

# Mateus AgRobot



**Raffaele Neri**

[raffaele.neri2@studio.unibo.it](mailto:raffaele.neri2@studio.unibo.it)

**Matteo Melotti**

[matteo.melotti5@studio.unibo.it](mailto:matteo.melotti5@studio.unibo.it)

**Sebastiano Giannitti**

[sebastiano.giannitti@studio.unibo.it](mailto:sebastiano.giannitti@studio.unibo.it)

**Enrico Borsetti**

[enrico.borsetti@studio.unibo.it](mailto:enrico.borsetti@studio.unibo.it)

**Edoardo Buttazzi**

[edoardo.buttaffi@studio.unibo.it](mailto:edoardo.buttaffi@studio.unibo.it)

**Marco Crisafulli**

[marco.crisafulli@studio.unibo.it](mailto:marco.crisafulli@studio.unibo.it)

**Università di Bologna — Emilia Romagna, Italia**

**Docente Referente:** Laura Toschi

## 1 Introduzione

L’evoluzione dell’agricoltura moderna è sempre più guidata dalla convergenza tra pratiche agro-nomiche tradizionali e nuove tecnologie digitali, in un percorso verso quella che viene definita **Agricoltura 4.0**. In questo scenario, il settore vitivinicolo rappresenta un caso studio di eccellenza, dove la ricerca della qualità del prodotto e la sostenibilità ambientale devono necessariamente convivere con l’efficienza economica e gestionale. Negli ultimi anni, il comparto ha registrato un crescente interesse verso l’automazione e le tecniche di agricoltura di precisione, spinto sia dal bisogno di migliorare l’efficienza operativa, sia dalle crescenti difficoltà nel reperire manodopera qualificata.

Al centro di questo equilibrio si colloca la potatura, una delle fasi più delicate e strategiche dell’intero ciclo produttivo. Non si tratta di una semplice operazione meccanica, ma di un momento decisionale che influenza la longevità della pianta, la resa dell’annata successiva e, in ultima analisi, la qualità del vino. La potatura dei vigneti richiede esperienza, conoscenze agronomiche e tempi di esecuzione lunghi; la diminuzione del personale disