tradizione familiare nella zona. La produzione comprende una varietà di ortaggi come friarielli, scarole, carciofi e pomodori, seguendo le stagionalità e i cicli produttivi della terra. La prima raccolta, avvenuta a fine settembre 2023, è stata incorporata nei nuovi menu di tutto il Gruppo Pizzium. [175]

Questa azione rispecchia la vasta competenza aziendale del gruppo, che incide sui costi alimentari eliminando le intermediazioni con i produttori e apportando vantaggi al consumatore finale, tramite prezzi più convenienti. [175]

In conclusione, la ristorazione emerge quindi come un potenziale veicolo per introdurre con successo i prodotti provenienti dalla vertical farm al consumatore, contribuendo così a diffondere la consapevolezza di questa innovativa pratica agricola.

#### 7.4 IL RUOLO DEL CONSUMATORE: ANALISI ATTRAVERSO QUESTIONARIO

Il presente capitolo si basa su un questionario che è stato realizzato e somministrato alla popolazione italiana, considerando come esempi le seguenti fonti in letteratura circa questionari già somministrati: [1], [2], [3], [4], [5].

In particolare, un primo punto di riferimento è rappresentato da [1], indagine che ha coinvolto diverse nazioni, tra cui la Cina, Singapore, il Regno Unito e gli Stati Uniti. Tale ricerca ha adottato un approccio simile allo studio di questo elaborato, somministrando il questionario per un periodo di un mese tramite modalità online, al fine di analizzare le opinioni e le conoscenze della popolazione riguardo al vertical farming.

Lo studio del riferimento [2] presenta un'indagine condotta nella Cina continentale, e analogamente al questionario nel presente lavoro, è stata proposta una breve introduzione circa il vertical farming, per poter evitare incertezze e ambiguità su tale concetto, oggetto di domande future.

Proseguendo, l'analisi condotta in [3] offre una panoramica sulla situazione a Kuala Lumpur, in Malesia, dove si è evidenziata una mancanza di ricerca accademica sull'accettazione del vertical farming nella comunità locale. Analogamente, una scarsa presenza di fonti relative ad indagini in Italia, ha stimolato l'inclusione di un questionario in tale elaborato.

Parallelamente, lo studio [4] fornisce un'indagine condotta in Spagna e America Latina, dove si ha sondato circa la consapevolezza dei consumatori riguardo ai prodotti ottenuti tramite la tecnica acquaponica. Le conclusioni di tale riferimento suggeriscono la necessità di campagne pubblicitarie mirate per aumentare la consapevolezza su questo tema e stimolare l'interesse nei confronti del vertical farming.

Infine, il riferimento [5] rappresenta un questionario somministrato in Germania, il quale ha rivelato che la sostenibilità è un elemento fondamentale nell'accettazione del vertical farming tra i consumatori.

Gli studi e riferimenti sopra menzionati offrono una panoramica delle attuali fonti di maggiore rilievo presenti in letteratura sulla tematica del vertical farming.

L'obiettivo del questionario realizzato per tale elaborato risulta comprendere qual è il livello di conoscenza del vertical farming tra i consumatori italiani, qual è il loro interesse per la sostenibilità ambientale, tema chiave nel vertical farming e le principali abitudini nel processo d'acquisto.

#### 7.4.1 TIPOLOGIE DI INDAGINE

Esistono diverse tipologie di indagine che possono essere effettuate al fine di raccogliere informazioni; quindi, prima di giungere alla realizzazione del questionario, ci si è interrogati su quale fosse la modalità migliore per soddisfare l'obiettivo dei dati utili in questo lavoro di tesi.

Per raccogliere i dati dagli utenti, secondo quanto riportato in [39], sono possibili diverse modalità:

- ricerca di mercato, come indagini e questionari;
- focus group;
- diretta osservazione;
- scenario of use;
- use trials;
- product in use;
- customer user diaries;

- tecniche partecipative.

Il focus group è una tecnica che coinvolge un piccolo gruppo di consumatori, guidato da un facilitatore, per discutere del prodotto e dei bisogni ad esso associati, con registrazione audiovisiva da parte di un analista. Di solito, partecipano da 8 a 12 individui per garantire una dinamica di gruppo vivace e favorire il contributo di ciascun partecipante. L'obiettivo principale è raccogliere una vasta gamma di bisogni terziari. [39] Tuttavia, a causa dei costi associati alla logistica e agli sforzi del personale, questa modalità è stata esclusa in questo contesto; anche poiché l'obiettivo non era raccogliere bisogni, ma comprendere il livello di conoscenza e accettazione dell'argomento da parte della società.

L'osservazione diretta, variante dei focus groups, differisce dalla pura discussione di questi ultimi. Invece di centrarsi esclusivamente sulla conversazione, coinvolge i partecipanti attorno a un prodotto o prototipo. Il facilitatore stimola le discussioni concentrandosi sull'effettivo rapporto tra utenti e prodotto. Questo approccio è vantaggioso perché utenti non tecnici potrebbero trovare difficoltà nell'articolare verbalmente il loro utilizzo del prodotto. [39]

Tuttavia, questa modalità è stata esclusa, evitando l'interazione con un ipotetico prodotto da vertical farming. Questa scelta è motivata anche dal maggior dispendio di tempo e in linea con gli obiettivi specifici del questionario.

Lo scenario di utilizzo costituisce una tecnica che coinvolge i partecipanti nel ruolo di attori che seguono uno script specifico, come condurre un'azione. Questa simulazione di gioco di ruolo guida i partecipanti a concentrarsi su scenari d'uso considerati rilevanti. Al contempo, il gioco di ruolo può far emergere questioni in modo più vivace, portando ad esiti comici che approfondiscono ulteriormente l'analisi. [39]

Le prove d'uso rappresentano una tecnica in cui gruppi di utenti sono invitati a completare una sequenza di attività su prodotti o prototipi, seguite da interviste post-sessione. L'assenza di un'osservazione diretta durante la prova mette gli utenti a loro agio, garantendo spontaneità. [39] Tuttavia, questa mancanza di osservazione diretta limita significativamente la profondità delle informazioni raccolte.

La tecnica del product in use coinvolge l'analisi diretta del prodotto utilizzato in contesti reali da individui non informati, eventualmente supportata da registrazioni audiovisive. A causa di preoccupazioni legate alla privacy, ci sono limitazioni ovvie su quali prodotti e situazioni possono essere oggetto di osservazione. Questa metodologia risulta preziosa per scoprire "modalità d'uso" erronee che spesso non vengono segnalate. [39]

I clienti nel caso del "customer diaries" ricevono prodotti o prototipi e li utilizzano liberamente per un periodo. In cambio, sono tenuti a fornire feedback all'azienda. Le informazioni raccolte sono generalmente di natura superficiale, concentrandosi principalmente sulla segnalazione di difetti anziché sull'identificazione di bisogni. L'implicazione del cliente nel processo di sviluppo può raggiungere una profondità maggiore rispetto alla semplice individuazione di necessità di terziario. [39]

Le tecniche di design partecipativo costituiscono variazioni dei focus group, cercando il contributo creativo dei clienti, sollecitandoli a fornire idee, soluzioni e collegamenti tra il prodotto e concetti legati alla vita quotidiana. [39]

Secondo [39], le suddette metodologie consentono di acquisire una comprensione approfondita dei bisogni emersi spontaneamente dai partecipanti volontari. Tuttavia, va notato che queste tecniche comportano costi significativi e coinvolgono solamente una piccola percentuale di clienti. Di conseguenza, si evidenzia che tali metodologie risultano più vantaggiose quando l'obiettivo è raccogliere i bisogni dei clienti per migliorare un prodotto, il che si discosta dagli scopi di questo lavoro. Pertanto, emerge come più favorevole l'approccio proposto di utilizzare il questionario, indicato come la prima opzione nell'elenco.

In accordo a quanto affermato in [39], un questionario deve essere strutturato includendo una sezione sui dati demografici, che raccolga variabili descrittive associate ai partecipanti e rilevanti per l'analisi in corso. Esempi di tali variabili includono età, genere e reddito. Queste variabili possono anche essere utilizzate durante la convalida del dataset per verificarne l'aderenza alla popolazione generale o identificare eventuali distorsioni nelle risposte causate dal processo di indagine.

Inoltre, le domande sul "grado di importanza" sono di solito formulate in modo che i partecipanti possano esprimere il loro giudizio su una scala da 1 a 5 o da 1 a 7. Le etichette dovrebbero essere fornite solo per i valori estremi (ad esempio, "1" = per nulla importante e "5" = estremamente importante), mentre i valori intermedi non dovrebbero essere etichettati, a differenza di quanto accade in una scala Likert.

Infine, i questionari possono includere domande volte a stimare la volontà dei clienti di pagare per il prodotto oggetto di discussione.

Dunque, dopo aver discusso brevemente delle tecniche note per raccogliere dati, si conclude affermando che la tecnica più idonea, e quindi utilizzata per tale indagine, risulta essere il questionario, motivato anche per la sua facilità di diffusione.

#### 7.4.2 CREAZIONE DEL QUESTIONARIO

Il questionario proposto e diffuso risulta essere il seguente:

1. A quale fascia di età appartieni?
  - < 18
  - 18 – 24
  - 25 – 30
  - 31 – 39
  - 40 – 49
  - 50 – 59
  - 60 – 69
  - 70 – 80
  - > 80

2. Come ti identifichi dal punto di vista di genere?
- Uomo
  - Donna
  - Preferisco non specificarlo
  - Altro:
3. In quale regione d'Italia vivi?
- Abruzzo
  - Basilicata
  - Calabria
  - Campania
  - Emilia-Romagna
  - Friuli Venezia Giulia
  - Lazio
  - Liguria
  - Lombardia
  - Marche
  - Molise
  - Piemonte
  - Puglia
  - Sardegna
  - Sicilia
  - Toscana
  - Trentino-Alto Adige (Trentino-Südtirol)
  - Umbria
  - Valle d'Aosta
  - Veneto
4. Quanto sei interessato al tema della sostenibilità ambientale?
- 0 (per nulla)
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5(moltissimo, mi informo quotidianamente e adotto precauzioni per il rispetto del pianeta)
5. Hai mai sentito parlare di “vertical farming” o “agricoltura verticale”?
- Sì
  - No (se scegli “No” prosegui direttamente alla domanda 10)

6. Se hai risposto "Sì" alla domanda precedente, dove ne hai sentito parlare? (Puoi selezionare più opzioni)
- Sui social networks (Instagram, Facebook, Tik Tok, ..)
  - In televisione (es. Telegiornale)
  - Al supermercato
  - Discussioni in famiglia
  - Discussioni tra amici
  - Durante il mio percorso di studi (università)
  - Durante il mio percorso di studi (scuola superiore)
  - Altro:
7. Hai mai notato al supermercato un prodotto ottenuto tramite il vertical farming?
- Sì
  - No
8. Hai mai acquistato un prodotto coltivato in sistemi vertical farming?
- Sì
  - No
9. Se hai risposto "Sì" alla domanda precedente, quante volte hai comprato un prodotto derivato da vertical farming?
- Solo una volta
  - Qualche volta (2-10)
  - Da quando l'ho provato, acquisto abitualmente
10. Quando fai la spesa, tendi ad essere abitudinario nell'acquisto di prodotti oppure sei propenso a sperimentarne di nuovi?
- Abitudinario (prediligo acquistare prodotti che conosco)
  - Propenso a sperimentare nuovi prodotti
11. Quando valuti l'acquisto di un prodotto alternativo, quali dei seguenti "trigger" influenzano la tua decisione? (Puoi selezionare più opzioni)
- Prezzo competitivo
  - Nuove caratteristiche o funzionalità
  - Raccomandazioni da parte di amici o familiari
  - Promozioni o sconti speciali
  - Sostenibilità e pratiche eco-friendly
  - Esperienze positive pregresse con il marchio
  - Recensioni positive online
  - Curiosità nel provare qualcosa di nuovo
  - Altro:



12. Dopo aver letto la breve descrizione del vertical farming all'inizio del questionario, assumiamo che il prezzo medio per una confezione di prodotto da vertical farming sia 1,65€ per 80 grammi. Come reputi tale prezzo rapportato alla quantità e a tale modalità di produzione?
- Troppo caro, non lo acquisterei
  - Troppo caro, ma ne percepisco il valore e lo acquisterei
  - Adeguato, ma non lo acquisterei
  - Adeguato, mi suscita curiosità e lo acquisterei
13. Come valuti un prodotto che non cresce a contatto con il terreno e con la luce solare ma in un edificio con luce artificiale?
- Un prodotto artificiale, secondo me l'agricoltura deve fare uso del terreno
  - Un prodotto innovativo e migliore, che può essere una buona alternativa visto il cambiamento climatico, la scarsità di risorse e l'aumento della popolazione sulla Terra
  - Un prodotto al pari di quello derivato da agricoltura tradizionale
14. Solitamente dove acquisti frutta e verdura? (Puoi selezionare più opzioni)
- Al supermercato
  - Al mercato
  - Non acquisto nè al mercato nè al supermercato perchè possiedo un orto privato
  - Altro:
15. Durante il processo d'acquisto di frutta e verdura, quali sono i criteri di selezione che consideri? (Puoi selezionare più opzioni)
- Aspetto e colore
  - Origine e provenienza
  - Certificazioni biologiche
  - Prezzo
  - Sostenibilità ambientale
  - Marca o produttore di fiducia
  - Aspetti nutrizionali
  - Assenza di pesticidi
  - Assenza di pesticidi
  - Packaging del prodotto
  - Località di produzione
  - Stagionalità del prodotto
  - Confezionamento sostenibile
  - Esperienze passate di acquisto
  - Supporto a produttori locali
  - Valutazioni e recensioni degli altri consumatori
  - Altro:

16. Se ritieni che qualche argomento importante per la mia ricerca non sia stato affrontato nel questionario, puoi parlarne nello spazio sottostante. In caso contrario, puoi procedere e inviare il questionario.

Rispondi qui \_\_\_\_\_

17. Acconsento al trattamento dei dati personali. I dati raccolti saranno trattati in conformità alle leggi sulla privacy e nel rispetto del Decreto Legislativo 30 giugno 2003 n. 196, noto come "Codice in materia di protezione dei dati personali", e del Regolamento Europeo sulla Privacy UE 2016/679 (GDPR), garantendo l'anonimato dei partecipanti. I dati saranno conservati per un periodo necessario per il trattamento delle analisi statistiche e la promozione di materiale scientifico rilevante.

- Accetto i termini e condizioni sopra descritti

Come si può notare, il questionario include 17 quesiti, di cui 16 a risposta chiusa, e uno a risposta aperta.

Tra i 16, un quesito indica la presa visione dell'informativa sulla privacy, fondamentale affinché i rispondenti fossero a conoscenza dell'utilizzo dei dati soltanto per gli scopi di ricerca di tale elaborato.

Il questionario è stato somministrato alla popolazione italiana in un periodo temporale dal 7/12/2023 al 2/1/2024, con una modalità di diffusione mista: tramite i social networks quali Facebook, Instagram e LinkedIn, tramite passaparola condividendo il link del questionario direttamente a conoscenti, e inoltre tramite la creazione di un messaggio preimpostato contenente una breve introduzione dell'obiettivo del questionario e del presente elaborato, compreso inoltre del link al questionario, in modo tale che il messaggio potesse essere anche condiviso da chi aveva già ricevuto il link, in maniera indiretta.

Tale modalità ha permesso di ottenere un campione piuttosto consistente e affidabile, in quanto i rispondenti sono stati 286 per un totale di 15 domande, se si escludono dall'analisi la risposta aperta, inserita come opzione per commenti aggiuntivi, spunti e riflessioni dei rispondenti che avevano piacere, e la domanda utilizzata per l'informativa sulla privacy dei rispondenti.

### 7.4.3 PRESENTAZIONE DEI QUESITI

Di seguito verranno analizzati i quesiti uno ad uno, le scelte dietro alla struttura delle domande, ed eventuali criticità riscontrate in fase di analisi una volta chiuso il questionario.

I quesiti 1,2,3 sono stati inseriti per comprendere le informazioni sociodemografiche del rispondente, attraverso delle domande a risposta chiusa, con possibilità di selezionare una sola opzione.

Per quanto riguarda il quesito 2, relativo all'identificazione dal punto di vista di genere del rispondente, è stato ritenuto opportuno inserire tale quesito per capire se ci sono delle differenti tendenze tra uomo e donna; inoltre, per non far sentire nessun rispondente a disagio nella

compilazione, è stata prevista una terza opzione, in cui si poteva scegliere di rispondere “preferisco non specificare”, ma anche di poter aggiungere liberamente in “Altro” una quarta opzione.

In merito al quesito 3, circa la regione di residenza del rispondente, si è deciso di precisare che per studenti fuori sede ad esempio, era preferibile indicare la regione in cui trascorrono la maggior parte del tempo, questo perché l’obiettivo del questionario è la comprensione della conoscenza del campione di un determinato argomento, e si presuppone che tale conoscenza possa anche dipendere dal contesto in cui si vive, per poter effettuare successivamente analisi al fine di valutare trend tra la regione ed un’altra risposta.

La domanda 4, anch’essa a risposta chiusa, ha come obiettivo comprendere quanto il rispondente è interessato alla sostenibilità ambientale, tematica su cui si basa il vertical farming, al fine di comprendere successivamente se si presenta una relazione tra la risposta a tale quesito e la valutazione di un prodotto ottenuto con il vertical farming (quesito 10), dunque se si verifica incoerenza tra chi afferma di avere molto a cuore la sostenibilità e poi ritiene che un prodotto da vertical farming è artificiale in quanto l’agricoltura necessita esclusivamente del terreno.

Inoltre, per il quesito 4, si è deciso di adottare una scala da 0 a 5, e in accordo con quanto presentato in [39], ed è stata fornita una precisazione circa i due valori limite (0 e 5), indicandoli come 0 per nulla importante e 5 come molto importante. In particolare, si è deciso di introdurre anche il valore 0 per sottolineare in relazione alla domanda il totale disinteresse verso il tema argomento del quesito. Sempre in accordo con [39] i valori intermedi non sono stati etichettati. In fase iniziale di costruzione del questionario era stato ipotizzato di costruire una scala solo da 1 a 4, in modo da evitare di selezionare un’opzione intermedia (ad esempio il valore 3, nel caso di opzioni da 1 a 5), ma poi tale opzione è stata abbandonata poiché avrebbe portato magari ad indicare un valore più alto o più basso rispetto al reale interesse per la sostenibilità, mancando un valore intermedio.

La domanda 5 ha chiesto esplicitamente se il rispondente avesse mai sentito parlare di “vertical farming” o “agricoltura verticale”, con sole due opzioni, una di affermazione e una negazione tra cui scegliere, in modo da avere una chiara visione della conoscenza del tema, e poter fare così delle analisi che valutassero eventuali relazioni tra l’età e la risposta al quesito 5, oppure ancora tra la regione di residenza e la risposta al quesito 5.

Si ritiene opportuno sottolineare che per i rispondenti che hanno scelto l’opzione negativa è stato indicato di procedere alla domanda 10, non dovendo quindi rispondere alle domande dalla 6 alla 9. Tale scelta di costruzione del questionario non si è rivelata la migliore opzione, poiché non è stato previsto che molti avrebbero potuto non comprendere di dover lasciare in bianco le domande antecedenti la 10, e infatti alcuni rispondenti le hanno compilate, azione che si è dimostrata tra i criteri di pulizia del dataset, di cui si parlerà in seguito in modo più dettagliato.

Inoltre, nel quesito 5 in fase di costruzione è stato ritenuto opportuno inserire un’immagine esplicativa del vertical farming, in modo tale che fosse più chiara l’associazione del concetto ad un’azione.

Il quesito 6, correlato al quesito 5, ha richiesto di esplicitare per i coloro che hanno risposto “Sì” alla domanda 5, dove hanno sentito parlare di vertical farming. È stato possibile per i rispondenti

scegliere più di un'opzione e inoltre, qualora non fosse presente la categoria che avrebbero selezionato, hanno potuto inserire la loro opzione nel campo editabile "Altro".

A seguito delle discussioni emerse nelle interviste con le aziende di vertical farming in Italia e dopo essere andati personalmente nei supermercati per cercare i prodotti ottenuti con il vertical farming, è stato ritenuto consono comprendere quanti altri avessero notato tali prodotti all'interno dei supermercati. Questo per capire se c'è una relazione tra quanti hanno risposto di conoscere tale pratica ma poi che non abbiano mai notato alcun prodotto; di conseguenza sarebbe opportuno adottare strategie di marketing e di posizionamento dei prodotti in modo differente all'interno degli scaffali.

Procedendo, nel quesito 8 è stato chiesto di dire se è mai stato acquistato un prodotto coltivato tramite il vertical farming, con sola possibilità di risposta chiusa "Sì" o "No". Anche tale domanda è stata progettata per poter effettuare analisi tra la conoscenza del tema e l'acquisto. Successivamente è stato richiesto al quesito 9 di specificare, in caso di risposta affermativa al quesito 8, quante volte era stato effettuato tale acquisto, suddividendo le fasce tra una sola volta, un paio ed acquisto abituale.

Poiché il vertical farming è considerato una pratica colturale innovativa, è stato ritenuto opportuno comprendere se nel processo di acquisto i rispondenti hanno tendenza ad essere abituarini oppure se sono propensi alla sperimentazione di nuovi prodotti. Questo per poter verificare un'eventuale trend tra l'interesse verso il tema della sostenibilità, la conoscenza del tema e la propensione alla sperimentazione, ad esempio.

Di conseguenza, il quesito 11 ha chiesto di esplicitare i trigger che influenzano le decisioni di scelta di un prodotto alternativo durante il processo di acquisto dei consumatori. Tale domanda è stata poi successivamente resa più stringente al caso di frutta e verdura nel quesito 15.

In accordo con [39], è stato ideato un quesito che indagasse la disponibilità a pagare dei consumatori per un prodotto derivato da vertical farming. Poiché era interessante che tutti i rispondenti (anche chi ha dichiarato di non conoscere il vertical farming) esprimessero un giudizio, è stata inserita come introduzione al questionario una breve spiegazione, chiedendo poi nel quesito 12 di dire come avrebbero valutato un determinato prezzo medio per una determinata confezione di prodotto.

Procedendo, è stato chiesto esplicitamente di indicare come viene valutato un prodotto che non cresce a contatto con il terreno, questo per capire se le questioni emerse dalle interviste, come la disinformazione e il pregiudizio del consumatore, potessero in qualche modo limitare l'acquisto di tale prodotto, per affidarsi solamente alla pratica dell'agricoltura tradizionale.

Infine, è stato chiesto di indicare dove avviene principalmente l'acquisto di frutta e verdura, poiché a seguito delle interviste è emerso che gran parte delle aziende riforniscono supermercati ed è lì che è più facile acquistare tale prodotto.

In fase di costruzione del quesito 14 però è stato effettuato un errore, in quanto esso era a possibilità di selezionare più opzioni e le alternative erano: al supermercato, al mercato, non acquisto né al mercato né al supermercato perché possiedo un orto privato. Quest'ultima opzione era da inserire

semplicemente come “possiedo un orto privato” in quanto, infatti, molti rispondenti hanno risposto sia l’opzione 1 che la 3 ad esempio. Tale dilemma è stato risolto in fase di analisi con semplicità, convertendo poi l’opzione “non acquisto né al mercato né al supermercato perché possiedo un orto privato” in “orto privato”. Verrà approfondito meglio il discorso successivamente, quando saranno trattate le operazioni effettuate per la pulizia e il controllo del dataset.

Infine, è stato ritenuto opportuno inserire una domanda aperta con risposta opzionale, che lasciasse la possibilità ai rispondenti di inserire un breve commento, uno spunto di riflessione o un qualsiasi elemento di confronto sul tema.

Le risposte ottenute hanno dato la possibilità di comprendere che molti non hanno ancora chiaro che il vertical farming non è paragonabile al discorso bio e quali sono le modalità di acquisto dei prodotti, in quanto probabilmente ancorati al concetto di contadino e azienda agricola tradizionale.

In tale risposta alcuni rispondenti hanno suggerito alle aziende di puntare alla promozione dei prodotti per sensibilizzare i consumatori, elemento che indica la conferma della loro mancata presenza nei luoghi di acquisto o la mancanza di adeguata pubblicità.

È stato inoltre indicato che il packaging di prodotti derivati da vertical farming non è indicativo e distintivo di quello che si sta comprando, non aiutando quindi il consumatore a distinguere il prodotto da quello tradizionale. Questa constatazione è stata effettuata da più di un rispondente, a titolo del fatto che non tutti i supermercati presentano adeguata pubblicità e informazione, come ad esempio promoter nei giorni di maggiore affluenza.

A seguito del fatto che sono state effettuate visite a diversi supermercati di Torino, si può affermare che la differenza con un prodotto ottenuto tradizionalmente è presente, questo perché il packaging è spesso in carta (e questo si differenzia dal prodotto tradizionale), oppure si presenta in piantine con ancora le radici vive, o ancora sono presenti cartelli che indicano un prodotto nuovo. D’altra parte, è corretto affermare che tali elementi sono stati notati in quanto persona informata sul tema, dunque la pubblicità e l’informazione dovrebbero essere un canale su cui lavorare di più per far sì che non si crei disinteresse e disinformazione.

È stato inoltre detto che non viene citato il consumo energetico per la crescita delle piante, elemento che è stato omissso poiché questo è un aspetto negativo lato imprese e che esse stanno cercando sempre più di risolvere e abbattere tali costi affidandosi a partner tecnologici competenti, con l’obiettivo di diminuire anche i costi dei prodotti per i consumatori.

È stato infine dichiarato che purtroppo per quanto si è interessati all’acquisto di prodotti innovativi, spesso questi hanno un costo troppo elevato che non permette alle famiglie comuni di preferirlo rispetto ad un altro prodotto. Come conclusione, si sottolinea da un rispondente che manca una normativa che descriva il prodotto ottenuto in vertical farming e quindi che agli occhi del consumatore possa far indietreggiare sulla scelta, ritenendo che il prodotto sia stato sottoposto a minori controlli rispetto ad un prodotto bio o tradizionale.

Questo spazio è stato valutato positivamente perché ha permesso di comprendere alcuni pareri senza che essi fossero guidati da risposte chiuse, seppur non sia possibile nel momento di analisi effettuare una su tale domanda, si ritengono sufficienti gli elementi appena discussi singolarmente.

A seguito della somministrazione del questionario e della ricezione delle risposte da parte di un numero cospicuo di individui, è stato possibile tabulare tutti i dati ottenuti: il dataset così ricavato contava originariamente 286 righe, valore pari al numero effettivo di rispondenti. Partendo da tale dataset, è stato necessario procedere mediante un'operazione di pulizia, in maniera tale che le risposte prive di coerenza e quelle poco attinenti o realistiche non andassero ad influire sull'analisi che si sarebbe dovuta compiere, partendo dai dati ottenuti mediante l'indagine di mercato effettuata.

Di seguito, dunque, verranno riportati i criteri di cui ci si è serviti al fine di operare la pulizia sopra menzionata, che ha consentito di eliminare 18 record e quindi di mantenerne 268:

- Coloro che hanno risposto "No" al quesito 5, e come detto in tale domanda avrebbero dovuto lasciare in bianco le domande dalla 6 alla 9, e che invece le hanno compilate. Da 286 rispondenti, si è arrivati a considerarne validi 271 con tale criterio di pulizia.
- Coloro che hanno risposto "No" al quesito 8 e che di conseguenza non avrebbero dovuto compilare il quesito 9, in tal caso da 271 siamo a 269 rispondenti.
- Eliminazione manuale di una riga, in quanto era evidente che il rispondente avesse risposto in modo non consono, poiché in un quesito con possibilità di aggiungere "Altro" in modo editabile, ha inserito commenti circa l'inesistenza del concetto di biologico, ignorando il fatto che il questionario non citasse in alcun modo prodotti bio; si è dunque pensato che abbia compilato tutto in funzione di tale considerazione, mancando di attenzione nella fase di descrizione iniziale del tema.

In conclusione, il dataset su cui si basano le analisi è costituito da 268 rispondenti complessivi.

Successivamente è stato necessario uniformare i record delle domande a risposta multipla, i quali avevano anche la peculiarità di contenere l'opzione "Altro" in cui i rispondenti potevano inserire liberamente un'opzione non presente tra quelle proposte.

Le domande in questione si riferiscono ai quesiti 6,11,14,15.

In particolare, si è proceduto nel seguente modo per ognuno di questi quesiti:

- Creazione di un foglio excel dedicato a lavorare sul singolo quesito.
- Nel foglio, la risposta multipla di ogni rispondente, presentata nel dataset come opzioni separate da una virgola sulla medesima riga, è stata divisa in tante righe quante erano le opzioni selezionate. Questo è stato necessario perché le eventuali opzioni "Altro" erano scritte in modalità differenti per ogni rispondente, ed è stato necessario uniformarle qualora due risposte avessero medesimo contenuto ma scritto in maniera diversa.
- In tal modo, il foglio excel presentava quindi molteplici righe per lo stesso rispondente.
- Attraverso l'opzione "filtra" sono state filtrate le differenti opzioni, in modo da poter selezionare quelle che si è ritenuto potessero essere accorpate in un nuovo record, come se fosse un'opzione selezionabile della domanda.

A titolo di esempio si cita quanto effettuato sul quesito 14, che risulta il più immediato.

Il quesito chiedeva di indicare dove il consumatore effettua principalmente l'acquisto di frutta e verdura, con possibilità di selezionare più opzioni tra le seguenti proposte:

- Al supermercato
- Al mercato
- Orto privato
- Altro:

Molti rispondenti hanno inserito in "Altro" differenti varianti del concetto di fruttivendolo, quali verduriere, verduraio, negozio di frutta e verdura, e fruttai. Dunque, è stato filtrato per tutto il foglio le righe contenenti tutte queste varianti e sono state uniformate con il record "fruttivendolo". Allo stesso modo si ha operato con gli altri quesiti 6,11,15.

Questo ha permesso di ridurre i record ed evitare che ci fossero percentuali basse di scelta per differenti record che in realtà significano la medesima espressione.

Dopo aver effettuato ciò, è stato necessario inserire nuovamente tutte le opzioni scelte da ogni rispondente in una sola riga, ottenendo quindi come in fase iniziale la corrispondenza 1:1 tra rispondente e risposta.

Successivamente è stato codificato ogni quesito, ovvero passare da risposte in stringhe a risposte con un valore numerico. Tale passaggio indica lo switch da dataset a database. Nel caso di domande a risposta chiusa con un'opzione sola selezionabile è stata inserita una colonna nel foglio Excel accanto al quesito di riferimento, e creata una funzione di codifica ad hoc.

A titolo di esempio, si nota in figura 44 quanto effettuato con il quesito 2.

La funzione che è stata creata è la seguente:

```
=PIÙ.SE(E2="Uomo"; 1; E2="Donna";2; E2="Preferisco non specificarlo"; 3)
```

Dove E2 indica la cella in cui è presente l'identificazione di genere in stringhe; quindi, la funzione assocerà un numero ad ogni opzione del quesito.

È bene precisare che, per il software PowerBI usato nella realizzazione dei grafici, tale conversione poteva essere comunque omessa in caso di quesiti a risposta singola, ma non per quelli a risposta multipla. Si è deciso di effettuare in tutti i quesiti tale procedimento in modo da poter usare con flessibilità anche Excel qualora fosse necessario, che invece richiedeva la conversione.

E	F
2. Come ti identifichi dal punto di vista di genere?	2. Come ti identifichi dal punto di vista di genere?
Donna	2
Donna	2
Donna	2
Donna	2
Donna	2
Uomo	1
Donna	2
Donna	2
Donna	2
Uomo	1
Donna	2
Uomo	1
Uomo	1

Figura 44: Screenshot foglio Excel passaggio dataset- database di un quesito

Per quanto riguarda le domande a risposta multipla, infatti, questa operazione è stata leggermente differente; di seguito viene mostrato quanto effettuato per il quesito 14, già menzionato precedentemente a titolo di esempio. (figura 45)

14. Solitamente dove acquisti frutta e verdura?	14 Al mercato	14 Al supermercato	14 Orto privato	14 Fruttivendolo	14 Contadino/Azienda agricola
Al mercato, Al supermercato, Orto privato	1	1	1	0	0

Figura 45: Screenshot foglio Excel passaggio dataset- database di un quesito a risposta multipla

Si nota in figura 45 che il rispondente ha indicato di effettuare la spesa “Al mercato, Al supermercato e attraverso un orto privato”. Quindi è stato necessario spezzare le risposte, per poter codificare se ognuna delle opzioni era stata selezionata.

Si è utilizzata la seguente funzione, per verificare ad esempio se fosse presente l’opzione “Al mercato”: `SE(VAL.NUMERO(TROVA("Al mercato";$A$2));1;0)`

In particolare, nel caso in cui tale opzione è stata trovata, è stato indicato nella cella il valore 1, viceversa il valore 0.

Grazie a ciò è stato possibile effettuare i grafici relativi a tali risposte multiple, poiché se tale passaggio non fosse stato effettuato, il software utilizzato per i grafici, avrebbe interpretato ogni riga come una differente opzione, e quindi in un grafico a barre, sarebbe stata una barra a sé l’opzione “Al mercato, Al supermercato, Orto privato” invece che poter effettuare il contatore di quanti hanno risposto mercato, supermercato e orto privato in modo indipendente.

Arrivati a tale punto, si è proceduto con la creazione di grafici per poter condurre l’analisi.

I grafici realizzati interessano sia la rappresentazione sul totale di ogni opzione per ogni quesito, sia una rappresentazione tra coppie di quesiti e il numero di rispondenti complessivi.

Per la realizzazione di tali grafici è stato utilizzato in parte Microsoft Excel, ma soprattutto PowerBI.

Per quanto riguarda il primo quesito, originariamente erano previste risposte per tutte le fasce di età. Tuttavia, durante la fase di pulizia del dataset, le risposte relative alla fascia di età 70-80 sono state eliminate. Inoltre, erano presenti le fasce d'età "<18" e ">80", ma i rispondenti in queste fasce erano minimi. Presumibilmente, la fascia “< 18” a causa di una bassa diffusione del questionario in tale fascia d'età e la fascia “>80” a causa delle modalità di diffusione non consone alle abitudini degli



anziani (telefoni cellulari, computer, tablet). Pertanto, si è scelto di accorpare la fascia "<18" a quella successiva, ovvero la fascia "18-24", rinominata in "<25". La stessa procedura è stata adottata per la fascia ">80", accorpata alla fascia precedente (ricordando che non esiste una fascia "70-80"), diventando quindi "59+".

#### 7.4.4 ANALISI DELLE RISPOSTE DEL CAMPIONE

Dall'analisi del grafico a torta che rappresenta la distribuzione delle fasce d'età dei rispondenti, emerge che le percentuali sono abbastanza uniformi, con l'eccezione della fascia "59+", che rappresenta il 6,72% del totale. La percentuale maggiore, pari al 22,01%, è attribuita a coloro che hanno tra 25 e 30 anni, seguiti immediatamente dai minori di 25 anni. (figura 46)

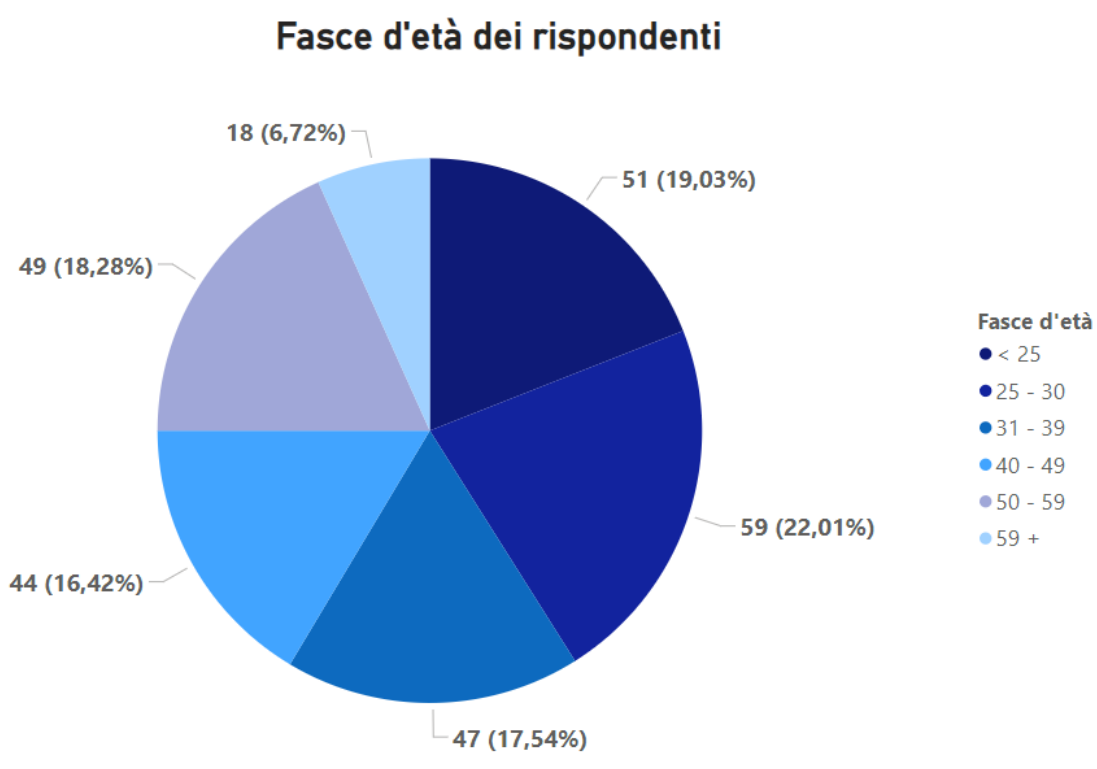


Figura 46: Rappresentazione fasce d'età dei rispondenti

In merito all'identificazione di genere dei rispondenti, come si nota nel grafico in figura 47, il 63,43% di risposte femminili indica una partecipazione significativamente più alta delle donne rispetto agli uomini. La maggior partecipazione delle donne potrebbe essere attribuita a diversi fattori, tra cui l'azione di passaparola o il coinvolgimento di reti sociali specifiche.

È importante notare che questa differenza potrebbe non riflettere necessariamente un disinteresse da parte degli uomini nei confronti del questionario, ma piuttosto una dinamica di partecipazione che ha favorito il coinvolgimento femminile.

Il fatto che ci sia stata una percentuale di rispondenti diversa da 0 che abbia optato per l'opzione "preferisco non specificare" fa sì che si rifletta sempre più sul tema dell'inclusione.

## Identificazione di genere dei rispondenti

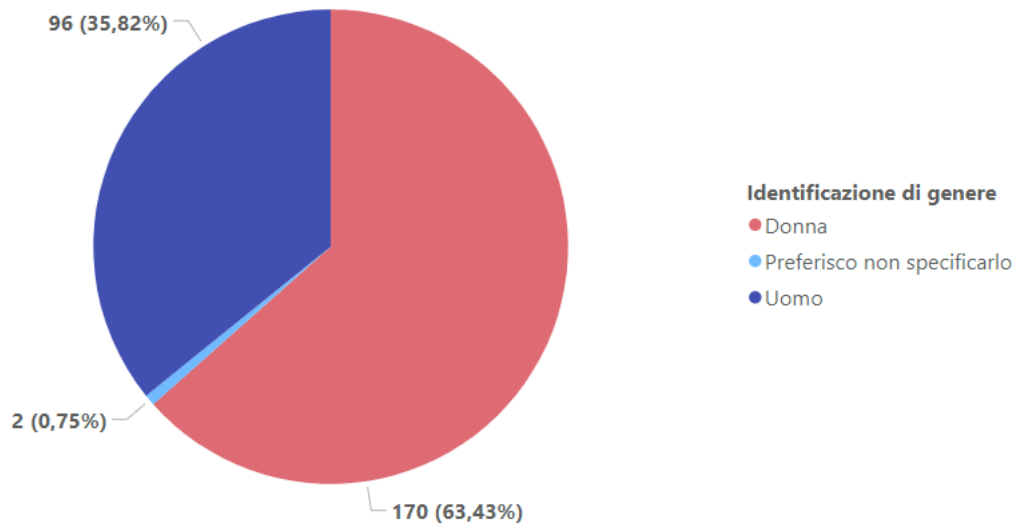


Figura 47: Rappresentazione identificazione di genere dei rispondenti

Le regioni italiane raggiunte risultano 18 su 20 totali, riscontrando una mancanza di risposte dall'Umbria e dalla Basilicata. La mancanza di copertura in queste due regioni potrebbe essere attribuita alla limitata diffusione del passaparola, anche considerando la distanza geografica, che potrebbe aver influenzato la conoscenza e la partecipazione delle persone.

È evidente che la percentuale più elevata di partecipazione proviene dal Piemonte, il che era prevedibile dato che il questionario ha avuto origine in questa regione, e gran parte dei contatti diretti per la diffusione erano concentrati qui. La Lombardia segue al Piemonte, riflettendo la sua attività nell'innovazione e la presenza significativa di aziende di vertical farming. (figura 48)

Le percentuali più basse sono riscontrate in Valle d'Aosta, Sardegna, Abruzzo, Calabria, Marche e Molise. Queste differenze potrebbero essere dovute a vari fattori, come la densità di popolazione, l'interesse per l'argomento del questionario o la diffusione delle informazioni nelle diverse regioni.

## Regione italiana in cui vivono i rispondenti

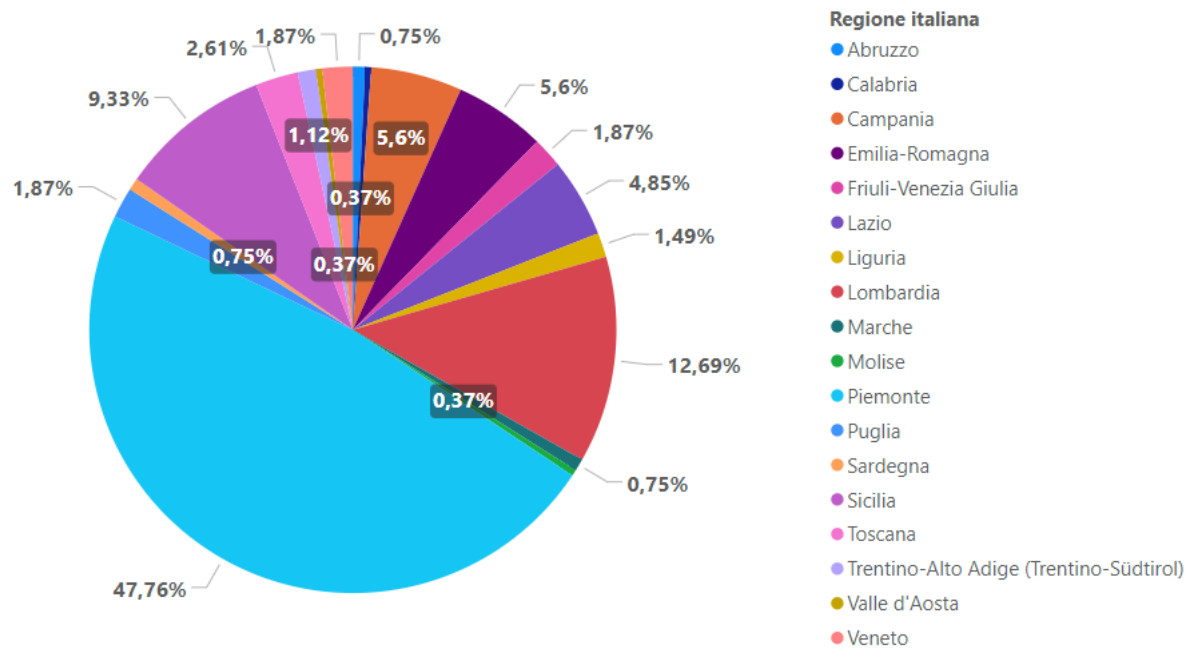


Figura 48: Rappresentazione regioni di residenza dei rispondenti

La figura 49 mostra i dati del quesito 4, relativo all'interesse dei rispondenti sul tema della sostenibilità ambientale su una scala da 0 a 5. L'interesse per il tema è stato rappresentato con una scala di colori dal più chiaro (attribuibile ad un interesse 0) al più scuro (attribuibile al valore 5, il massimo), e il grafico fornisce alcune osservazioni significative:

- L'interesse generale risulta essere significativamente elevato, con il 32,46% degli intervistati che ha indicato il massimo punteggio di 5 e il 33,96% che ha scelto l'opzione 4. Questo suggerisce una forte propensione dei partecipanti nell'interesse per il tema della sostenibilità ambientale.
- Solo lo 0,37% dei rispondenti ha dichiarato un interesse nullo (punteggio 0), indicando che la vasta maggioranza dei partecipanti mostra almeno un minimo di interesse nei confronti della sostenibilità ambientale.
- Una nota interessante è la percentuale relativamente più bassa rispetto agli altri valori (27,24%) di rispondenti che hanno indicato un interesse medio (punteggio 3). Questo si discosta da una tendenza comune in cui le fasce intermedie ricevono una percentuale più elevata.

## Interesse dei rispondenti per la sostenibilità ambientale

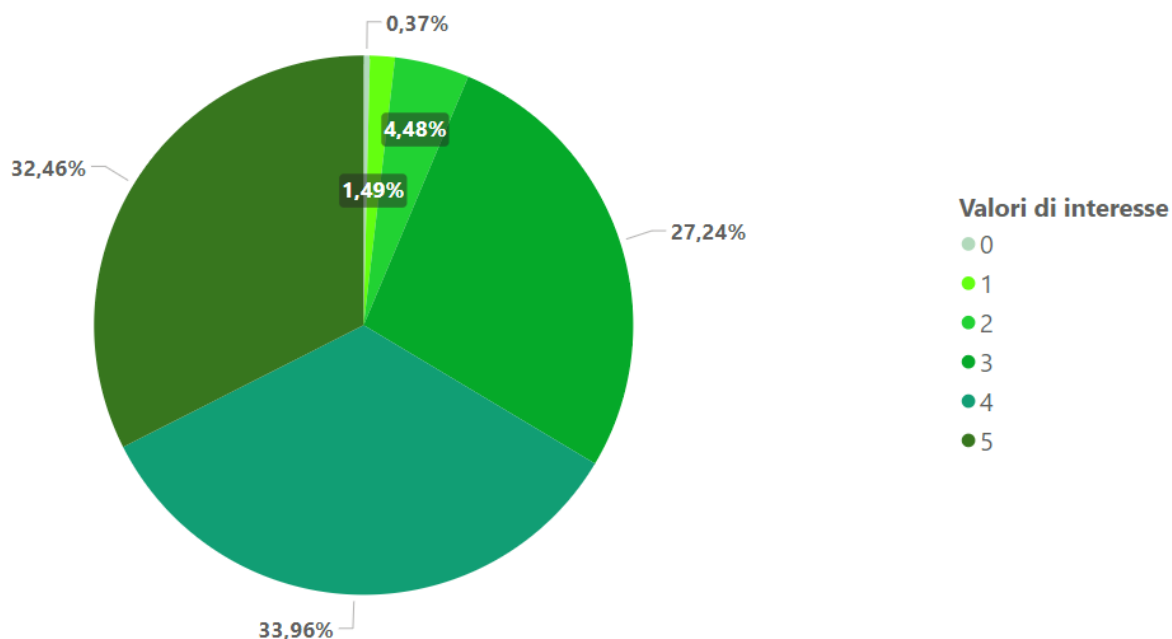


Figura 49: Rappresentazione dell'interesse per la sostenibilità ambientale dei rispondenti

Analizzando i dati del quesito 5 (figura 50), che indaga la conoscenza dei rispondenti riguardo al concetto di vertical farming o agricoltura verticale, si nota che 68,28% dei rispondenti ha affermato di aver sentito parlare di vertical farming. Questo suggerisce un livello di consapevolezza significativo tra la maggioranza dei partecipanti rispetto a questo metodo di coltivazione. Tuttavia, il 31,72% dei rispondenti non è a conoscenza di cosa sia il vertical farming o non ne ha mai sentito parlare. Questa percentuale rappresenta una parte significativa del campione e potrebbe essere utile esplorare ulteriormente le ragioni di tale mancanza di consapevolezza.

## Conoscenza del "vertical farming" tra i rispondenti

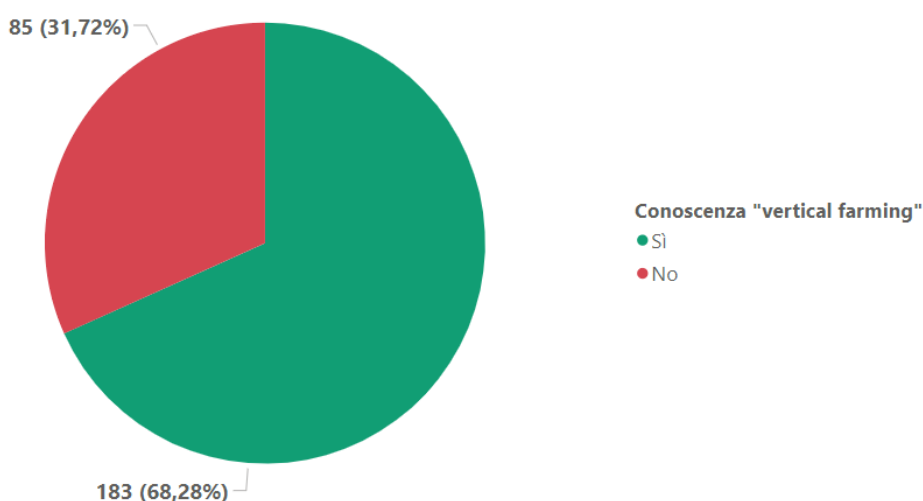


Figura 50: Rappresentazione conoscenza del vertical farming tra i rispondenti

I dati relativi alla modalità attraverso cui i rispondenti dichiarano di aver appreso informazioni circa il vertical farming, sono visibili in figura 51. Risulta che le modalità più comuni sono i social networks (97 risposte) e la televisione (85 risposte): questo suggerisce l'importanza dei media tradizionali e dei canali online nella diffusione di informazioni su tale argomento.

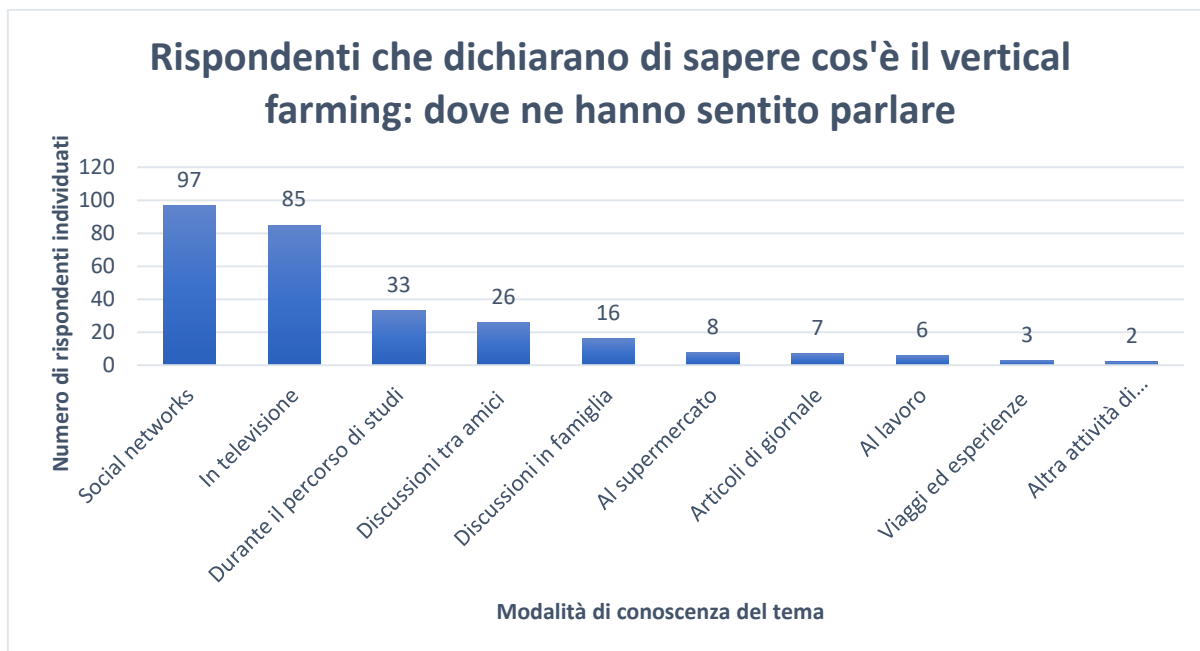


Figura 51: Rappresentazione modalità di conoscenza del vertical farming dei rispondenti

Sempre relativamente alla figura 51, un numero significativo di risposte indica che il percorso di studi e le discussioni tra amici e in famiglia sono state modalità importanti attraverso cui i rispondenti sono venuti a conoscenza del vertical farming. Ciò suggerisce che l'educazione e le conversazioni personali giocano un ruolo significativo nell'approfondire la consapevolezza sul tema. Altre fonti includono gli articoli di giornale e le informazioni reperite al supermercato. Ciò suggerisce che le informazioni sul vertical farming sono anche diffuse attraverso canali di comunicazione tradizionali e quotidiani, contribuendo a raggiungere un pubblico più ampio.

È importante notare che la somma delle risposte, visibile in figura 51 sopra ad ogni colonna, supera il numero totale di rispondenti, poiché ciascun partecipante poteva scegliere più di una modalità (opzione di risposta multipla del quesito).

Proseguendo, osservando la figura 52, si nota che solo il 13,66% dei rispondenti che hanno dichiarato di aver sentito parlare di vertical farming, ha avvistato prodotti derivati da tale pratica al supermercato. Questo valore relativamente basso suggerisce che c'è margine di miglioramento per quanto riguarda la pubblicità e la promozione dei prodotti di vertical farming presso i supermercati. Dunque, la bassa percentuale potrebbe indicare che i prodotti derivati da vertical farming non sono ancora sufficientemente visibili o presenti nei supermercati frequentati dai rispondenti.

### Rispondenti che hanno dichiarato di conoscere il vertical farming: notare al supermercato prodotti da VF

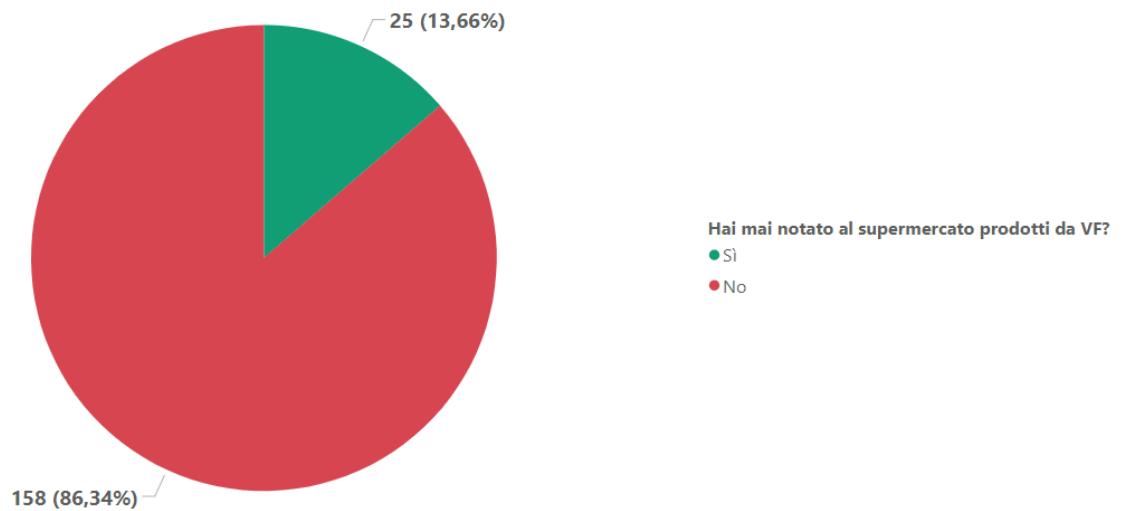


Figura 52: Rappresentazione avvistamento di prodotti da VF nei supermercati tra i rispondenti

Proseguendo nell'analisi, come evidenziato nella figura 53, tra coloro che affermano di conoscere il vertical farming, e di aver notato un prodotto derivato da vertical farming al supermercato (su un totale di 25 rispondenti), 16 dichiarano di aver effettivamente tentato l'acquisto.

### Rispondenti che hanno dichiarato di conoscere il VF e hanno notato prodotti VF: acquisto di prodotti da vertical farming

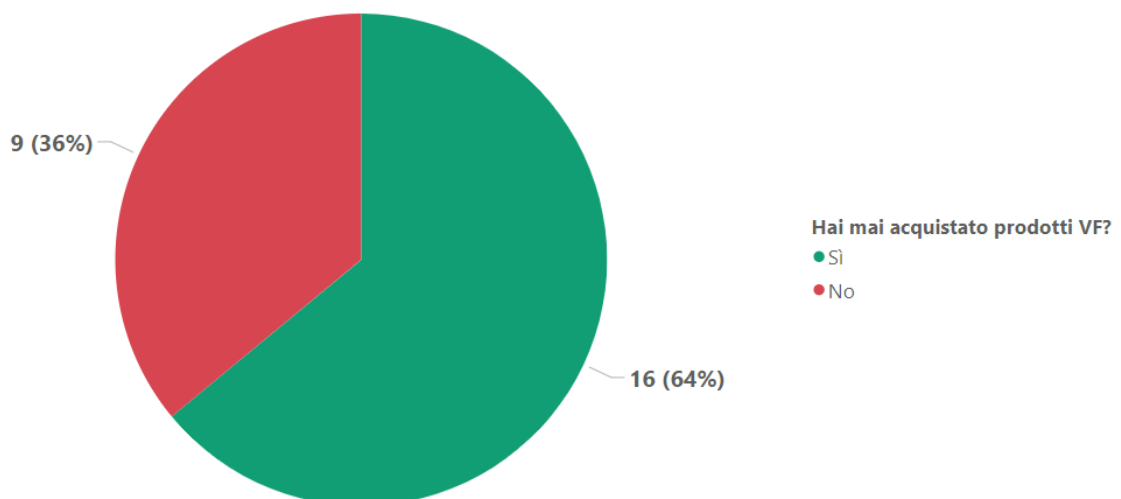


Figura 53: Rappresentazione acquisto di un prodotto da VF tra i rispondenti

Inoltre, l'analisi dei dati rispetto a quanto mostrato nel grafico sottostante (figura 54) indica che tra coloro che hanno dichiarato di aver acquistato un prodotto ottenuto con il vertical farming (16 rispondenti), il 68% di questi ha acquistato i prodotti "qualche volta".

Questo suggerisce una certa frequenza nelle scelte d'acquisto, indicando che la maggioranza degli acquirenti ha sperimentato il vertical farming più di una volta. Il 20% ha affermato di aver acquistato solo una volta un prodotto di vertical farming. Questo potrebbe indicare che una parte significativa degli acquirenti ha fatto un tentativo sporadico di prodotti derivati da vertical farming, ma non ha continuato ad acquistare con regolarità.

Solo il 12% degli acquirenti ha dichiarato di fare acquisti abituali di prodotti di vertical farming, tale percentuale anche se non elevata potrebbe indicare che, al momento dell'indagine, una minoranza di consumatori ha integrato abitualmente tali prodotti nella propria dieta o abitudini d'acquisto.

La bassa percentuale di acquisti abituali da vertical farming potrebbe essere influenzata da diversi fattori, come la disponibilità limitata dei prodotti, la mancanza di familiarità, il prezzo, le preferenze personali dei consumatori. Migliorare la consapevolezza e l'accessibilità, oltre a comunicare i benefici del vertical farming, potrebbe contribuire ad aumentare la frequenza degli acquisti abituali. (figura 54)

#### Rispondenti che dichiarano di aver acquistato prodotti vertical farming: frequenza di acquisto

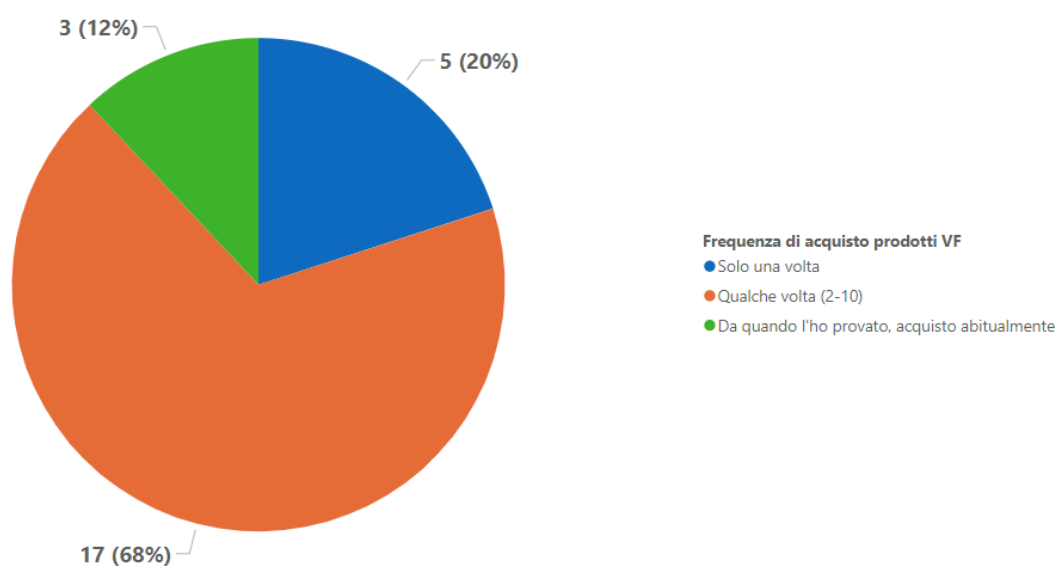


Figura 54: Rappresentazione frequenza di acquisto prodotti da VF dei rispondenti

Il dato che si nota nella figura successiva (figura 55), invece, esprime le preferenze dei consumatori nel processo d'acquisto: il 54,48% dei rispondenti complessivi dichiara di essere propenso a provare nuovi prodotti. In generale, questo dato suggerisce un'opportunità positiva per l'introduzione e la promozione di nuovi prodotti derivati dal vertical farming, poiché un'ampia percentuale di consumatori sembra essere aperta alla sperimentazione e all'innovazione nel campo alimentare.

Inoltre, una percentuale così elevata potrebbe riflettere una mentalità aperta e curiosa tra i consumatori; sintomo di predisposizione positiva verso l'innovazione e la volontà di sperimentare nuovi prodotti, compresi quelli derivati dal vertical farming.

Anche campagne di marketing efficaci, comunicazioni chiare sui benefici dei prodotti e informazioni sulla sostenibilità del vertical farming potrebbero influenzare positivamente la propensione dei consumatori a provare nuovi prodotti. Una comunicazione efficace può creare consapevolezza e generare fiducia nei consumatori.

Tuttavia, è importante considerare che domande di questo tipo potrebbero influenzare il rispondente, inducendolo a optare per l'opzione di sperimentazione percepita come la più favorevole. In tal modo, la statistica potrebbe non riflettere completamente la reale propensione dei partecipanti, ma potrebbe essere influenzata dalla formulazione della domanda stessa.

### Preferenze d'acquisto dei rispondenti: Abitudine vs. Sperimentazione

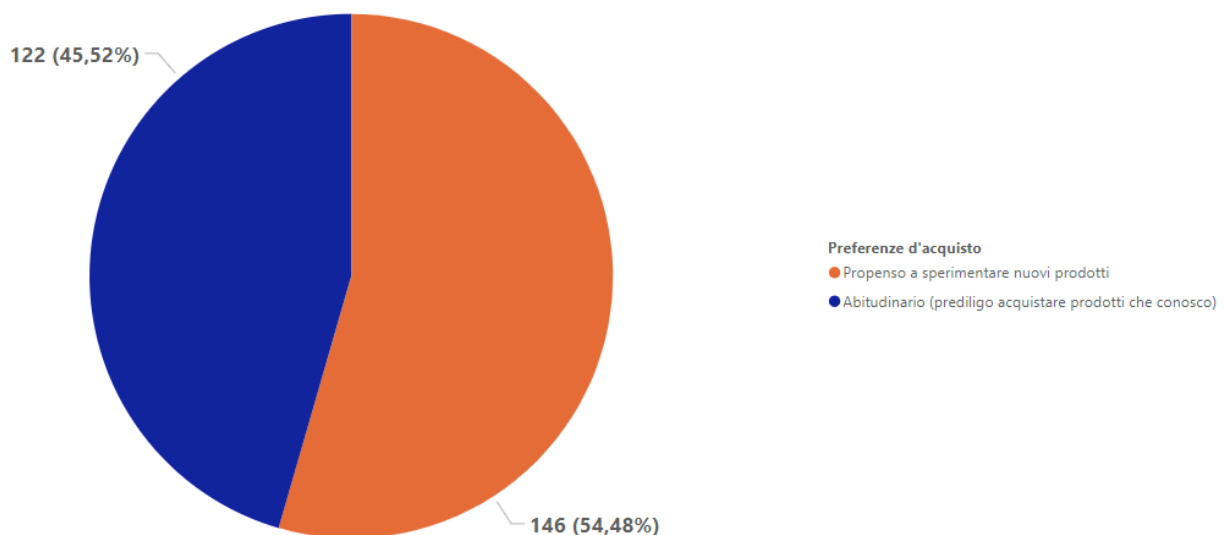


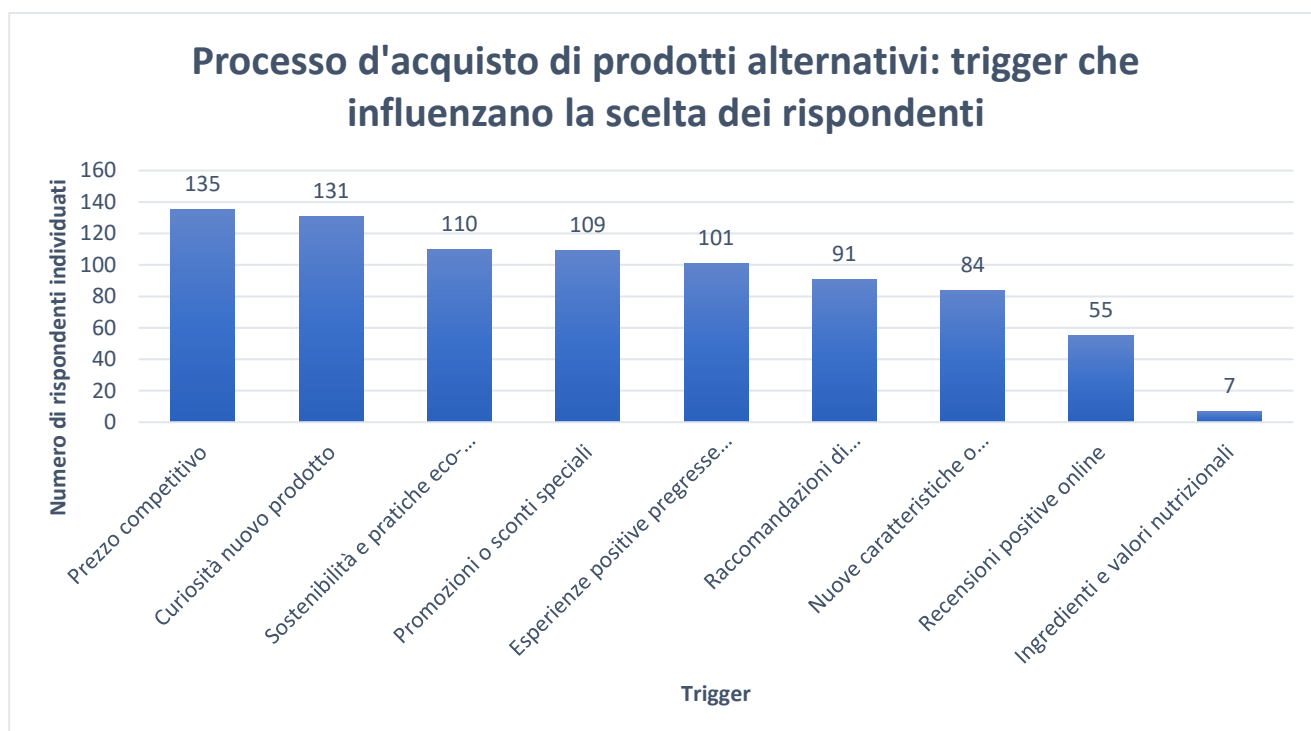
Figura 55: Rappresentazione preferenze d'acquisto dei rispondenti

È stata rappresentata nel grafico a barre sottostante (figura 56), la preferenza dei trigger che influenzano principalmente il consumatore nell'acquisto di un prodotto alternativo.

Il grafico (figura 56) rivela un interessante equilibrio tra diverse motivazioni: la quasi parità tra il desiderio di un prezzo competitivo e la curiosità nel provare un nuovo prodotto suggerisce che i consumatori sono motivati sia da considerazioni economiche che da una propensione all'esplorazione e all'innovazione. Seguono poi la particolare attenzione agli sconti, alle promozioni e alla sostenibilità ambientale; tali scelte riflettono la sensibilità dei consumatori nei confronti di offerte vantaggiose e della responsabilità ambientale. La dichiarata volontà di acquistare un prodotto a causa della conoscenza del marchio e delle raccomandazioni di persone fidate sottolinea l'importanza della fiducia e della familiarità nelle decisioni d'acquisto.

La decisione di adottare un grafico a barre risulta adeguata in questo contesto poiché il quesito richiedeva risposte multiple. Tale tipo di grafico permette una rappresentazione chiara e senza sovrapposizioni della distribuzione percentuale di ciascuna opzione, facilitando la comprensione delle diverse motivazioni espresse dai partecipanti all'indagine.





**Figura 56: Rappresentazione trigger che influenzano l'acquisto di prodotti alternativi dei rispondenti**

È stato interessante anche comprendere il parere dei consumatori circa un prezzo medio di una confezione di prodotto (tipicamente insalata) derivato da vertical farming.

Il prezzo è stato stimato sulla base dei prezzi sul mercato nel mese di dicembre 2023. Come si nota nel grafico (figura 57), un significativo 37,31% dei partecipanti dichiara che il prezzo è adeguato, e sarebbero propensi ad acquistare il prodotto. Questo indica una buona accettazione del prezzo da parte di una quota consistente della popolazione intervistata. Un ulteriore 34,70% degli intervistati ritiene il prezzo troppo elevato, ma percependo il valore del prodotto, sarebbero comunque disposti a effettuare l'acquisto. Questo dato suggerisce che la qualità percepita del prodotto potrebbe superare le considerazioni sul prezzo. La presenza di una considerevole percentuale di intervistati disposti a fare l'acquisto nonostante le perplessità sul prezzo è un indicatore positivo per la previsione futura della domanda. Tuttavia, è importante considerare approcci strategici per gestire le percezioni di prezzo e comunicare il valore del prodotto.

Il 16,79% dei partecipanti in figura 57 dichiara che il prezzo è troppo alto e, di conseguenza, non effettuerebbe l'acquisto. Sebbene questa percentuale sia significativa, il fatto che una quota maggiore del campione, consideri il prezzo elevato ma ancora acquistabile indica una possibile apertura al prodotto con strategie di pricing o comunicazione mirate.

### Percezione del prezzo di una confezione di prodotto ottenuto in vertical farming: 1,65€/80g

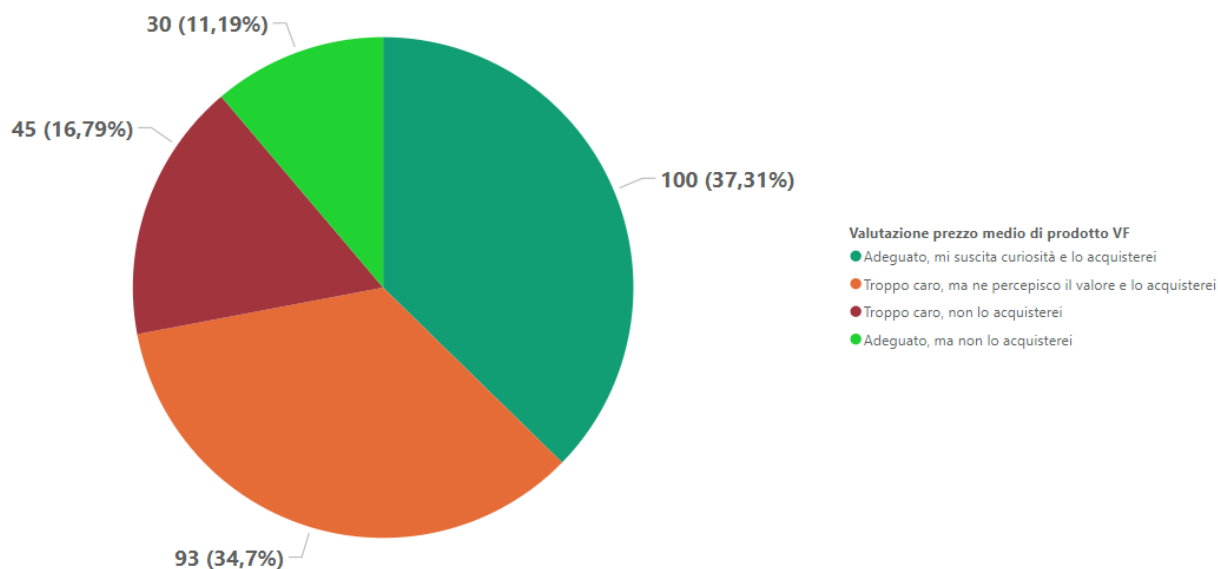


Figura 57: Rappresentazione percezione del prezzo di un prodotto da VF dei rispondenti

Giunti a questo punto, dopo aver chiesto come un prodotto derivato da vertical farming è valutato dal punto di vista del prezzo, è interessante anche comprendere come è valutato dal punto di vista della qualità in confronto ad un prodotto ottenuto con agricoltura tradizionale. Come si può notare in figura 58, circa il 50% dei partecipanti valuta il prodotto derivato da vertical farming come innovativo e migliore rispetto al prodotto tradizionale. Questa percezione positiva suggerisce un'apertura nei confronti delle nuove pratiche agricole e la volontà di abbracciare prodotti innovativi.

### Prodotto da agricoltura tradizionale vs vertical farming: valutazione dei rispondenti

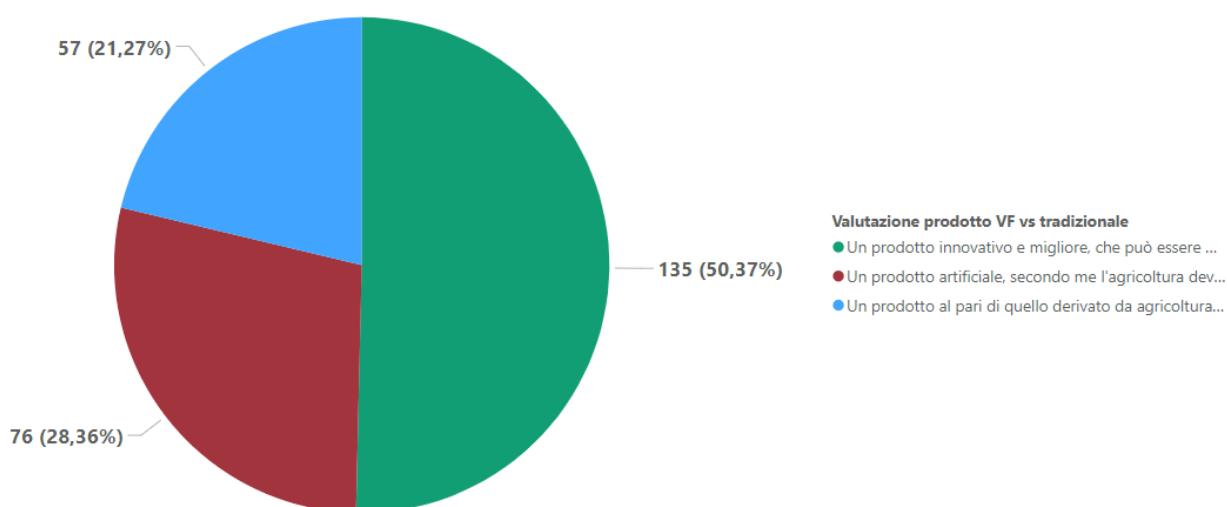


Figura 58: Rappresentazione valutazione prodotto da VF vs. tradizionale per i rispondenti

D'altra parte, sempre in relazione alla figura 58, un significativo 28,36% dei rispondenti considera il prodotto derivato da VF come un prodotto artificiale. Questa percezione potrebbe essere influenzata da preconcetti o dalla mancanza di conoscenza dell vertical farming, o ancora dall'età. Esaminare eventuali relazioni tra la percezione del prodotto come "artificiale" e l'età dei rispondenti potrebbe fornire informazioni utili. Ad esempio, capire se esistono differenze nelle opinioni tra diverse fasce d'età potrebbe orientare strategie di comunicazione ad hoc.

Dalle risposte alla domanda riguardante il luogo preferito per l'acquisto di frutta e verdura dei consumatori, osservando il grafico relativo (figura 59) emerge che la maggioranza dei rispondenti scelga i supermercati come luogo principale d'acquisto. Questo suggerisce che tale canale di distribuzione ha un impatto significativo sulle decisioni di acquisto; pertanto, migliorare le strategie di comunicazione nei supermercati potrebbe essere un'opportunità chiave per promuovere i prodotti derivati da vertical farming.

Il mercato di quartiere è il secondo luogo più scelto, indicando che esiste una quota consistente di consumatori interessati all'acquisto da fonti locali e più vicine alla comunità. La presenza di rispondenti che si riforniscono dal proprio orto privato indica una connessione con l'agricoltura personale e una preferenza per prodotti freschi e autoprodotti.

La minor frequenza di risposte che indicano il fruttivendolo o il contadino di riferimento come luoghi d'acquisto suggerisce che queste opzioni potrebbero non essere le preferite dai consumatori intervistati; dunque, tali opzioni potrebbero essere sostituite con il supermercato qualora si comprendesse che in esso sono reperibili prodotti di pari freschezza.

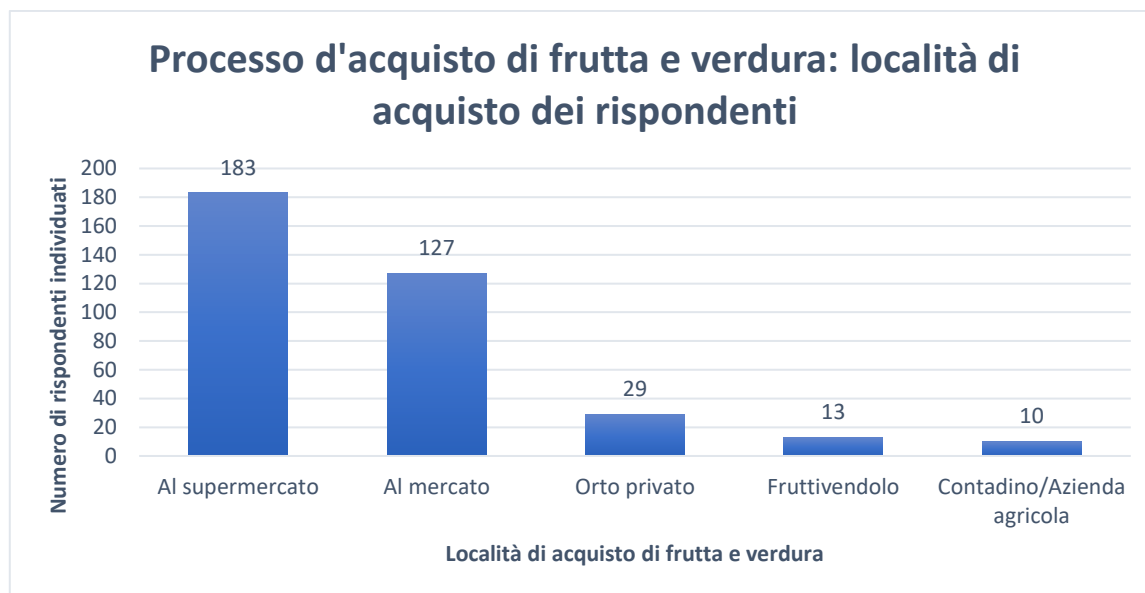


Figura 59: Rappresentazione preferenze luogo di acquisto di frutta e verdura dei rispondenti

Infine, guardando i trigger che influenzano maggiormente l'acquisto di frutta e verdura dei rispondenti (figura 60), la preferenza per l'origine, la provenienza e la stagionalità suggerisce che i consumatori attribuiscono un alto valore alla freschezza e alla naturalità dei prodotti.

Nella comunicazione del vertical farming, sottolineare la continuità della produzione indipendentemente dalle stagioni potrebbe essere un punto chiave per attirare l'attenzione dei consumatori. Segue l'interesse del campione per l'aspetto e il colore dei prodotti, ma anche il prezzo.

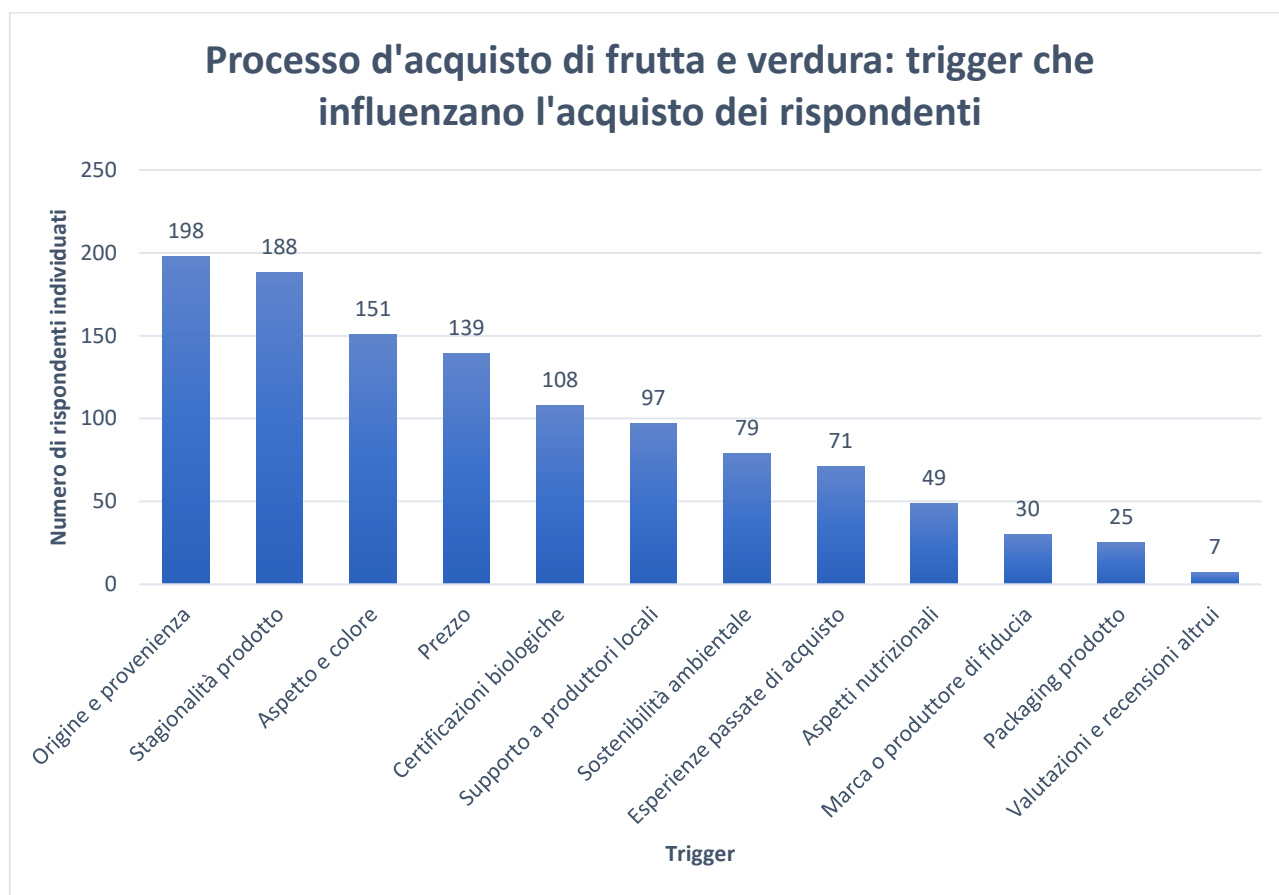


Figura 60: Rappresentazione trigger nel processo d'acquisto di frutta e verdura tra i rispondenti

Continuando l'analisi della figura 60, anche se il prezzo è un fattore di influenza, il suo posizionamento non come prima scelta indica che altri aspetti come l'origine e l'aspetto sono considerati più rilevanti. Tuttavia, è importante mantenere una competitività dei prezzi per reggere la convenienza per i consumatori.

La propensione per il supporto di produttori locali potrebbe essere un punto su cui concentrare la comunicazione, evidenziando la vicinanza delle aziende di vertical farming e l'impegno verso una produzione locale e sostenibile.

Dopo aver effettuato tali analisi, si procede al commento di alcuni grafici che rappresentano un approfondimento tra coppie di quesiti e le risposte fornite dai partecipanti al questionario. Quest'analisi mira a individuare relazioni significative tra le diverse variabili e a identificare eventuali pattern o tendenze emergenti.

Attraverso ciò, si cercherà di comprendere come le risposte a determinate domande si influenzino reciprocamente, fornendo così una visione più completa e approfondita delle dinamiche presenti nel campione di partecipanti.

Riguardo ai grafici che rappresentano le analisi tra i quesiti del questionario somministrato, si è scelto di esaminare la relazione tra le fasce d'età dei rispondenti e il quesito 4 (figura 61), relativo all'interesse del campione verso il tema della sostenibilità ambientale. Tale scelta è stata motivata dalla volontà di comprendere se le fasce più giovani, destinate ad affrontare un pianeta sempre più influenzato dai cambiamenti climatici e dalla scarsità di risorse, mostrassero un particolare interesse per questo tema.

Dai risultati del grafico (figura 61) emerge che il punteggio più alto (punteggio 5) è stato preferito dalla fascia d'età media (40-59), mentre la fascia di età 31-39 ha prediletto il valore 4, come anche la fascia 59+. Le fasce più giovani, <25 e 25-30 hanno optato per la maggior parte per il valore 3, seguito dal 4 e 5. Si nota inoltre che il valore 0 corrispondente a “Nessun interesse per il tema” ricade nella fascia più giovane (<25). I punteggi 1 e 2 sono meno frequenti rispetto ai valori più alti e addirittura assenti nelle fasce d'età 40-49 e 59+.

In conclusione, il grafico in figura 61 mostra un interesse più elevato per la sostenibilità ambientale nella fascia d'età media, forse per una maggiore consapevolezza e per aver visto il pianeta cambiare nel corso degli ultimi anni, mentre le fasce più giovani sembrano distribuire i punteggi in modo più vario, possibilmente a causa di una percezione diversificata o di una mancanza di informazioni. Rimangono comunque preferiti i punteggi medio alti per tutte le fasce di rispondenti.

### Analisi tra fascia d'età e interesse per la sostenibilità ambientale

Interesse sostenibilità ambientale? 0 1 2 3 4 5

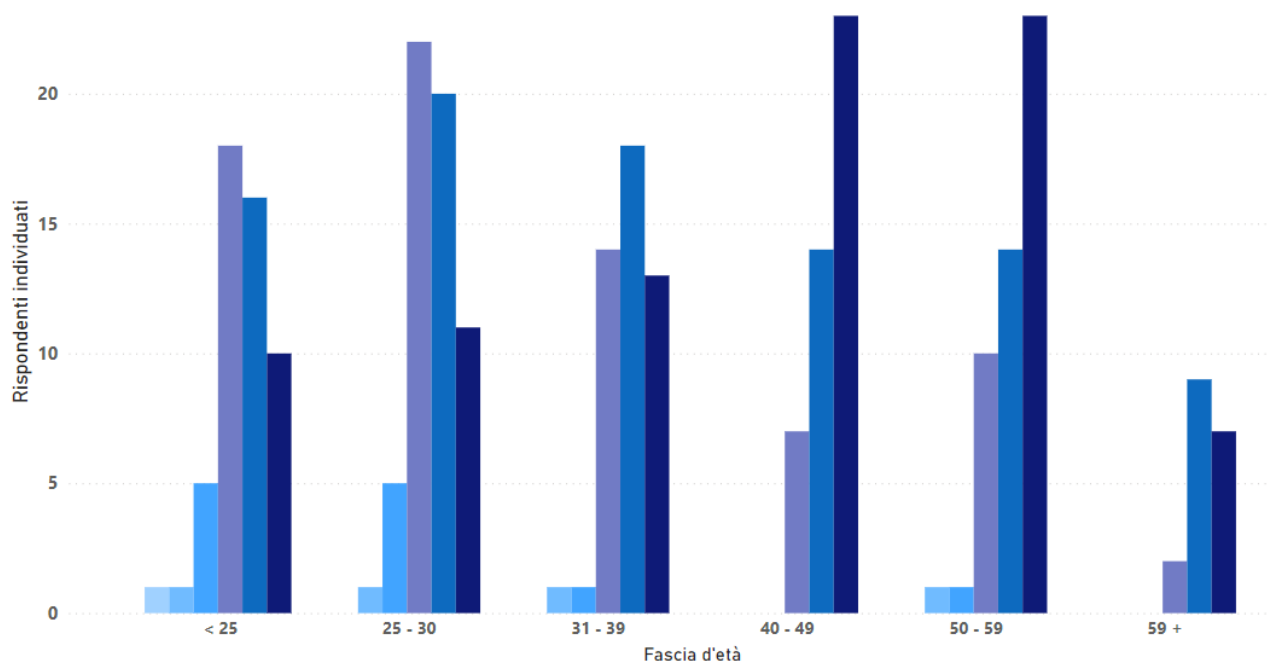


Figura 61: Rappresentazione analisi tra fascia d'età e interesse per la sostenibilità ambientale tra i rispondenti

Continuando l'analisi, il grafico sottostante (figura 62) illustra la relazione tra le fasce d'età e la familiarità del campione con il concetto di vertical farming. Questo grafico è stato realizzato con l'obiettivo di identificare quali fasce d'età si dichiarano più informate sull'argomento e quali, al

contrario, risultano meno familiari. L'idea è valutare possibili azioni di marketing e pubblicità personalizzate per le diverse categorie.

È immediatamente evidente nella figura 62 che tutte le fasce d'età hanno una prevalenza di "Sì", dunque dichiarano di conoscere il tema. Probabilmente se non avessimo accorpato in fase iniziale i rispondenti con età superiore agli 80 anni, avremmo avuto una valutazione differente.

La maggioranza di "Sì" suggerisce che, nonostante la natura innovativa dell'argomento, esso non è completamente sconosciuto al campione, contrariamente alle ipotesi antecedenti alla somministrazione del questionario.

Si nota inoltre che nella fascia 25-30 le due risposte quasi si equivalgono, mentre il massimo gap di risposte si ottiene nei rispondenti delle fasce 40-49 e 50-59.

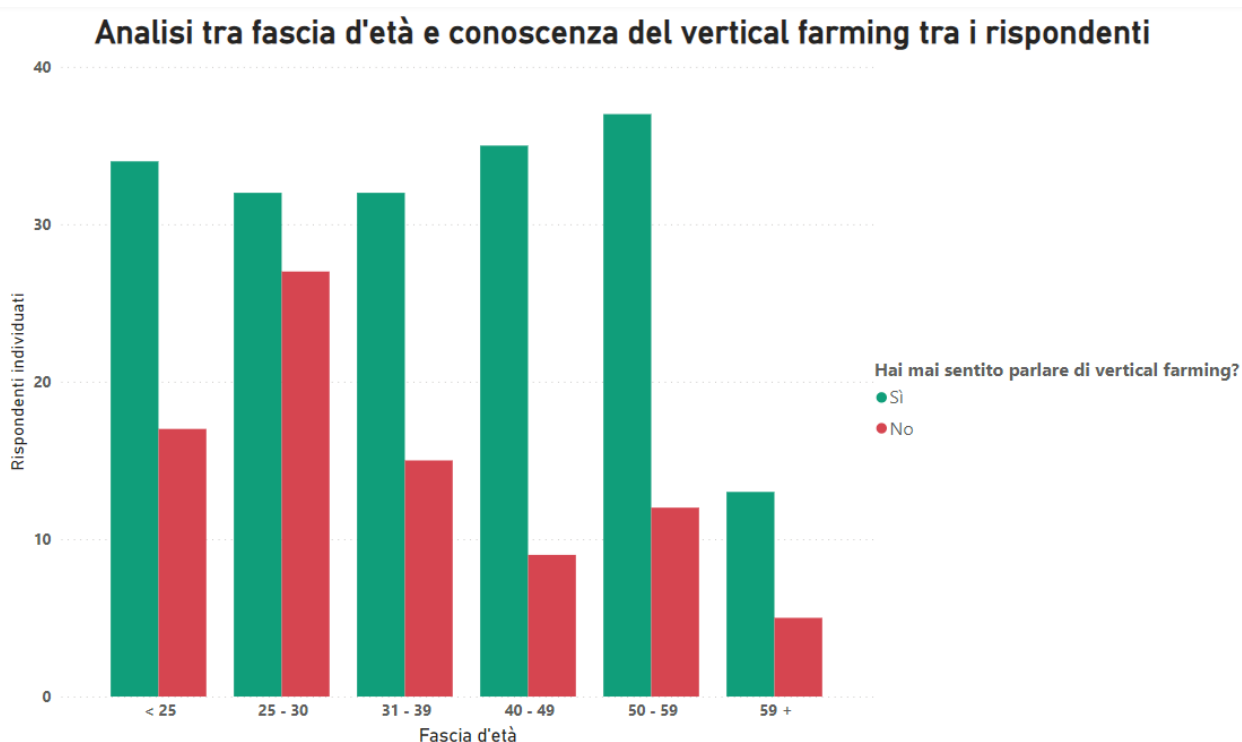


Figura 62: Rappresentazione analisi tra fascia d'età e conoscenza del vertical farming tra i rispondenti

In seguito, è stata esaminata la relazione tra le regioni italiane e la conoscenza del concetto di vertical farming (figura 63). L'obiettivo era comprendere se, tra le regioni italiane, emergessero opzioni completamente estranee all'argomento. Osservando attentamente il grafico nella figura 63, si ritiene importante sottolineare anche la percentuale di rispondenti per ciascuna regione, presente nel grafico a torta mostrato in precedenza (figura 48).

Questo approccio mira a fornire una visione più accurata, considerando che le conclusioni potrebbero essere distorte nel confrontare regioni con un elevato numero di rispondenti, come il Piemonte, con regioni con meno rispondenti, come Calabria, Molise e Valle d'Aosta. Ad esempio, il Piemonte ha ottenuto la più alta percentuale di rispondenti, aumentando quindi la probabilità di ottenere risposte per entrambe le opzioni (Sì e No). Al contrario, Calabria, Molise e Valle d'Aosta, evidenziano un numero inferiore di rispondenti rispetto al Piemonte, aumentando così la probabilità di non ottenere risposte per entrambe le opzioni.

Prima di procedere, è importante precisare che le regioni Umbria e Basilicata sono escluse dal campione analizzato a causa della mancanza di rispondenti.

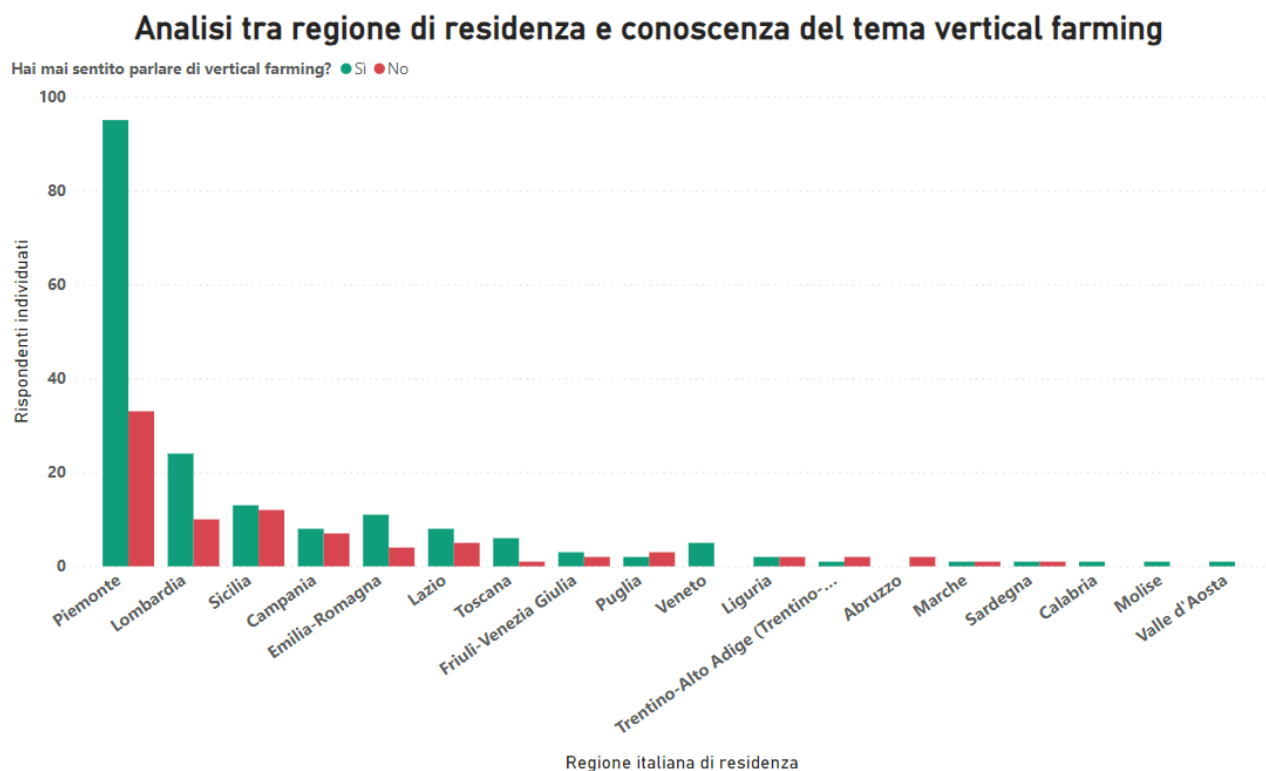


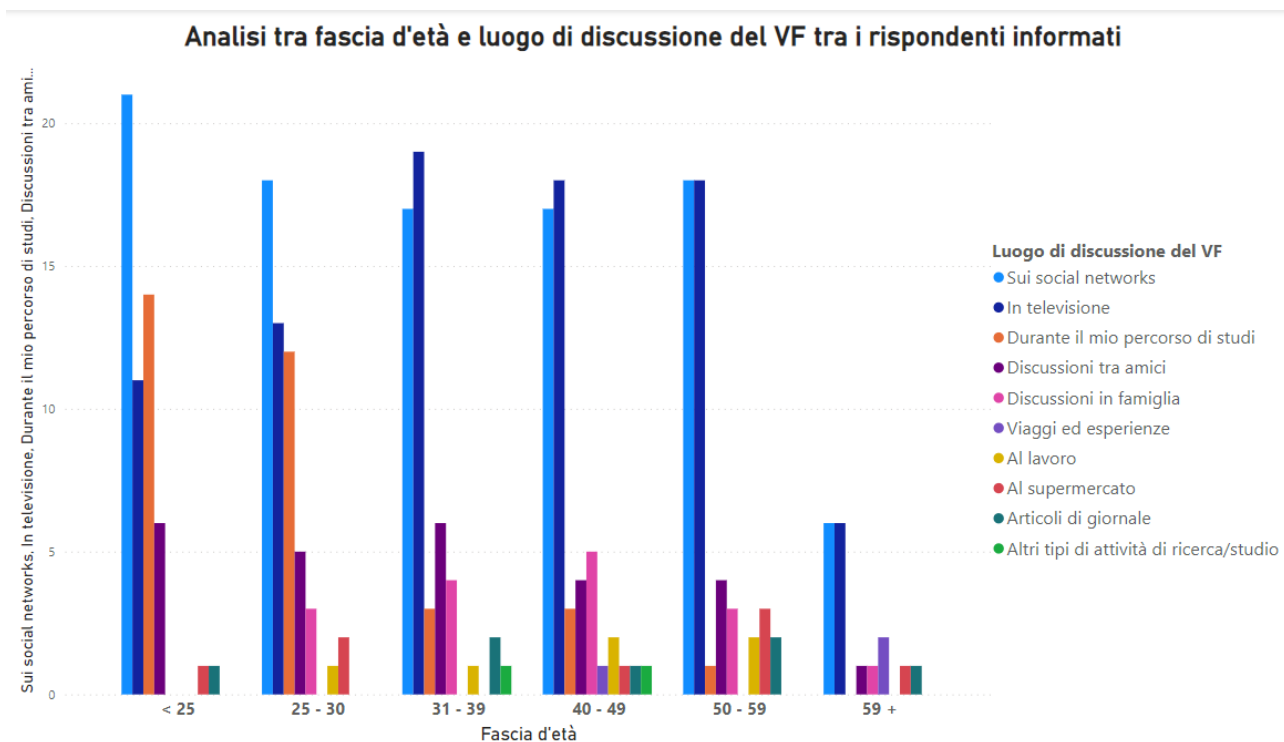
Figura 63: Rappresentazione analisi regione di residenza e conoscenza del vertical farming tra i rispondenti

Per le altre regioni, notiamo in figura 63 una preferenza per il "Sì" nelle regioni Lombardia, Sicilia, Campania, Emilia-Romagna, Lazio, Toscana e Friuli Venezia Giulia. Il Veneto e l'Abruzzo ottengono rispettivamente preferenze esclusive per il "Sì" e per il "No". Per la Puglia, al contrario, la mancanza di conoscenza (No) supera l'opzione "Sì".

Nelle Marche e in Sardegna si osserva una parità nella conoscenza. È fondamentale sottolineare che queste considerazioni non devono essere interpretate in senso assoluto, ma sempre relativamente al campione analizzato.

Tra i partecipanti che hanno indicato di essere informati o di aver sentito parlare del vertical farming, è stato successivamente chiesto di selezionare le opzioni che meglio rappresentano il luogo in cui è avvenuta la discussione su questo tema. L'obiettivo è esaminare la relazione tra le fasce d'età dei partecipanti e le modalità di acquisizione delle informazioni sul vertical farming, al fine di identificare eventuali tendenze. È importante sottolineare che i partecipanti hanno avuto la possibilità di selezionare più di un luogo; pertanto, sull'asse Y non sono riportati i singoli partecipanti, bensì la somma totale delle volte in cui è stata indicata una determinata fonte. (figura 64)

Inoltre, si ribadisce che il quesito è stato rivolto solo a coloro che avevano dichiarato di conoscere l'argomento "vertical farming".



**Figura 64: Rappresentazione correlazione fasce d'età e luogo di discussione del tema VF tra i rispondenti**

Si osserva in figura 64 che i social networks sono la modalità più popolare nella fascia di età compresa tra i minori di 25 anni e 30 anni. Per le fasce d'età tra 31 e 49 anni, la preferenza è per la televisione, ad esempio attraverso telegiornali e programmi televisivi. Nelle fasce d'età comprese tra 50-59 anni e maggiori di 59 anni, le opzioni televisive e i social networks sono equiparate. Emergono quindi i più giovani che sono ampiamente informati tramite i social, mentre tra gli adulti la televisione rimane la fonte principale di informazioni.

Per la fascia di età tra 31 e 49 anni, i social networks sono comunque la seconda modalità più utilizzata, suggerendo un possibile utilizzo dei social non solo per il tempo libero, ma anche per scopi professionali e per seguire argomenti di attualità.

Nella fascia di età <25 anni, la seconda opzione più scelta è "durante il percorso di studi", seguita dalla televisione, mentre per la fascia di età 25-30 anni è il contrario. Le discussioni tra amici sono una scelta comune in tutte le fasce d'età, particolarmente preferite dai partecipanti fino ai 59 anni. Da notare che solo le fasce di età 40-49 e 59+ in figura 64 hanno indicato i viaggi come luogo di discussione.

Nel contesto di coloro che hanno dichiarato di essere a conoscenza del vertical farming, si ritiene rilevante esaminare quanti di loro abbiano già effettuato l'acquisto di un prodotto derivato da questa pratica. Anche tale analisi è stata suddivisa in base all'età al fine di individuare eventuali trend. Tuttavia, osservando quanto rappresentato nel grafico della figura 65, ribadendo che la risposta è stata data soltanto da coloro che hanno dichiarato di aver visto i prodotti al supermercato, notiamo che tra i rispondenti <25 e 31-39 anni, si equivalgono le risposte. Invece si ha una risposta di più no che sì tra 25-30 e figura la maggioranza di risposte affermative tra coloro che hanno dai 40 anni in poi.



### Analisi tra fascia d'età e acquisto di prodotto ottenuto in vertical farming

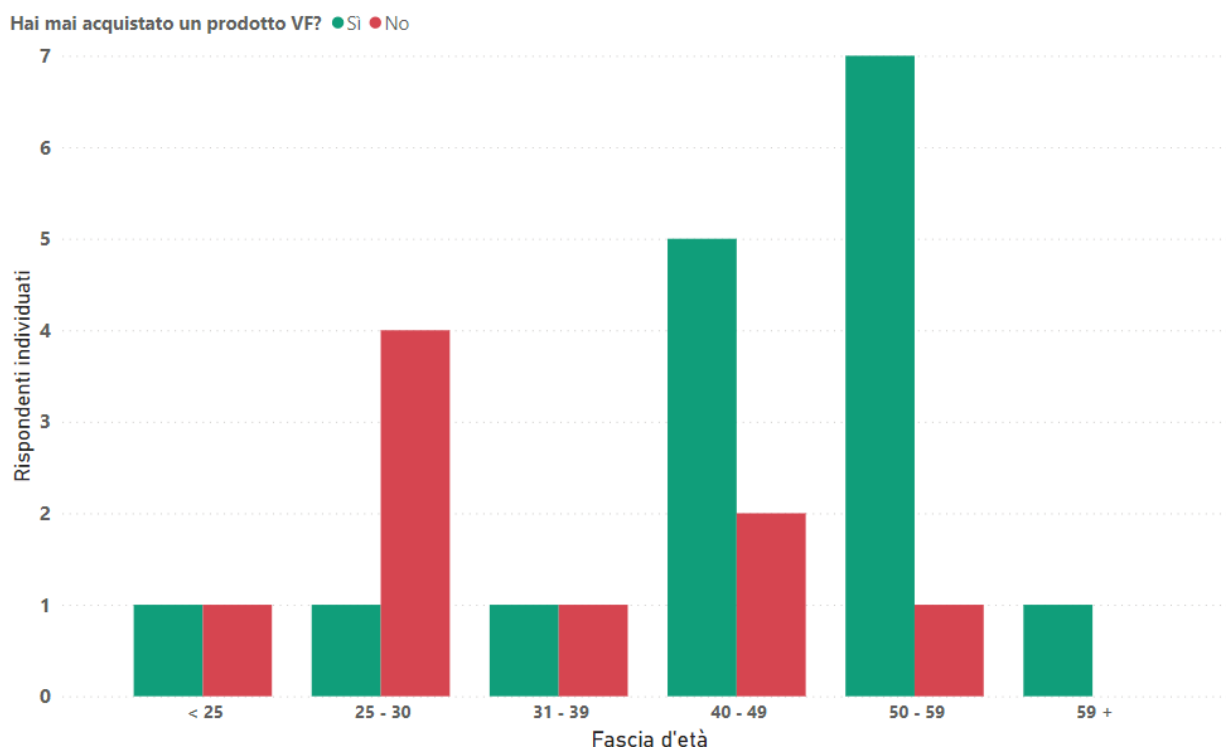


Figura 65: Rappresentazione analisi fascia d'età e acquisto prodotti da VF tra i rispondenti

Di conseguenza, le aziende impegnate nella produzione di prodotti attraverso il vertical farming, di fronte a una domanda relativamente bassa, potrebbero ipotizzare che ciò sia dovuto a una scarsa conoscenza dell'argomento e a un livello di disinformazione tra i consumatori.

Questa considerazione suggerisce la necessità di strategie di comunicazione più efficaci e informazioni dettagliate per aumentare la consapevolezza e stimolare l'interesse nei confronti dei prodotti derivati dal vertical farming.

Successivamente, dato che in un quesito del questionario è stato richiesto di specificare la frequenza di acquisto dei prodotti ottenuti tramite il vertical farming, tale analisi è stata condotta esclusivamente per i partecipanti che hanno indicato di aver effettuato tale acquisto. Di seguito viene presentata in figura 66 l'analisi tra la frequenza di acquisto e l'età, con l'aggiunta di un'etichetta che esplicita il numero di rispondenti per ciascuna colonna, al fine di facilitare la comprensione dei valori.

## Analisi tra fascia d'età e frequenza d'acquisto prodotti derivati da vertical farming

Frequenza di acquisto prodotti da VF ● Solo una volta ● Qualche volta (2-10) ● Da quando l'ho provato, acquisto abitualmente

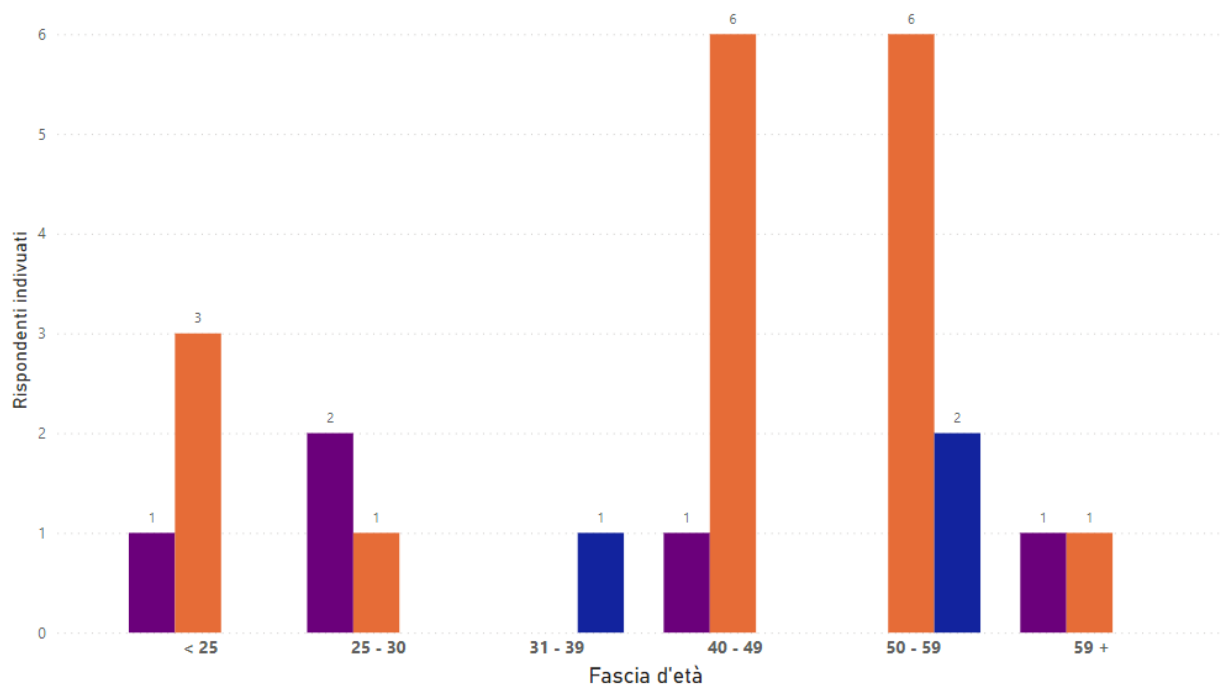


Figura 66: Rappresentazione analisi fascia d'età e frequenza di acquisto prodotti VF tra i rispondenti che dichiarano di aver effettuato l'acquisto

Di seguito le considerazioni in base alle fasce d'età di coloro che hanno dichiarato di aver effettuato l'acquisto.

Si osserva che la risposta più comune è stata l'acquisto effettuato "qualche volta", con 6 rispondenti sia per la fascia 40-49 sia per la fascia 50-59, e 3 rispondenti per i minori di 25 anni. L'acquisto abituale è stato segnalato solamente per la fascia 31-39 e 50-59, tuttavia per la fascia 31-39 si tratta di un caso isolato, con l'unico rispondente di tale fascia che ha dichiarato di effettuare l'acquisto con regolarità.

Per le fasce d'età <25, 25-30 e >59, è stato dichiarato di aver effettuato l'acquisto solo una volta o qualche volta, ma non come acquisto abituale. Inoltre, nella fascia >59 le risposte "una volta" e "qualche volta" si equivalgono.

Considerando il numero limitato di partecipanti che hanno dichiarato di aver effettuato l'acquisto, l'analisi non può essere più approfondita di quanto già espresso. Tuttavia, emerge che l'acquisto "qualche volta" risulta essere la scelta più diffusa tra coloro che hanno sperimentato prodotti derivati dal vertical farming.

Con l'obiettivo di valutare la coerenza delle risposte dei partecipanti, è stata esaminata poi la relazione tra l'interesse per la sostenibilità ambientale e i comportamenti d'acquisto dei consumatori. (figura 67) Questo perché si presume che un consumatore con un interesse elevato nella sostenibilità ambientale (valutazione 5) sia più propenso a sperimentare nuovi prodotti, soprattutto se incorporano elementi come tecniche, tecnologie e materiali per il packaging che sono

più rispettosi dell'ambiente rispetto a quelli tradizionali. Di conseguenza, ci si aspetta che i partecipanti che hanno assegnato punteggi medio-alti all'interesse per la sostenibilità ambientale siano inclini alla sperimentazione e meno restii nei confronti di prodotti innovativi.

Dall'analisi del grafico sottostante (figura 67), emerge che in linea con quanto anticipato, la percentuale di partecipanti che ha assegnato il punteggio massimo (5) è più elevata tra coloro che mostrano una propensione alla sperimentazione. Tuttavia, è interessante notare che tra questi è presente anche un partecipante che si è dichiarato completamente disinteressato (valutazione 0) alla sostenibilità, un elemento che rappresenta una deviazione dalla tendenza generale.

### Analisi tra interesse per la sostenibilità ambientale e comportamenti dei consumatori nel processo d'acquisto

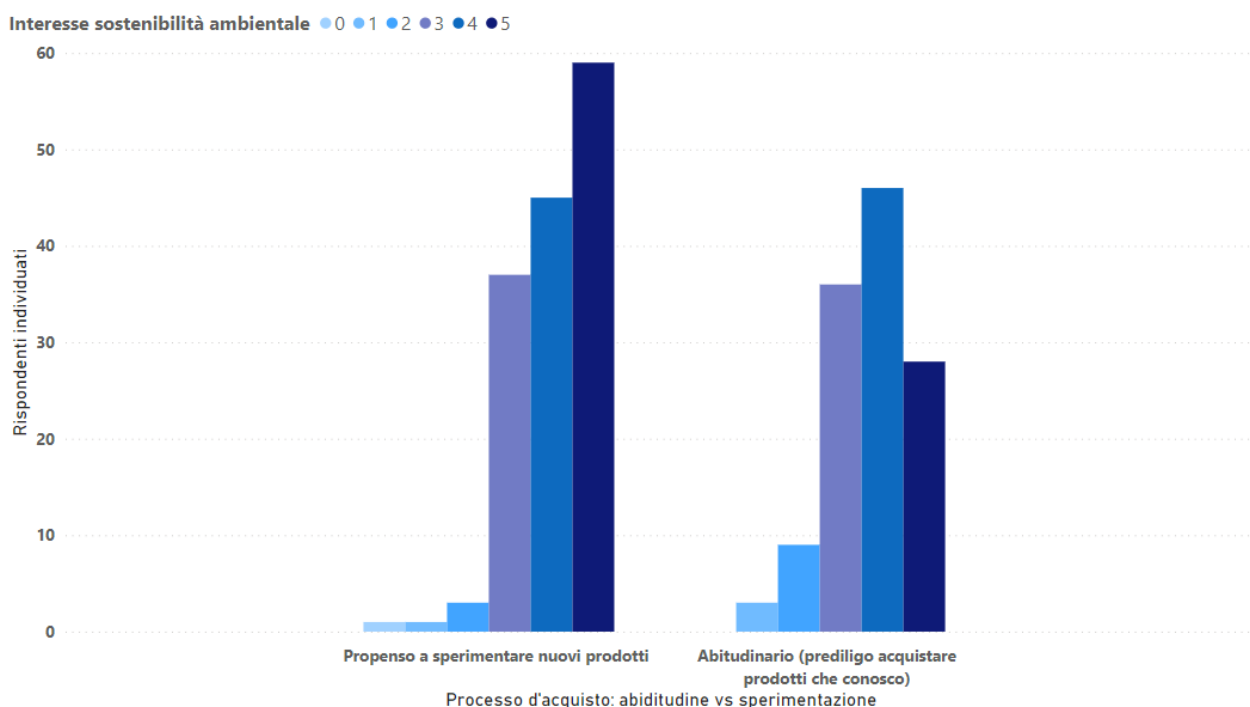


Figura 67: Rappresentazione analisi tra interesse per la sostenibilità e comportamenti nel processo d'acquisto tra i rispondenti

Inoltre, tra i consumatori che si definiscono abitudinari, in figura 67 si osserva prevalentemente un interesse per la sostenibilità ambientale valutato tra 3 e 4; chi si mostra interessato a un livello basso (1 o 2) alla sostenibilità presenta una prevalenza nel dichiararsi consumatore abituale nell'acquisto di prodotti, risultato in linea con le aspettative.

In conclusione, sebbene la maggior parte dei partecipanti interessati all'ambiente mostri una propensione alla sperimentazione, la presenza di un rispondente con interesse zero evidenzia una varietà di atteggiamenti all'interno del gruppo. L'osservazione degli abitudinari suggerisce che, in generale, un interesse moderato alla sostenibilità può essere associato a comportamenti più consolidati nell'acquisto di prodotti.

In aggiunta, si è cercato di individuare eventuali relazioni tra l'identificazione di genere del campione e i comportamenti nel processo di acquisto.

Nel grafico rappresentato (figura 68), emerge una tendenza comune di maggiore propensione alla sperimentazione di nuovi prodotti sia tra le donne che tra gli uomini. Inoltre, si osserva che anche coloro che hanno scelto di non specificare il genere di appartenenza mostrano un'inclinazione significativa alla sperimentazione.

Tuttavia, nonostante questa inclinazione verso la sperimentazione, sia le donne che gli uomini mantengono una consistente parte del campione che rimane fedele all'acquisto di prodotti abituali. Questo suggerisce che, nonostante la propensione alla novità, una considerevole percentuale di partecipanti preferisce ancora acquistare prodotti consolidati e familiari.

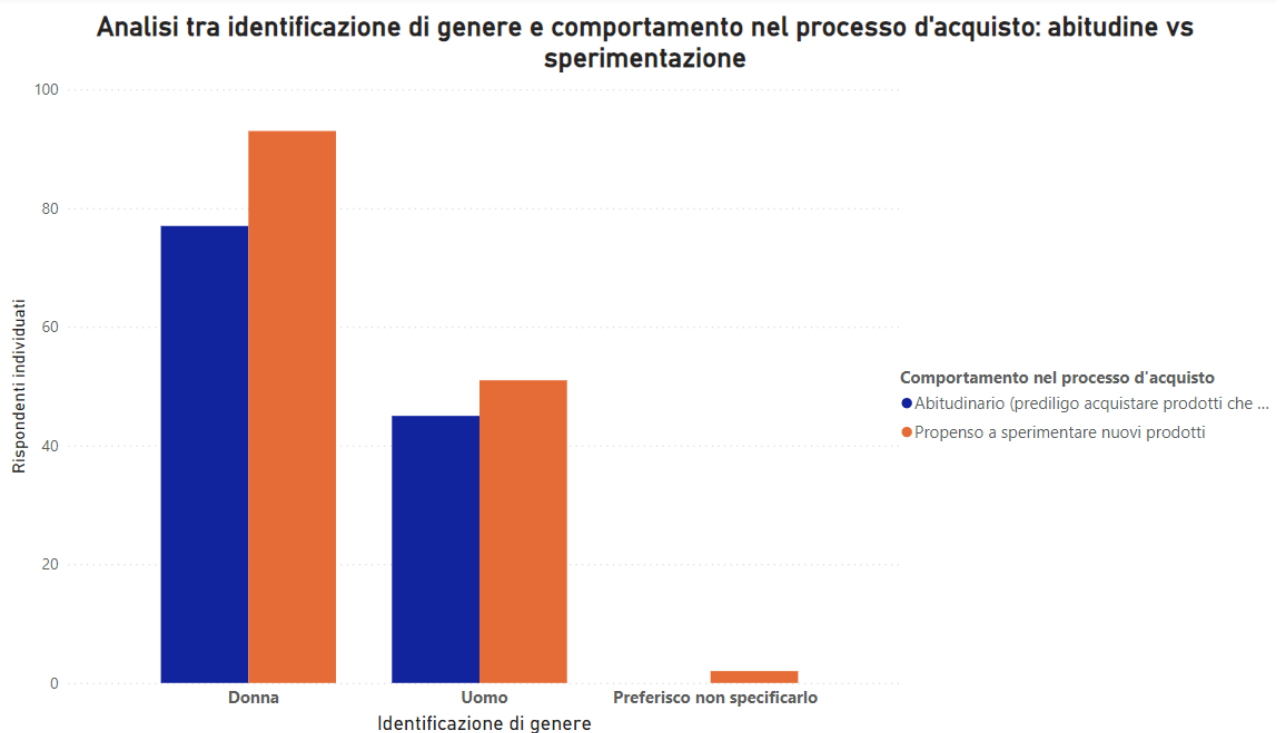


Figura 68: Rappresentazione analisi tra identificazione di genere e comportamento nel processo di acquisto dei rispondenti

Nel tentativo di comprendere come l'età influenzi la percezione del campione, ci si è concentrati sull'analisi tra le fasce d'età e la valutazione di un prodotto ottenuto tramite vertical farming rispetto a un prodotto coltivato con i metodi tradizionali. (figura 69).

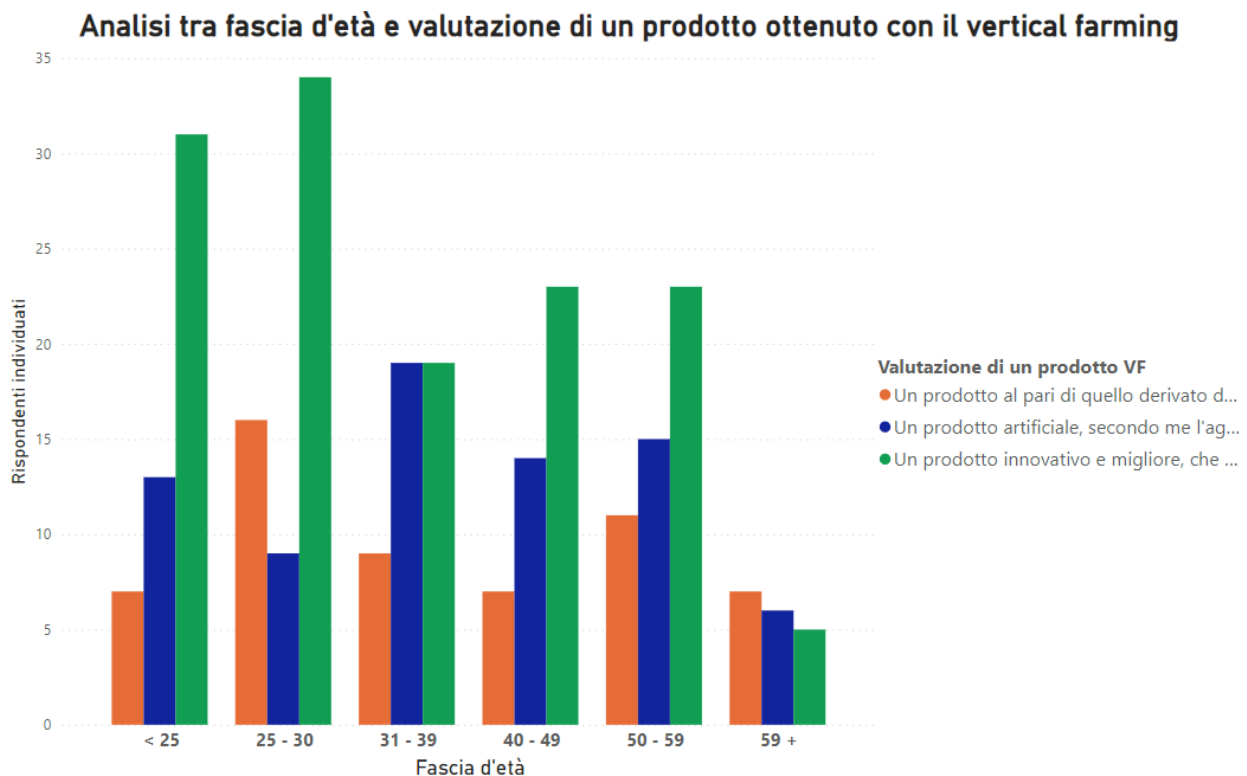


Figura 69: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e valutazione di un prodotto da VF vs agricoltura tradizionale tra i rispondenti

Dall'analisi del grafico (figura 69) emerge che la risposta più comune è l'associazione dei prodotti da vertical farming come innovativi e migliori, considerati una valida alternativa per contribuire a ridurre lo spreco di risorse, tra tutte le fasce d'età ad eccezione per coloro che hanno un'età superiore ai 59 anni.

Tuttavia, un'analisi più approfondita sull'intero campione mostra che subito dopo questa risposta predominante, sono frequenti le opinioni che etichettano tali prodotti come artificiali, ancorati al concetto di agricoltura tradizionale. Questa percezione limita significativamente l'adozione di tali prodotti da parte dei consumatori che condividono questa opinione.

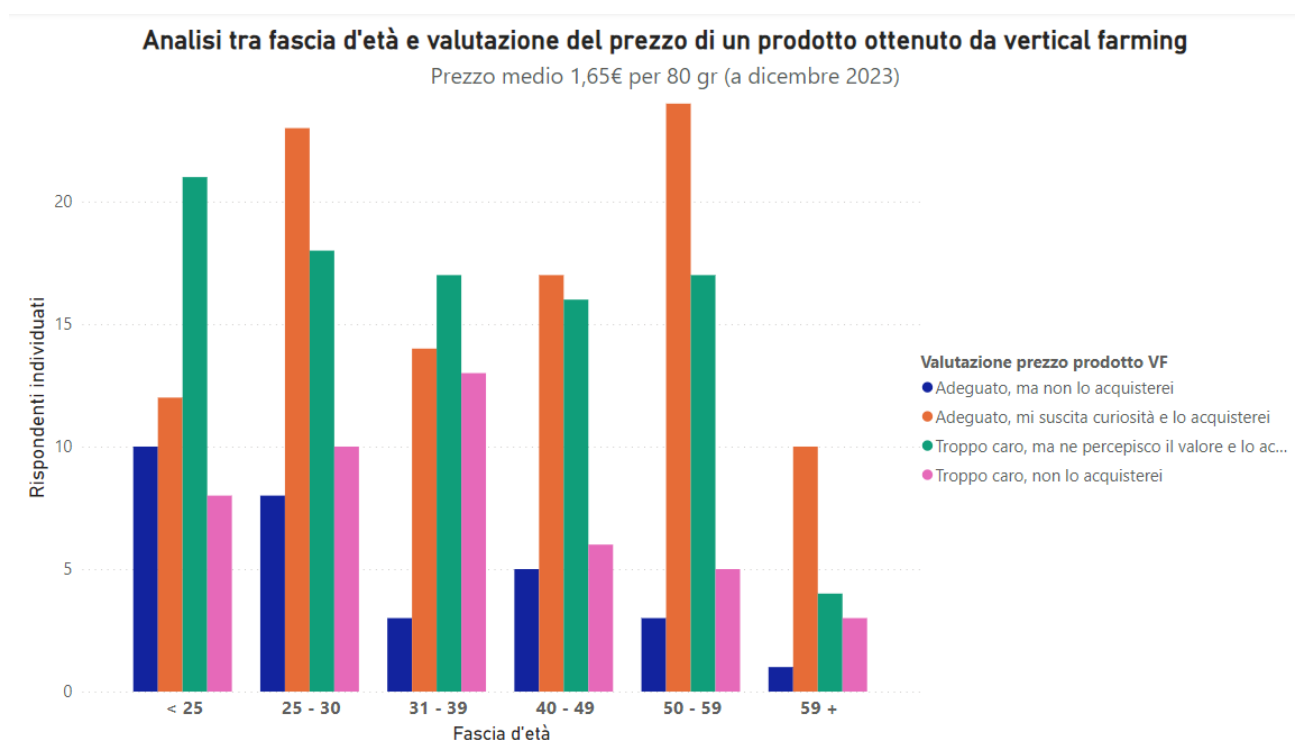
Un'eccezione notevole si riscontra nella fascia d'età compresa tra i 25 e i 30 anni, dove prevalgono le risposte che considerano i prodotti da vertical farming come innovativi o equivalenti, riducendo il numero di coloro che li ritengono artificiali. Nel caso della fascia d'età tra 31-39 anni, purtroppo, l'opzione che identifica tali prodotti come artificiali equivale in numero di risposte a coloro che valutano il prodotto come innovativo e migliore. (figura 69)

Negli estremi di età, tra i minori di 25 anni, si presenta un picco di rispondenti che definiscono il prodotto innovativo, elemento che fa ben sperare nelle generazioni più giovani. (figura 69)

La formulazione diretta del quesito sulla valutazione del prodotto è stata scelta appositamente per ottenere un insight più preciso sulla percezione dei consumatori, fornendo basi concrete e reali per le aziende per adattare le loro strategie di marketing di conseguenza.

Dopo aver esaminato la valutazione dei prodotti derivati dal vertical farming, si propone ora di analizzare la percezione del prezzo di tali prodotti, sempre in relazione alla fascia d'età dei rispondenti. Nel dicembre 2023, periodo della somministrazione del questionario, il prezzo medio dei prodotti di vertical farming osservati nei supermercati del torinese risultava essere di 1,65€ per 80 grammi. È importante notare che successivamente al periodo di somministrazione, è entrato sul mercato un nuovo produttore con confezioni da 100 grammi. (figura 70)

In figura 70, si nota chiaramente la prevalenza di risposte in tutte le fasce d'età per le opzioni "adeguato, mi suscita curiosità e lo acquisterei" e "troppo caro, ma ne percepisco il valore e lo acquisterei".



**Figura 70: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e valutazione del prezzo di un prodotto da VF dei rispondenti**

In particolare, la fascia 25-30, 40-49, 50-59, >59 mostra una prevalenza di risposte come "adeguato, mi suscita curiosità e lo acquisterei", seguito immediatamente da "troppo caro, ma ne percepisco il valore e lo acquisterei". Questo suggerisce una tendenza positiva, con una propensione verso l'acquisto nonostante il prezzo possa essere considerato più elevato rispetto all'agricoltura tradizionale (ma abbastanza in linea con i prezzi di prodotti indicati come biologici). (figura 70)

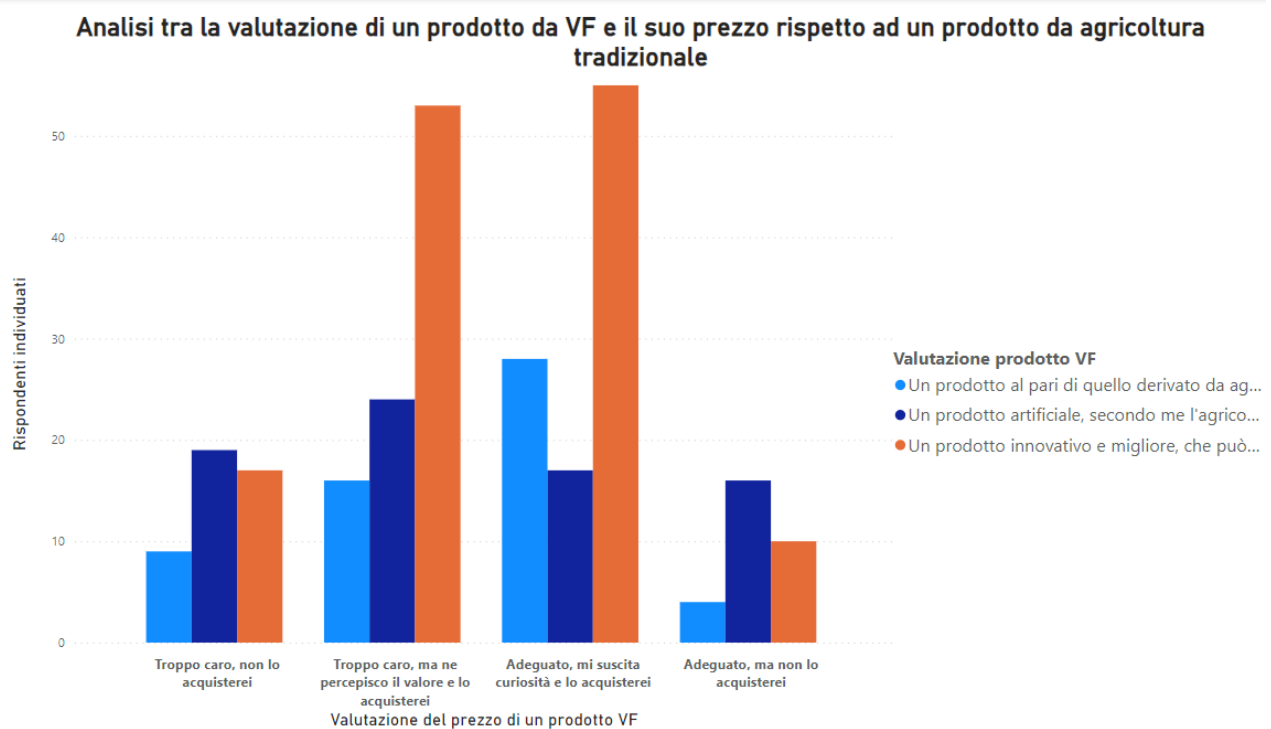
Sempre relativamente alla figura 70, per la fascia <25, la prevalenza è inversa rispetto alle fasce precedentemente citate. La risposta più comune è che il prodotto è "troppo caro, ma ne percepisco il valore e lo acquisterei", seguito dalla considerazione che il prezzo è "adeguato e lo acquisterei". In questa fascia, si evidenzia anche che, tra le opzioni "adeguato ma non lo acquisterei" e "troppo caro non lo acquisterei", c'è una prevalenza di chi ritiene il prezzo adeguato pur optando per non effettuare l'acquisto.

Le tendenze osservate in figura 70 possono essere influenzate da diversi fattori, tra cui la sensibilità nei confronti della sostenibilità ambientale, la familiarità con i prodotti derivati dal vertical farming,

e la propensione alla sperimentazione. Ad esempio, le fasce più giovani potrebbero essere più aperte all'innovazione e quindi più inclini ad accettare prezzi più elevati, mentre fasce più mature potrebbero essere più caute riguardo ai costi aggiuntivi. La percezione del valore e la consapevolezza della sostenibilità potrebbero essere chiavi nella formazione di tali opinioni.

Dopo aver analizzato le relazioni tra l'età e la valutazione del prodotto e l'età e la valutazione sul prezzo, si intende confrontare come si distribuiscono le risposte tra le valutazioni del prodotto e del prezzo. Ci si chiede quindi: coloro che lo reputano come prodotto artificiale mostrano risposte che menzionano la volontà di non acquistare? Al contrario, chi lo reputa come innovativo, dichiara che pur se ritengono il prezzo adeguato/troppo caro, sono disposti ad acquistare?

Di seguito il grafico esplicativo e che risponde agli interrogativi sopra presenti. (figura 71)



**Figura 71: Rappresentazione analisi valutazione del prodotto da VF e il suo prezzo vs prodotto da agricoltura tradizionale**

Dall'analisi delle risposte, emerge che c'è una relazione interessante tra la percezione del prodotto e la volontà di acquistare in relazione al prezzo.

Tra coloro che considerano il prodotto troppo caro o adeguato, ma dichiarano di acquistarlo comunque, si trova un significativo gruppo di persone che valutano il prodotto come innovativo e una buona alternativa. Questo risultato è in linea con le aspettative e suggerisce una predisposizione all'acquisto basata sulla percezione positiva del prodotto.

Tuttavia, si nota in figura 71 una fetta importante di coloro che ritengono il prodotto artificiale. Questo potrebbe indicare una certa resistenza all'acquisto tra coloro che percepiscono il prodotto in questo modo, anche se considerano il prezzo adeguato o troppo caro.

Tra coloro che dichiarano di non voler acquistare il prodotto a causa del prezzo elevato, si osserva (figura 71) che in primo luogo si collocano coloro che ritengono il prodotto artificiale. Successivamente, si notano coloro che considerano il prodotto innovativo. Questo suggerisce che la bassa *willingness to pay* potrebbe influenzare l'acquisto, anche se si apprezza la validità del prodotto, spingendo i consumatori a cercare alternative più economiche.

In generale, questi risultati indicano che la percezione del prodotto, specialmente in termini di innovatività e naturalezza, ha un impatto significativo sulla propensione all'acquisto, anche quando i consumatori considerano il prezzo. La gestione delle percezioni e la ricerca di soluzioni per affrontare le preoccupazioni sulla natura artificiale del prodotto potrebbero essere chiavi per migliorare l'accettazione e l'adozione da parte dei consumatori.

L'analisi delle preferenze d'acquisto di frutta e verdura in base alle fasce d'età rivela interessanti dettagli sul comportamento dei consumatori. Stando al grafico in figura 72, sia le fasce di età più giovani che quelle più anziane mostrano una netta preferenza per l'acquisto presso il supermercato. Questa inclinazione, prevista per i consumatori più giovani, potrebbe risultare sorprendente per la fascia d'età più avanzata, ma può essere attribuita alla comodità del supermercato o al fatto che persone più anziane affidano la spesa ad altri.

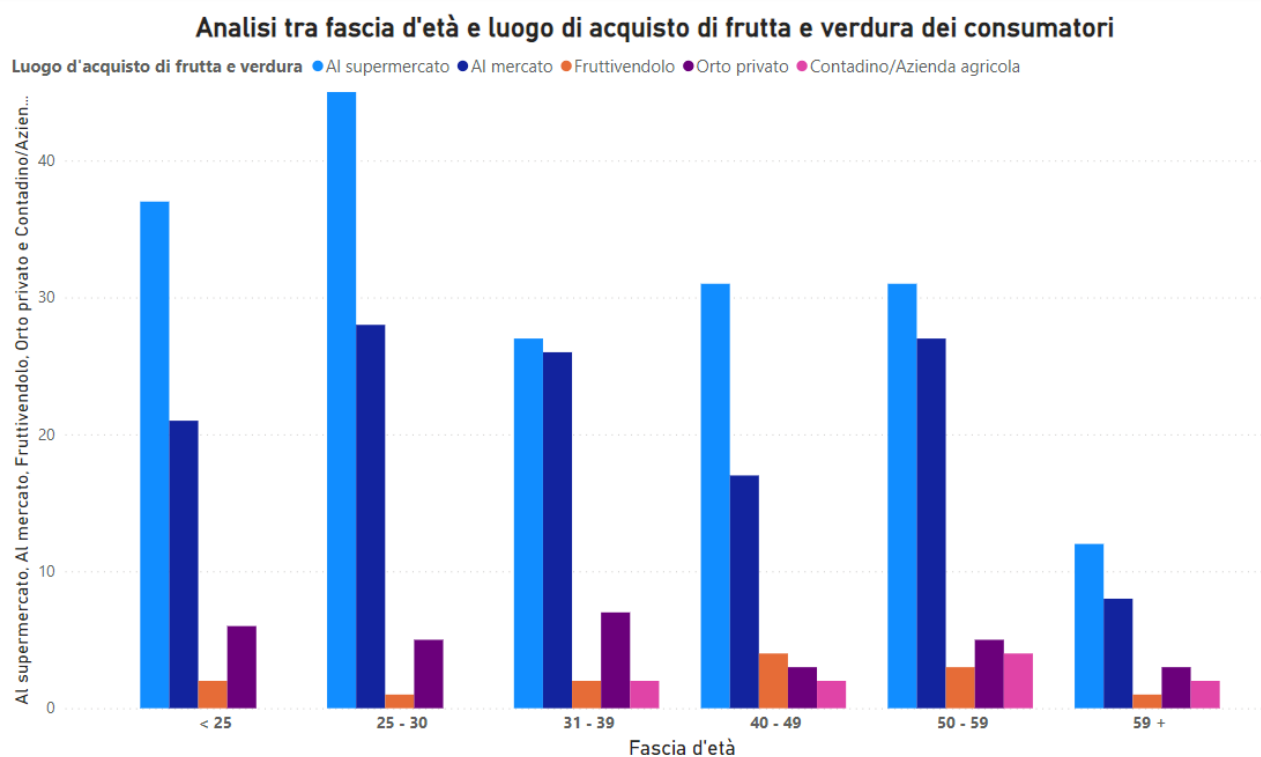


Figura 72: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e luogo di acquisto di verdura e frutta dei rispondenti

La fascia <25 e 25-30 (figura 72) manifesta una chiara preferenza per il supermercato, indicando possibili motivazioni legate alla praticità e alla comodità. Potrebbe anche riflettere la mancanza di consapevolezza o accessibilità a mercati di quartiere. Le preferenze potrebbero essere influenzate da vari fattori, tra cui la comodità, la disponibilità di opzioni nelle vicinanze e gli orari di apertura.



È significativo notare che, pur menzionando la presenza di orti privati, nessun rispondente in figura 68 ha indicato di attingere esclusivamente da tale risorsa. Questo suggerisce che, nonostante la presenza di orti personali, la maggior parte dei consumatori preferisce integrare i propri prodotti con acquisti esterni.

L'opzione di acquistare da contadini o aziende agricole emerge solo da rispondenti con età dai 31 anni, indicando una possibile mancanza di consapevolezza o percezione di difficoltà di accesso a questa modalità tra i consumatori più giovani. (figura 72)

In conclusione, emerge chiaramente che il supermercato rappresenta il luogo preferito per l'acquisto di frutta e verdura in tutte le fasce d'età. Le differenze nelle preferenze tra fasce d'età più giovani e più anziane sono varie e dipendono sia dalle abitudini personali che dalle caratteristiche proprie di ciascuna fascia.

Infine, si intende esaminare i risultati emersi dai grafici 73 e 74, che riguardano rispettivamente la relazione tra le fasce d'età e i trigger che influenzano il processo di acquisto di frutta e verdura dei partecipanti, e tali trigger in relazione all'identificazione di genere dei rispondenti

Per quanto riguarda i trigger in funzione dell'età (figura 73) emerge che tutte le fasce d'età manifestano una chiara preferenza per la stagionalità del prodotto e la sua origine e provenienza, seguiti immediatamente dall'aspetto e dal colore del prodotto (fasce 25-30, 31-39, 40-49). Questo suggerisce che, se un prodotto è acquistato dai consumatori quando è di stagione, si acquista con più probabilità da produttori italiani (ad eccezione di prodotti presenti solo all'estero), risolvendo così il problema dell'importazione da Paesi lontani con prezzi più alti.

Dunque, il vertical farming potrebbe rappresentare una soluzione ideale, poichè grazie al monitoraggio continuo durante tutto l'anno e l'ambiente chiuso, è possibile creare le condizioni ottimali per la crescita di ogni prodotto, garantendo un'origine italiana e risolvendo la questione della stagionalità. Questo potrebbe portare a un aumento significativo degli acquirenti dei prodotti da vertical farming, consentendo alle aziende produttrici di beneficiare di economie di scala e ridurre i prezzi, rendendo il prodotto accessibile a tutta la popolazione.

È interessante notare, sempre in figura 73, che la variabile del prezzo occupa il terzo posto nella fascia <25, per le altre fasce si gioca il terzo o quarto posto.

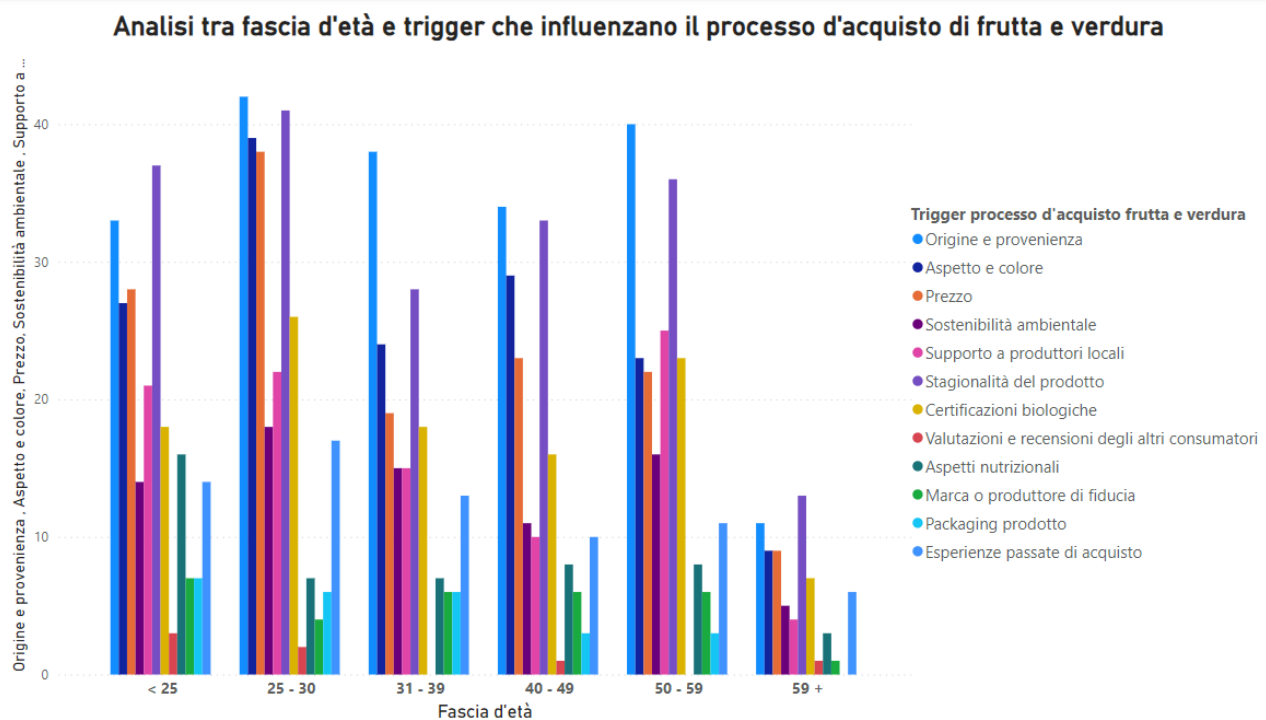


Figura 73: Rappresentazione analisi tra fasce d'età e trigger del processo di acquisto di verdura e frutta dei rispondenti

Proseguendo l'analisi del grafico in figura 73, la popolazione ritiene importante il trigger delle certificazioni biologiche e del supporto ai produttori locali, confermando la coerenza con le risposte del campione in analisi. Anche la sostenibilità ambientale gioca un ruolo significativo per la maggior parte delle fasce, così come le esperienze passate di acquisto di un determinato prodotto, seguite dalla marca del prodotto. Al contrario, la valutazione e le recensioni di altri consumatori sembrano interessare in misura minore, e non in tutte le fasce d'età.

Procedendo la discussione, di seguito è presente il grafico rappresentato in figura 74, che mostra la relazione tra i medesimi trigger del grafico 73 e l'identificazione di genere dei rispondenti.

In particolare, per coloro che preferiscono non identificarsi per genere, le opzioni di trigger selezionate appaiono equivalenti, ovvero tutte le opzioni scelte hanno la medesima importanza nella scelta di frutta e verdura; probabilmente ciò si verifica a causa della bassa percentuale di partecipanti che hanno scelto "preferisco non specificare" relativo al genere.

Concentrandosi invece sul genere maschile e femminile, la figura 74 evidenzia che entrambi attribuiscono maggiore importanza all'origine e alla provenienza, seguite immediatamente dalla stagionalità del prodotto e dall'aspetto e dal colore. Successivamente, sia uomini che donne considerano il prezzo e le certificazioni biologiche, seguite dal supporto ai produttori locali.

Dalla figura 74 si nota come non ci sia una particolare relazione da menzionare tra il genere del campione e la scelta dei trigger nel processo d'acquisto di frutta e verdura.

### Analisi tra identificazione di genere e trigger che influenzano il processo d'acquisto di frutta e verdura

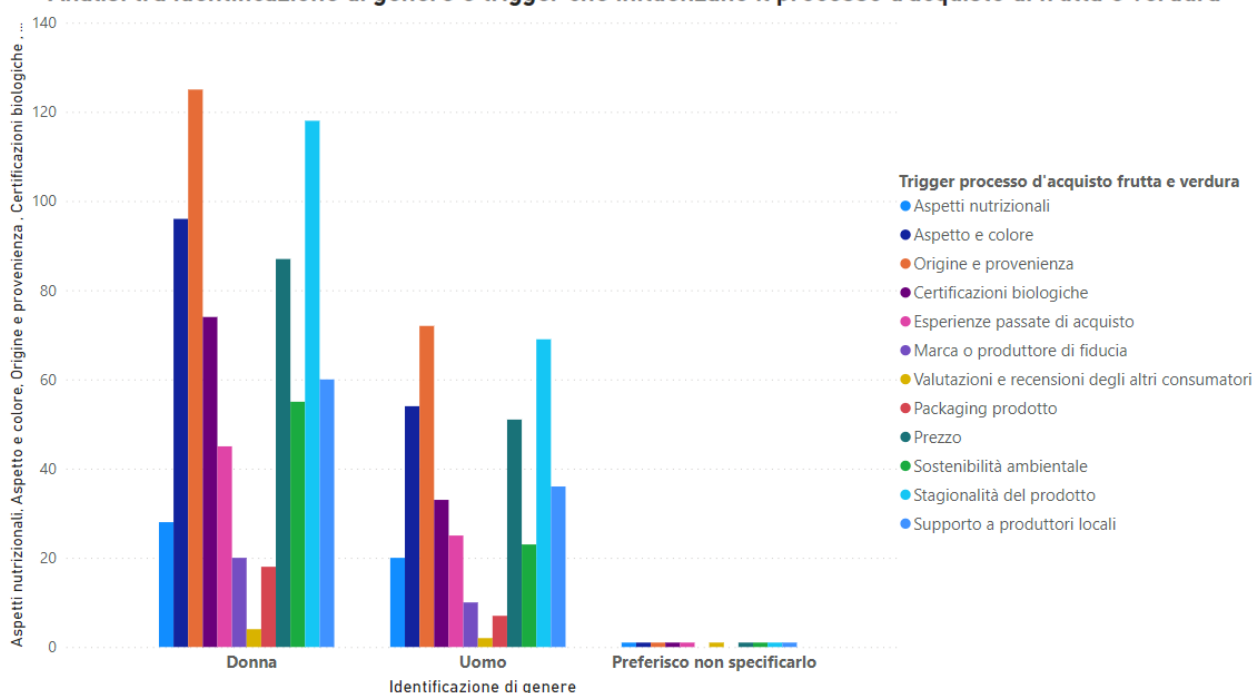


Figura 74: Rappresentazione analisi tra identificazione di genere e trigger del processo di acquisto di verdura e frutta dei rispondenti

In generale, si osserva che, ad eccezione di alcune variazioni nelle classifiche di alcuni trigger tra uomini e donne, i due generi attribuiscono un'importanza analoga ai vari trigger nel processo di acquisto di prodotti come frutta e verdura. Inoltre, in relazione alle fasce d'età, si rilevano poche differenze sostanziali, ma emergono alcune preferenze comuni, come la stagionalità, l'origine, l'aspetto del prodotto e il prezzo, che sono valutati in modo simile nell'intero campione. Questo suggerisce una certa uniformità nelle priorità di acquisto, indipendentemente dal genere o dall'età, per quanto riguarda questi specifici fattori di influenza nel processo decisionale dei consumatori.

A seguito dell'analisi delle diverse relazioni tra i quesiti del questionario si intende ora presentare una panoramica sintetica dei risultati rilevanti.

Dai risultati ottenuti emerge che la consapevolezza del vertical farming è diffusa in modo significativo non solo tra le fasce più giovani, ma in modo diversificato su tutto il campione, suggerendo un generale interesse e apertura verso le pratiche agricole innovative.

Tuttavia, nonostante tale consapevolezza, attualmente sono pochi coloro che hanno effettivamente acquistato prodotti derivati da agricoltura verticale. Questo potrebbe indicare che, sebbene il vertical farming sia piuttosto conosciuto nel campione analizzato, la sua adozione pratica nel processo d'acquisto è condizionata da vari fattori, come la percezione del prodotto, la fiducia nei nuovi metodi agricoli, ed eventualmente anche la mancanza di pubblicità della tecnica dove è reperibile acquistare il prodotto.

La preferenza per l'acquisto di frutta e verdura nei supermercati è una tendenza consolidata, in tutte le fasce d'età e indipendentemente dal genere del campione, ma ciò non deve essere interpretato come un disinteresse nei confronti di nuove pratiche agricole.

Piuttosto, sottolinea l'importanza della comodità e della familiarità nell'esperienza d'acquisto del consumatore, dunque la modalità di commercializzazione di prodotti da agricoltura verticale attraverso i supermercati potrebbe risultare la strategia migliore per le aziende produttrici.

In aggiunta, tra coloro che hanno manifestato familiarità con il concetto di "agricoltura verticale" o "vertical farming", emerge che la maggior parte di essi ha acquisito tali conoscenze prevalentemente attraverso i social networks e la televisione. Pertanto, si evince che le strategie di marketing e comunicazione per i prodotti derivati da questa pratica agricola dovrebbero concentrarsi principalmente su questi canali informativi. Va notato, tuttavia, che anche il supermercato emerge come fonte di approfondimento e conoscenza sull'argomento. Ciò suggerisce che le aziende dovrebbero adottare una prospettiva che tenga conto anche del supermercato come un canale di comunicazione importante, che richiede altrettanta attenzione nella trasmissione delle informazioni legate all'agricoltura verticale.

Esplorando i trigger d'acquisto, è possibile confermare che i fattori come la stagionalità, l'origine, l'aspetto e il prezzo sono di fondamentale importanza. La stagionalità e l'origine indicano una crescente sensibilità verso la sostenibilità e la provenienza locale. Allo stesso tempo, la valutazione del prezzo indica una consapevolezza economica dei consumatori. La presenza di queste variabili come trigger d'acquisto potrebbe essere un'opportunità per educare i consumatori sul valore dei prodotti derivati dal vertical farming, evidenziando aspetti quali la sostenibilità ambientale, la provenienza controllata e la competitività economica.

L'analisi delle preferenze di acquisto in relazione al genere non mostra differenze sostanziali, suggerendo che le strategie di marketing potrebbero essere più efficaci se mirate a un pubblico generico, magari basandosi sulle fasce d'età dei consumatori, evidenziando aspetti che siano universalmente riconosciuti e apprezzati.

## 8 CONCLUSIONI

Alla luce delle analisi condotte in questo elaborato sui sistemi di vertical farming, si riflette ora sui risultati e sulle implicazioni emerse da tale ricerca.

Da quanto discusso in precedenza, emerge chiaramente che il settore del vertical farming sta vivendo una crescita esponenziale, prospettiva confermata dalle analisi condotte sulle tendenze di mercato future.

In particolare, esaminando le tre principali tecniche di coltivazione del vertical farming - idroponica, aeroponica e acquaponica - emerge dalla letteratura che l'idroponica risulta essere la tecnica dominante, come dimostrato anche dalla prevalenza di aziende che adottano tale metodo in Italia.

Un altro aspetto chiave affrontato è stato quello della sostenibilità ambientale e della produttività nel contesto del vertical farming. Dalle analisi emerge che questa innovativa forma di agricoltura risulta essere più sostenibile e produttiva rispetto alle metodologie tradizionali, in quanto consente una maggiore resa delle colture e un utilizzo ottimizzato delle risorse.

Inoltre, si è evidenziato che l'insalata e le sue varietà rappresentano la coltura maggiormente prodotta e commercializzata, grazie al rapido ciclo di crescita che permette di massimizzare la resa.

Proseguendo, è emerso che i principali costi per le aziende di vertical farming sono quelli legati all'avvio dell'attività e al consumo energetico. Tuttavia, aumentando il numero di consumatori che acquistano i prodotti da vertical farming, le aziende potrebbero realizzare maggiori economie di scala e ridurre i prezzi finali di vendita. Per le aziende esistenti da più tempo, inoltre, è stato possibile effettuare economie di apprendimento, diminuendo alcuni costi e di conseguenza i prezzi.

Le affermazioni di cui sopra derivano sia dall'analisi attraverso la letteratura, sia da quanto emerso nelle interviste condotte ad alcune aziende di vertical farming nel territorio nazionale.

Dalle analisi condotte, è stato osservato che le aziende impegnate nella produzione orticola in vertical farming in Italia sono prevalentemente collocate nel nord del Paese. Questo dato ha portato ad ipotizzare che la conoscenza del vertical farming potrebbe essere più limitata nelle regioni del sud. Tuttavia, i dati ottenuti attraverso il questionario hanno rivelato che la posizione geografica dei rispondenti non influenza la loro conoscenza del tema.

Comunque, l'ipotesi di estendere le strutture di vertical farming anche nel sud Italia potrebbe comportare benefici aggiuntivi, come accrescere la fiducia nel settore da parte dei cittadini delle zone limitrofe e favorire l'acquisto di prodotti provenienti da vertical farm della medesima regione.

Infine, dai risultati del questionario somministrato alla popolazione italiana emerge che il 68,28% del campione si è dichiarato consapevole circa il vertical farming e mostra interesse per il tema della sostenibilità.

I principali canali di comunicazione per la conoscenza del tema sono risultati essere i social networks e la televisione, sottolineando l'importanza di investire in tali piattaforme per sensibilizzare il pubblico.

Inoltre, dall'analisi effettuata affiora che il genere dei partecipanti al sondaggio non ha influenzato significativamente lo studio.

Al contrario, le fasce d'età hanno dimostrato un ruolo rilevante in alcuni contesti: i soggetti più giovani tendono a preferire la comunicazione attraverso i social networks, mentre le fasce più mature mostrano una propensione per i mezzi tradizionali come la televisione e i giornali. Tuttavia, il tema della sostenibilità risulta essere di interesse per la maggior parte del campione, con un coinvolgimento che tende ad aumentare con l'età.

Complessivamente, il campione possiede una conoscenza del tema, seppur non approfondita, e manifesta interesse nel saperne di più. Si precisa, però, che solo una minoranza del campione ha riconosciuto la presenza dei prodotti da vertical farming nei supermercati e li ha acquistati; un numero ancora più esiguo ha dichiarato di consumare tali prodotti regolarmente.

Si intende ribadire che il vertical farming non nasce come concorrente dell'agricoltura tradizionale, ma come alternativa ad esso a seguito di motivazioni ben precise: il rapido cambiamento climatico che interessa il pianeta, la scarsità di risorse e l'aumentare della popolazione mondiale.

Dunque, si pone come una soluzione per mediare a tali problematiche, e permettere a quante più persone possibili di consumare prodotti necessari al fabbisogno alimentare e indipendentemente dalla stagionalità di tali prodotti.

I futuri sviluppi relativi a questa ricerca si concentreranno sulla valutazione delle campagne di promozione e marketing condotte dalle aziende, soprattutto nei supermercati, considerati luoghi chiave per l'acquisto di frutta e verdura da parte dei consumatori. Inoltre, si prenderà in considerazione il monitoraggio della variazione dei prezzi di vendita dei prodotti.

Ci si impegna dunque ad osservare la presenza di iniziative nel territorio nazionale quali spiegazione del vertical farming e prova del prodotto nelle scuole tramite lezioni *ad hoc*, nelle mense universitarie e degli uffici. Questo perché, come discusso in precedenza, alcuni ristoranti hanno già introdotto nelle preparazioni i prodotti provenienti da vertical farming o addirittura possiedono una vertical farm di dimensioni idonee per l'approvvigionamento diretto esclusivamente per il proprio utilizzo.

## 9 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] G. P. Suárez-Cáceres, V. M. Fernández-Cabanás, J. Lobillo-Eguívar e L. Pérez-Urrestarazu, «Consumers' knowledge, attitudes and willingness to pay for aquaponic products in Spain and Latin America,» *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 24, 2021.
- [2] G. Ares, B. Ha e S. R. Jaeger, «Consumer attitudes to vertical farming (indoor plant factory with artificial lighting) in China, Singapore, UK, and USA: A multi-method study,» *Food Research International*, vol. 150, 2021.
- [3] F. Kalantari e N. Akhyani, «Community acceptance studies in the field of vertical farming—A critical and systematic analysis to advance the conceptualisation of community acceptance in Kuala Lumpur,» *International Journal of Urban Sustainable Development*, vol. 13, n. 3, pp. 569-584, 2021.
- [4] K. Jürkenbeck, A. Heumann e A. Spiller, «Sustainability Matters: Consumer Acceptance of Different Vertical Farming Systems,» *Sustainability*, vol. 11, n. 15, 2019.
- [5] Y. Shao, Z. Wang, Z. Zhou, H. Chen, Y. Cui e Z. Zhou, «Determinants Affecting Public Intention to Use Micro-Vertical Farming: A Survey Investigation,» *Sustainability*, vol. 14, 2022.
- [6] Vertical Farm Italia S.R.L., [Online]. Available: <https://www.verticalfarmitalia.cloud/vertical-farm/>.
- [7] fps lab srl, [Online]. Available: [https://fpsshare.it/vertical-farming/?cli\\_action=1690280238.594](https://fpsshare.it/vertical-farming/?cli_action=1690280238.594).
- [8] A. Pomiato, 7 Luglio 2022. [Online]. Available: <https://quifinanza.it/green/urban-farming-e-urban-gardening-lagricoltura-entra-in-citta/655830/#:~:text=Il%20Vertical%20Farming%20funziona%20in,sfruttare%20il%20sistema%20d el%20compostaggio>.
- [9] F. Latini, 17 Aprile 2015. [Online]. Available: <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/vertical-farm-coltivazioni-314>.
- [10] L. Iseppi e M. C. Ting Fa, «L'agricoltura Orizzontale E Verticale Nelle Aree Rurali E Impatti,» 2009.
- [11] E. Grenga, 22 Aprile 2022. [Online]. Available: <https://www.smartius.it/digital-industry/vertical-farming-cose-perche-rivoluzione-agricoltura/#le-tecniche-di-coltivazione-utilizzate-nel-vertical-farming>.
- [12] «Wikipedia,» [Online]. Available: <https://www.smartius.it/digital-industry/vertical-farming-cose-perche-rivoluzione-agricoltura/#le-tecniche-di-coltivazione-utilizzate-nel-vertical-farming>.
- [13] A. Salvador, 17 Aprile 2020. [Online]. Available: <https://www.acquaponica.blog/vertical-farming-cos-e-come-funziona-acquaponica-blog/>.

- [14] A. Ballochhi, «WISE SOCIETY people for a sustainable future,» 19 Aprile 2022. [Online]. Available: <https://wisesociety.it/ambiente-e-scienza/vertical-farming/>.
- [15] V. Tartamella, 22 Aprile 2022. [Online]. Available: <https://www.focus.it/tecnologia/innovazione/come-funziona-una-vertical-farm-idroponica>.
- [16] B. Massaro, 23 Maggio 2023. [Online]. Available: <https://www.panorama.it/economia/agricoltura-verticale-come-funziona>.
- [17] Gruppo Caviro, [Online]. Available: [https://www.innesti.com/8-conessioni/vertical-farm-la-tecnologia-incontra-lagricoltura/?gclid=CjwKCAjwr\\_CnBhA0EiwAci5siqc\\_rp-PJt34mYKaELqQYYDo-xlTLe7JYd7Y-Ta1rwnrdEi7oVyoCRoCmBgQAvD\\_BwE](https://www.innesti.com/8-conessioni/vertical-farm-la-tecnologia-incontra-lagricoltura/?gclid=CjwKCAjwr_CnBhA0EiwAci5siqc_rp-PJt34mYKaELqQYYDo-xlTLe7JYd7Y-Ta1rwnrdEi7oVyoCRoCmBgQAvD_BwE).
- [18] Growrilla Hydroponics, 17 Gennaio 2019. [Online]. Available: <https://growrillahydroponics.com/le-4-migliori-tecniche-di-coltivazione-idroponica/#gref>.
- [19] Acquaponica ItaliaIdroponica, acquacoltura, acquaponica e aeroponica, 11 Dicembre 2018. [Online]. Available: <https://idroponica.home.blog/2018/12/11/tipologie-di-coltivazione-idroponica/>.
- [20] D. Scarpin, «Acquaponica.blog,» 18 Marzo 2021. [Online]. Available: <https://www.acquaponica.blog/acquaponica-acqua-salata/>.
- [21] G. D. Muro, 26 Marzo 2020. [Online]. Available: <https://www.authorea.com/doi/full/10.22541/au.158525190.07859900>.
- [22] Acquaponica.blog, [Online]. Available: <https://www.acquaponica.blog/>.
- [23] B. L. P. G. Tignani M.V., Edizioni Pubblicità Italia S.r.l., 2022. [Online]. Available: <https://www.pubblicitaitalia.com/pesce/prodotti/il-pesce/2022/4/20779>.
- [24] M. Benvenuti, 18 Maggio 2022. [Online]. Available: <https://managaia.eco/cosa-si-puo-produrre-in-vertical-farm/>.
- [25] T. Cinquemani, 19 Aprile 2020. [Online]. Available: <https://startupitalia.eu/65223-20200225-dal-caffe-agli-hamburger-tutti-pazzi-funghi>.
- [26] L. Cerbini, 3 Novembre 2022. [Online]. Available: [https://www.corriere.it/pianeta2030/22\\_novembre\\_03/funghi-insalata-idroponica-risparmiare-terra-nutrir-la-container-caffe-pesci-3a9a76b2-5aa4-11ed-b2ae-e184f5800d52.shtml](https://www.corriere.it/pianeta2030/22_novembre_03/funghi-insalata-idroponica-risparmiare-terra-nutrir-la-container-caffe-pesci-3a9a76b2-5aa4-11ed-b2ae-e184f5800d52.shtml).
- [27] Vitaagricola, [Online]. Available: <https://www.vitaagricola.it/i-pesci-adatti-per-un-sistema-di-coltivazione-dacquaponica/>.
- [28] I. D. E. ITALIANA, «Treccani,» [Online]. Available: <https://www.treccani.it/vocabolario/biologico/>.



- [29] QCERTIFICAZIONI S.R.L., [Online]. Available: <https://www.qcertificazioni.it/come-fare-per/bio/#:~:text=Per%20ottenere%20la%20certificazione%20per,e%20certificazione%20nell'Unione%20Europea.>
- [30] iFarm, 15 Febbraio 2023. [Online]. Available: <https://ifarm.fi/blog/vertical-farming-costs.>
- [31] T. Cinquemani, 25 Agosto 2023. [Online]. Available: <https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agricoltura-economia-politica/2023/08/25/vertical-farm-una-bolla-esplosa-o-un-settore-in-consolidamento/79774.>
- [32] U. Stampa, 28 Gennaio 2020. [Online]. Available: [https://blog.contoterzisti.it/vertical-farm-ma-quanto-mi-costi/.](https://blog.contoterzisti.it/vertical-farm-ma-quanto-mi-costi/)
- [33] H. Zhang, A. Asutosh e W. Hu, «Implementing Vertical Farming at University Scale to Promote Sustainable Communities: A Feasibility Analysis,» *Sustainability*, vol. 10, n. 12, 2018.
- [34] Y. Shao, T. Heath e Y. Zhu, «Developing an economic estimation system for vertical farms,» *International Journal of Agricultural and Environmental Information (IJAEIS)*, vol. 7, 2016.
- [35] K. L. Armas, L. Gina e C. Dela Cruz, «FINANCIAL VIABILITY OF BUSINESS MODELS FOR ENGINEERED VERTICAL HYDROPONICS SYSTEMS FOR SUSTAINABLE ONION PRODUCTION IN THE PHILIPPINES,» *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, vol. 4, n. 2, pp. 864-872, 2023.
- [36] R. Ullah, I. Asghar, M. G. Griffiths, C. Stacey, W. Stiles e C. Whitelaw, «Internet of Things based Sensor System for Vertical Farming and Controlled Environment Agriculture,» in *2023 6th Conference on Cloud and Internet of Things (CIoT)*, 2023.
- [37] A. Hakim e A. Hussain, «A Secure Cloud Enabled Indoor Hydroponic System Via ThingsSentral IoT Platform,,» in *8th Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, Melaka, Malaysia, 2020.
- [38] M. E. H. Chowdhury, A. Khandakar, S. Ahmed, F. Al-Khuzaei, J. Hamdalla, F. Haque, M. B. I. Reaz, A. Al Shafei e N. Al-Emadi, «Design, Construction and Testing of IoT Based,» *Sensors*, 2020.
- [39] M. Cantamessa e F. Montagna, *Management of Innovation and Product Development*, Springer Nature, 2023.
- [40] L. McKinney, 1 Aprile 2021. [Online]. Available: <https://it1.surveillancepackages.com/difference-between-basic-and-applied-research-2a4.>
- [41] V. Lavecchia. [Online]. Available: [https://vitolavecchia.altervista.org/differenza-tra-innovazione-di-prodotto-di-processo-e-di-marketing/.](https://vitolavecchia.altervista.org/differenza-tra-innovazione-di-prodotto-di-processo-e-di-marketing/)
- [42] M. Mirella, «Innovazione architettuale ed innovazione radicale: effetti sulle competenze organizzative delle imprese.,» *Sinergie Italian Journal of Management* 67, pp. 259-264, 2011.
- [43] «Statista,» [Online]. Available: [https://www.statista.com/.](https://www.statista.com/) [Consultato il giorno 6 2 2024].

- [44] «Vertical Farming Market Size, Trends and Forecast to 2030,» [Online]. Available: <https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/vertical-farming-market-5469/amp>. [Consultato il giorno 6 2 2024].
- [45] T. Cinquemani, «AgroNotizie,» 25 8 2023. [Online]. Available: <https://agronotizie.imaginenetwork.com/agricoltura-economia-politica/2023/08/25/vertical-farm-una-bolla-esplosa-o-un-settore-in-consolidamento/79774>. [Consultato il giorno 6 2 2024].
- [46] Grand View Research, «Vertical Farming Market Size, Share & Analysis Report, 2030,» [Online]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/vertical-farming-market#>. [Consultato il giorno 6 2 2024].
- [47] B. Piselli, «inNaturale,» 1 9 2019. [Online]. Available: <https://www.innaturale.com/vertical-farming-cosa-e-quali-sono-i-vantaggi>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [48] «a2aenergia,» 2 5 2022. [Online]. Available: <https://magazine.a2aenergia.eu/sostenibilita/vertical-farming-cose-e-quali-benefici-porta-allambiente>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [49] «HelloGreen,» 31 3 2023. [Online]. Available: <https://www.hellogreen.it/vertical-farming-futuro-agricoltura/>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [50] F. Gagliotti, «Il mattino,» 15 3 2023. [Online]. Available: [https://www.ilmattino.it/economia/news/vertical\\_farming\\_intervista\\_stefania\\_de\\_pascale-7287842.html](https://www.ilmattino.it/economia/news/vertical_farming_intervista_stefania_de_pascale-7287842.html). [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [51] G. D. Angelis, «Mediaquattro Green Magazine Multimediale,» 31 5 2018. [Online]. Available: <https://mediaquattro.it/i-pro-e-i-contro-del-vertical-farming/>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [52] Sensory seeds, 30 5 2023. [Online]. Available: <https://www.sensoryseeds.it/coltivazione-verticale-caratteristiche-vantaggi-svantaggi/>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [53] «planeta,» [Online]. Available: <https://www.planetasrl.net/giardini-verticali/vertical-farming/>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [54] R. Piccolo, «Linkiesta,» 14 10 2022. [Online]. Available: <https://www.linkiesta.it/2022/10/vertical-farming-pro-contro-crisi-energetica/>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [55] R. Oldani, «Cviltà del bere,» Editoriale Lariana Srl, 22 3 2023. [Online]. Available: <https://www.civiltadelbere.com/vertical-farming-tra-speranze-e-difficolta/>. [Consultato il giorno 14 11 2023].
- [56] [Online]. Available: <https://www.mybib.com/>.
- [57] I. Righini, C. Stanghellini, S. Hemming, L. Graamans e Leo, «Resources for plant-based food: Estimating resource use to meet the requirements of urban and peri-urban diets,» *Food and Energy Security*, vol. 12, 2023.

- [58] L. Carotti, A. Pistillo, I. Zauli, D. Meneghello, M. Martin, G. Pennisi, G. Gianquinto e F. Orsini, «Improving water use efficiency in vertical farming: Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation,,» *Agricultural Water Management*, vol. 285, 2023.
- [59] M. Tavan, B. Wee, G. Brodie, S. Fuentes, A. Pang e D. Gupta, «Optimizing Sensor-Based Irrigation Management in a Soilless Vertical Farm for Growing Microgreens,» *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 4, 2021.
- [60] D. Sanjuan-Delmás, P. Llorach-Massa, A. Nadal, M. Ercilla-Montserra, P. Muñoz, J. I. Montero, A. Josa, X. Gabarrell e J. Rieradevall, «Environmental assessment of an integrated rooftop greenhouse for food production in cities,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 177, pp. 326-337, 2018.
- [61] L. Carotti, G. Potente, G. Pennisi, K. B. Ruiz, S. Biondi, A. Crepaldi, F. Orsini, G. Gianquinto e F. Antognoni, «Pulsed LED Light: Exploring the Balance between Energy Use and Nutraceutical Properties in Indoor-Grown Lettuce,» *Agronomy*, vol. 11, n. 6, 2021.
- [62] F. Orsini e I. Zauli, «Where to go for sustainable and feasible vertical farming? A journey through resource use, environmental performances and viability indicators,,» *Acta horticulturae*, pp. 117-124, 2023.
- [63] P. Morella, M. P. Lambán, J. Royo e J. C. Sánchez, «Vertical Farming Monitoring: How Does It Work and How,» *Sensors*, vol. 23, 2023.
- [64] S. Samir, T. Abufarag e S. Goubran, «Vertical Farming as a Nature-Based Solution for Sustainable City Regeneration: A Life Cycle Assessment,» in *4th International Conference on Urban Planning - ICUP2022*, Nis, Serbia, 2022.
- [65] M. Cossu, M. T. Tiloca, A. Cossu, P. Deligios, T. Pala e L. Ledda, «Increasing the Agricultural Sustainability of Closed Agrivoltaic Systems with the Integration of Vertical Farming: A Case Study on Baby-Leaf Lettuce,» *Applied Energy*, vol. 344, 2023.
- [66] G. Pennisi, A. Pistillo, F. Orsini, A. Cellini, F. Spinelli, S. Nicola, J. A. Fernandez, A. Crepaldi, G. Gianquinto e L. F. Marcelis, «Optimal Light Intensity for Sustainable Water and Energy Use in Indoor Cultivation of Lettuce and Basil under Red and Blue LEDs,» *Scientia Horticulturae*, vol. 272, 2020.
- [67] METTLER TOLEDO, [Online]. Available: [https://www.mt.com/it/it/home/applications/Laboratory\\_weighing/pesticide\\_residue\\_testing.html](https://www.mt.com/it/it/home/applications/Laboratory_weighing/pesticide_residue_testing.html).
- [68] S. Blasioli, E. Buscaroli, K. Di Prodi e I. (. d. D. d. S. e. T. A.-a. (. M. S. U. d. B. Braschi, «Monitoraggio di residui di pesticidi in ortofrutta in pre-raccolta (Serie storica 2007-2016) Focus sull'Emilia-Romagna,» 2021.
- [69] [Online]. Available: <https://www.esperimentanda.com/come-rivelare-i-pesticidi-in-frutta-e-verdura/>.

- [70] C. Fournieris, 22 Aprile 2019. [Online]. Available: <https://it.euronews.com/next/2019/04/22/crm-uno-standard-comune-per-misurare-i-pesticidi>.
- [71] Filodafab srl, 1 Giugno 2017. [Online]. Available: <https://www.growshopitalia.com/manuali-e-risorse/fertilizzazione-coltivazione-idroponica-indoor>.
- [72] M. Gigliotti, «Sviluppo di un sistema di monitoraggio per la sostenibilità del settore agroalimentare e della gestione idrica nell'area mediterranea,» tesi di dottorato, Università di Siena, 2022.
- [73] L. Schütz, A. Gattinger, M. Meier, A. Müller, T. Boller, P. Mäder e N. Mathimaran, «Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—a Global Meta-Analysis,» *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, 2018.
- [74] BIOSTIMOLANTE.COM, [Online]. Available: <https://www.biostimulant.com/it/blog-26-improving-nutrient-use-efficiency-through-plant-biostimulants/>.
- [75] G. Kudirka, A. Viršilė, R. Sutulienė, K. Laužikė e G. Samuolienė, «Precise Management of Hydroponic Nutrient Solution PH: The Effects of Minor PH Changes and MES Buffer Molarity on Lettuce Physiological Properties,» *Horticulturae*, vol. 9, n. 7, p. 837, 2023.
- [76] M. Martin e F. Orsini, «Life Cycle Assessment of Indoor Vertical Farms.,» *Advances in Plant Factories: New Technologies in Indoor Vertical Farming*, 2023.
- [77] PROCESS FACTORY, [Online]. Available: <https://www.processfactory.it/lca-life-cycle-assessment-di-cosa-si-tratta/>.
- [78] M. G. Parkes, D. L. Azevedo, A. C. Cavallo e T. Domingos, «Life cycle assessment of microgreen production: Effects of Indoor Vertical Farm Management on Yield and Environmental Performance,» *ProQuest*, 2023.
- [79] M. G. Parkes, J. P. Cubillos Tovar, F. Dourado, T. Domingos e R. F. M. Teixeira, «Life Cycle Assessment of a Prospective Technology for Building-Integrated Production of Broccoli Microgreens.,» *Atmosphere*, vol. 13, 2022.
- [80] M. Martin, M. Elnour e A. C. Siñol, «Environmental Life Cycle Assessment of a Large-Scale Commercial Vertical Farm.,» *Sustainable Production and Consumption*, pp. 182-193, 2023.
- [81] M. Martin, S. Poulíkidou e E. Molin, «Exploring the Environmental Performance of Urban Symbiosis for Vertical Hydroponic Farming,» *Sustainability*, vol. 11, 2019.
- [82] G. Barbosa, F. Gadelha, N. Kublik, A. Proctor, L. Reichelm, E. Weissinger, G. Wohlleb e R. Halden, «Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, pp. 6879-6891, 2015.

- [83] F. Bafort, S. Kohnen, E. Maron, A. Bouhadada, N. Ancion, N. Crutzen e M. H. Jijakli, «The Agro-Economic Feasibility of Growing the Medicinal Plant *Euphorbia peplus* in a Modified Vertical Hydroponic Shipping Container,» *Horticulturae*, vol. 8, 2022.
- [84] M. López-Gómez, A. Gine, M. D. Vela, C. Ornat, F. J. Sorribas, M. Talavera e S. Verdejo-Lucas, «Damage functions and thermal requirements of *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita* on watermelon.,» *Annals of applied biology*, vol. 165, pp. 466-473, 2014.
- [85] R. Fischer, «Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change,» *Field Crops Research*, vol. 182, pp. 9-18, 2015.
- [86] C. Hernández-Adasme, R. Palma-Dias e V. H. Escalona, «The Effect of Light Intensity and Photoperiod on the Yield and Antioxidant Activity of Beet Microgreens Produced in an Indoor System,» *Horticulturae*, vol. 9, p. 493, 2023.
- [87] S. Mustapha, A. K. Musa, O. A. Apalowo, A. A. Lawal, O. I. Olayiwola, H. O. Bamidele e R. O. Uddin II, «Open vertical farms: a plausible system in increasing tomato yield and encouraging natural suppression of whiteflies,» *Acta agriculturae Slovenica*, vol. 118, 2022.
- [88] S. Asseng, J. R. Guarin, M. Raman, O. Monje, G. Kiss, D. D. Despommier, F. M. Meggers e P. P. G. Gauthier, «Wheat yield potential in controlled-environment vertical farms,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, pp. 19131-19135, 2020.
- [89] D. Dimov e P. Noack, «Exploring the Potential of Multi-Temporal Crop Canopy Models and Vegetation Indices from Pleiades Imagery for Yield Estimation,» *Remote Sensing Technologies, Crop Yield, Soil and Weather Data Integration in Digital Agriculture*, 2023.
- [90] R. Medar, K. Git, Belagavi, V. Rajpurohit e S. Git, «Crop Yield Prediction using Machine Learning Techniques,» in *5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, Pune, India, 2019.
- [91] P. Maya Gopal e R. Bhargavi, «A novel approach for efficient crop yield prediction,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 165, 2019.
- [92] M. P. C. M. Krijn, R. F. M. Van Elmp, S. L. van de Voort, Nicole, C. C. S., G. Van Der Feltz e T. Van Den Bergh, «Factors critical to plant factory performance,» *International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant*, pp. 615-622, 2017.
- [93] [Online]. Available: <https://www.mbaskool.com/business-concepts/operations-logistics-supply-chain-terms/7318-uptime.html#:~:text=Uptime%20is%20the%20ratio%20of,machinery%20or%20equipment%20is%20available..>
- [94] [Online]. Available: <https://www.asprova.jp/mrp/glossary/en/cat254/post-884.html#:~:text=Failure-,Failure,items%20are%20called%20defected%20goods.>

- [95] [Online]. Available: <https://nexusintegra.io/how-to-reduce-production-failures/>.
- [96] [Online]. Available: <https://byjusexamprep.com/upsc-exam/crop-period-is-defined-as>.
- [97] [Online]. Available: <https://study.com/learn/lesson/throughput-rate-time-formula-calculate.html#:~:text=This%20concept%20is%20applied%20to,as%20the%20throughput%20time%20formula..>
- [98] [Online]. Available: <https://www.dizionariologica.com/>.
- [99] «Barone, Adam,» 2023. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/bottleneck.asp>.
- [100] F. Orsini, «SAGGI E PUNTI DI VISTA/ ESSAYS AND VIEWPOINT,» 2022.
- [101] Alma Mater Studiorum Università di Bologna, dipartimento di scienze e tecnologie agro-alimentari, *Distal informa*, 2021.
- [102] D. Orazi, D. Power, R. Gruner -Davide e O. -D. Power, «Global versus local: an exploration on how vertical farms can lead the way to more sustainable supply chains Global Versus Local: An Exploration on How Vertical Farms Can Lead the Way to More Sustainable Supply Chains,» *IEEE ENGINEERING MANAGEMENT REVIEW*,, vol. 41, 2013.
- [103] T. Van Gerrewey, N. Boon e D. Geelen, «Vertical Farming: The Only Way Is Up?,» *Agronomy*, vol. 12, 2021.
- [104] M. Boualam, «SCM GLOBE,» 2021. [Online]. Available: <https://www.scmglobe.com/vertical-farming-for-a-better-food-supply-chain/>.
- [105] M. Martin e E. Molin, «Environmental Assessment of an Urban Vertical Hydroponic Farming System in Sweden,» *Sustainability*, vol. 11, 2019.
- [106] D. D. Avgoustaki e G. Xydis, «How energy innovation in indoor vertical farming can improve food security, sustainability, and food safety?,» *Advances in Food Security and Sustainability*, pp. 1-51, 2020.
- [107] C. Cunnane, «Logistics Viewpoints,» 29 1 2020. [Online]. Available: <https://logisticsviewpoints.com/2020/01/29/vertical-farming/>.
- [108] N. Corvino, «Il Fatto Alimentare,» 13 6 2022. [Online]. Available: <https://ilfattoalimentare.it/vertical-farm-agricoltura-fuori-suolo-italia-2.html> . [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [109] «Logistica Efficiente,» [Online]. Available: <https://www.logisticaefficiente.it/le/magazzino/automazione/vertical-farming-futuro-logistica-alimentare.html>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [110] S. Gu, H. Ji, Y. Yang, Q. Chu, Y. Yang, H. Liu e X. Jiang, «Analysis on Transporting Methods of Cultivation Unit for Vertical Cultivation in Plant Factory,» *Agriculture*, vol. 11, 2021.

- [111] «Future Crops: magazzino automatico verticale - Automha,» 12 11 2020. [Online]. Available: <https://www.automha.it/case-history/future-magazzino-automatico-verticale/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [112] «Logistica robotizzata per il vertical farming: progetto di Swisslog,» 11 6 2021. [Online]. Available: <https://www.freshcutnews.it/2021/06/11/logistica-robotizzata-vertical-farming-progetto-swisslog/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [113] M. Bozzola, «GreenPlanner Magazine,» 2 11 2022. [Online]. Available: <https://www.greenplanner.it/2022/11/02/vertical-farming-milano/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [114] «Il Cucchiaino d'Argento,» 16 09 2022. [Online]. Available: <https://www.cucchiaino.it/sostenibilita/planet-farms-e-insalata-verticale-come-si-coltiva-dove-si-compra-quanto-costa/>. [Consultato il giorno 3 12 2023].
- [115] Redazione Millionaire, 7 11 2022. [Online]. Available: <https://www.millionaire.it/planet-farms-e-milanesi-la-vertical-farm-piu-grande-deuropa/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [116] G. Ferraino, «Corriere della Sera,» 3 5 2022. [Online]. Available: [https://www.corriere.it/economia/aziende/22\\_marzo\\_05/planet-farms-fattorie-verticali-made-italy-puntano-londra-3e2467ee-9bdb-11ec-87e9-1676e8d33acb.shtml](https://www.corriere.it/economia/aziende/22_marzo_05/planet-farms-fattorie-verticali-made-italy-puntano-londra-3e2467ee-9bdb-11ec-87e9-1676e8d33acb.shtml). [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [117] C. Nast, «Vogue Italia,» 8 5 2022. [Online]. Available: <https://www.vogue.it/news/article/planet-farm-serra-verticale-milano-cavenago-tessuti-futuro>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [118] «Gambero Rosso,» 1 11 2022. [Online]. Available: <https://www.gamberorosso.it/notizie/tre-progetti-innovativi-vertical-farm-italia/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [119] «Planet Farms. Go Vertical.,» [Online]. Available: <https://www.planetfarms.ag/it>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [120] M. Chicco, «Wired,» 10 2 2022. [Online]. Available: <https://www.wired.it/article/startup-planet-farms-agricoltura-verticale-investimento/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [121] «Agricola Moderna,» [Online]. Available: <https://agricolamoderna.com/>.
- [122] L. Di Stefano, 26 11 2020. [Online]. Available: <https://www.nonsprecare.it/agricola-moderna>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [123] «Fruitbookmagazine,» 30 9 2020. [Online]. Available: <https://www.fruitbookmagazine.it/agricola-moderna-da-cortilia-e-carrefour-le-baby-leaf-da-vertical-farm/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [124] «Fruitbook magazine,» 6 4 2022. [Online]. Available: <https://www.fruitbookmagazine.it/agricola-moderna-da-cortilia-e-carrefour-le-baby-leaf-da-vertical-farm/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].

- [125] «Fruitbook magazine,» 28 9 2022. [Online]. Available: <https://www.fruitbookmagazine.it/agricola-moderna-dallolio-esausto-di-frittura-nasce-un-nuovo-packaging-pop/> . [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [126] «Fresh Cut News,» 27 10 2023. [Online]. Available: <https://www.freshcutnews.it/2023/10/27/agricola-moderna-nuovi-pack-green-e-super-impattanti/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [127] L. Moroni, «Fresh Point,» 1 4 2023. [Online]. Available: <https://www.freshpointmagazine.it/produzione-mercati/quali-sono-le-principali-aziende-impegnate-nel-vertical-farming-in-italia/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [128] «Fruitbook magazine,» 24 1 2023. [Online]. Available: <https://www.fruitbookmagazine.it/the-circle-aromatiche-e-baby-leaf-nella-farm-acquaponica-piu-grande-deuropa/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [129] «BacktoWork,» [Online]. Available: <https://www.backtowork24.com/online-campaign.php?c=124-the%20circle>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [130] L. Montagnoli, «Gambero Rosso,» 5 2 2021. [Online]. Available: <https://www.gamberorosso.it/notizie/the-circle-e-la-scommessa-sul-b2c-nasce-la-prima-linea-di-pesti-acquaponici/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [131] M. Cappellini, «Il sole 24 ORE,» 6 10 2023. [Online]. Available: <https://www.ilsole24ore.com/art/apre-brescia-kilometro-verde-piu-grande-vertical-farm-d-europa-AF6wpy8>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [132] «Fruitbook magazine,» 6 10 2023. [Online]. Available: 21) <https://www.fruitbookmagazine.it/kilometro-verde-inaugura-la-vertical-farm-di-verolanuova-bs-operativa-entro-natale/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [133] « Fresh Cut News,» 7 10 2023. [Online]. Available: 22) <https://www.freshcutnews.it/2023/10/07/inaugurata-la-vertical-farm-di-kilometro-verde-sara-operativa-a-fine-anno-parata-di-autorita/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [134] «LocalGreen,» [Online]. Available: <https://www.localgreen.it/>. [Consultato il giorno 20 11 2023].
- [135] C. Daniele, «Freshpoint Magazine,» 10 1 2022. [Online]. Available: [https://www.freshpointmagazine.it/innovazione-e-ricerca/localgreen-nuovo-impianto-vertical-farming-quarta-gamma-insalate/?utm\\_term=611587+-+https%3A//www.freshpointmagazine.it/innovazione-e-ricerca/localgreen-nuovo-impianto-vertical-farming-quarta-gamma-](https://www.freshpointmagazine.it/innovazione-e-ricerca/localgreen-nuovo-impianto-vertical-farming-quarta-gamma-insalate/?utm_term=611587+-+https%3A//www.freshpointmagazine.it/innovazione-e-ricerca/localgreen-nuovo-impianto-vertical-farming-quarta-gamma-). [Consultato il giorno 20 11 2023].
- [136] «BioExtraSolum,» [Online]. Available: <https://bioextrasolum.it/>. [Consultato il giorno 20 11 2023].
- [137] «Zero,» [Online]. Available: <https://www.zerofarms.it/>. [Consultato il giorno 25 11 2023].



- [138] «Tomato+,» [Online]. Available: <https://www.tomatopiu.com/>. [Consultato il giorno 25 11 2023].
- [139] «Agricooltur,» [Online]. Available: <https://www.agricooltur.it/>. [Consultato il giorno 28 12 2023].
- [140] «OnoExponentialFarming,» [Online]. Available: <https://onoexponentialfarming.com/>. [Consultato il giorno 3 2 2024].
- [141] «Netled,» [Online]. Available: <https://netled.fi/>. [Consultato il giorno 25 11 2023].
- [142] «Urban Crop Solutions,» [Online]. Available: <https://urbancropsolutions.com/>. [Consultato il giorno 25 11 2023].
- [143] «LettUs Grow,» [Online]. Available: <https://www.lettusgrow.com/>. [Consultato il giorno 25 11 2023].
- [144] «iFarm,» [Online]. Available: <https://ifarm.fi/>. [Consultato il giorno 25 11 2023].
- [145] «Wikipedia,» [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/IFarm>. [Consultato il giorno 25 11 2023].
- [146] M. M. Teresa, «ilsole24ore,» 12 9 2023. [Online]. Available: [https://www.ilsole24ore.com/art/agricoltura-verticale-pieno-d-investimenti-le-start-up-italiane-AFPOyUk?refresh\\_ce=1](https://www.ilsole24ore.com/art/agricoltura-verticale-pieno-d-investimenti-le-start-up-italiane-AFPOyUk?refresh_ce=1). [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [147] «Agrifood.tech,» 11 2 2022. [Online]. Available: <https://www.agrifood.tech/digital-farming/sempreru-piu-investimenti-nel-vertical-farm-planet-farms-chiude-un-series-a-round-da-30-mln-di-euro/>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [148] 10 2 2022. [Online]. Available: <https://www.milanofinanza.it/news/azimut-investe-nel-vertical-farming-con-planet-farms-holding-s-p-a-202202101505511760>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [149] «Ismea,» [Online]. Available: <https://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/6>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [150] Ansa, 23 2 2023. [Online]. Available: [https://www.ansa.it/sito/notizie/economia/agrimercati/2023/02/23/isma-investe-nella-vertical-farm-piu-grande-deuropa\\_546dbdbe-695e-42f7-bd9f-e26968b4fc91.html](https://www.ansa.it/sito/notizie/economia/agrimercati/2023/02/23/isma-investe-nella-vertical-farm-piu-grande-deuropa_546dbdbe-695e-42f7-bd9f-e26968b4fc91.html). [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [151] «Corriere oltrofrutticolo,» 23 2 2023. [Online]. Available: <http://www.corriereortofrutticolo.it/2023/02/23/vertical-farming-6-milioni-isma-kilometro-verde-battagliola/>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [152] «Invitalia,» 7 6 2023. [Online]. Available: <https://www.invitalia.it/chi-siamo/area-media/notizie-e-comunicati-stampa/mattarella-visita-the-circle>. [Consultato il giorno 29 11 2023].
- [153] P. Delle Molle, «Zero Farm e Ca' Foscari, partnership per l'agricoltura sostenibile del futuro,» Nord Est Economia, 21 6 2023. [Online]. Available:

[https://nordesteconomia.gelocal.it/imprese/2023/06/21/news/zero\\_farm\\_e\\_ca\\_foscari\\_partnership\\_per\\_lagricoltura\\_sostenibile\\_del\\_futuro-12869796/](https://nordesteconomia.gelocal.it/imprese/2023/06/21/news/zero_farm_e_ca_foscari_partnership_per_lagricoltura_sostenibile_del_futuro-12869796/). [Consultato il giorno 3 2 2024].

- [154] «FutureFarming: al via la biofabbrica da 20 mln grazie alla partnership tra Ca' Foscari e ZERO,» Fruitbook Magazine , 15 5 2023. [Online]. Available: <https://www.fruitbookmagazine.it/futurefarming-al-via-la-biofabbrica-da-20-mln-grazie-alla-partnership-tra-ca-foscari-e-zero/>. [Consultato il giorno 3 2 2024].
- [155] U. C. F. Venezia, «Future Farming, dagli eco-materiali alla bio-farmaceutica,» 30 7 2023. [Online]. Available: [https://www.unive.it/pag/14024/?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=14513&cHash=00837d544e2729cd1a098b4f09c3d2c1](https://www.unive.it/pag/14024/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=14513&cHash=00837d544e2729cd1a098b4f09c3d2c1). [Consultato il giorno 3 2 2024].
- [156] 27 1 2022. [Online]. Available: <http://www.corriereortofrutticolo.it/2022/01/27/walmart-catena-ad-investire-sul-vertical-farming-accordo-plenty/>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [157] 26 1 2022. [Online]. Available: <https://www.agrifood.tech/sostenibilita/walmart-investe-in-plenty-startup-di-indoor-vertical-farming/>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [158] Walmart U.S., 25 1 2022. [Online]. Available: <https://corporate.walmart.com/news/2022/01/25/walmart-and-plenty-partner-to-lead-the-future-of-fresh-produce>. [Consultato il giorno 26 11 2023].
- [159] D. M. Dario, «Dissapore,» 18 10 2021. [Online]. Available: <https://www.dissapore.com/spesa/agricoltura-verticale-che-strano-trovare-al-supermercato-linsalata-da-vertical-farming/>. [Consultato il giorno 3 12 2023].
- [160] «FreshCutNews,» 29 09 2023. [Online]. Available: <https://www.freshcutnews.it/2023/09/29/planet-farms-taglia-i-prezzi-e-apre-anche-allestero-il-segreto-della-crescita/>. [Consultato il giorno 3 12 2023].
- [161] [Online]. Available: <https://www.carrefour.it/p/basilico/8055060787615.html>.
- [162] [Online]. Available: <https://www.cortilia.it/produttori/agricola-moderna>.
- [163] «MyFruit,» 3 7 2023. [Online]. Available: <https://www.myfruit.it/retail/2023/07/ecco-planetiamo-la-private-label-da-vertical-farming.html>. [Consultato il giorno 3 12 2023].
- [164] «InsideMarketing,» [Online]. Available: <https://www.insidemarketing.it/glossario/definizione/private-label/>. [Consultato il giorno 3 12 2023].
- [165] «FreshPointMagazine,» 11 7 2023. [Online]. Available: <https://www.freshpointmagazine.it/retail-marketing/gdo/penny-vertical-farming-insalate-planetiamo-pl-private-label-natura-e/>. [Consultato il giorno 3 12 2023].

- [166] «Food,» 14 12 2023. [Online]. Available: <https://www.foodweb.it/2023/12/coop-e-kilometro-verde-lanciano-l-insalata-da-vertical-farming/>. [Consultato il giorno 7 1 2024].
- [167] [Online]. Available: <https://www.thecircle.global/>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [168] [Online]. Available: [https://www.ikea.com/it/it/?gclsrc=aw.ds&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA4NWrBhD-ARIsAFCKwWuOO5tlzOZ7q6E5vzcyBVTxoAxBRNQvSgjiw10hgpaSRDFhvQRt1Fg0aAhgLEALw\\_wcB&gclsrc=aw.ds](https://www.ikea.com/it/it/?gclsrc=aw.ds&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4NWrBhD-ARIsAFCKwWuOO5tlzOZ7q6E5vzcyBVTxoAxBRNQvSgjiw10hgpaSRDFhvQRt1Fg0aAhgLEALw_wcB&gclsrc=aw.ds). [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [169] [Online]. Available: <https://www.infarm.com/>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [170] «FoodService,» 20 6 2022. [Online]. Available: <https://www.foodserviceweb.it/2022/06/20/anche-ikea-punta-sul-vertical-farming/>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [171] [Online]. Available: <https://www.davittorio.com/>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [172] M. Anna, «Mixer planet,» 16 1 2023. [Online]. Available: <https://www.mixerplanet.com/ristorante/217105/e-a-brusaporto-da-vittorio-la-prima-vertical-farm-al-mondo-per-l-alta-ristorazione.html>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [173] «Monza today,» 24 1 2023. [Online]. Available: <https://www.monzatoday.it/attualita/orto-vertical-da-vittorio.html>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [174] P. Vivian, «CiboToday,» 2 9 2023. [Online]. Available: <https://www.cibotoday.it/storie/agricoltura/vertical-farm-pubblica-torrita-di-siena.html>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [175] D. I. Martina, CiboToday, 1 9 2023. [Online]. Available: <https://www.cibotoday.it/dove-mangiare/pizzerie/pizzium-apre-farm-acerra.html>. [Consultato il giorno 10 12 2023].
- [176] Wikipedia, [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest\\_neighbors\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm). [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [177] [Online]. Available: <https://www.andreaminini.com/ai/machine-learning/algorithm-naive-bayes>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [178] Wikipedia, [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Rete\\_neurale\\_artificiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Rete_neurale_artificiale). [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [179] 14 1 2022. [Online]. Available: <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/un-glossario-per-lintelligenza-artificiale-da-algoritmo-a-unsupervised-learning/>. [Consultato il giorno 5 11 2023].
- [180] [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/random-forest>.
- [181] 23 6 2019. [Online]. Available: <https://medium.com/@singhakshay.etw69/support-vector-regression-4216416f94c0>. [Consultato il giorno 5 11 2023].

- [182] «La scuola dei dati,» [Online]. Available: <https://www.yimp.it/correlazione-statistica/>. [Consultato il giorno 29 1 2024].
- [183] «La scuola dei dati,» [Online]. Available: <https://www.yimp.it/varianza/>. [Consultato il giorno 29 1 2024].
- [184] «Edu-tecnica,» [Online]. Available: <https://www.edutecnica.it/calcolo/varianza/varianza.htm>. [Consultato il giorno 31 1 2024].

## RINGRAZIAMENTI

Al termine del mio percorso di studi presso il Politecnico di Torino, desidero esprimere la mia profonda gratitudine alla Professoressa Giulia Bruno, per avermi guidato come relatrice in questo progetto di tesi. Il suo prezioso contributo, insieme alla costante disponibilità, hanno svolto un ruolo fondamentale nel compimento del mio lavoro.

Desidero inoltre ringraziare la mia correlatrice, la Dottoressa Benedetta Fasciolo, per le competenze trasmesse e il supporto durante il percorso di tesi; le preziose indicazioni hanno contribuito al successo di questa ricerca.

Infine, un sincero ringraziamento alla mia famiglia, per l'immenso affetto e la costante fiducia, che hanno reso possibile il mio percorso accademico e mi hanno donato la serenità necessaria per affrontare gli anni di studio con determinazione.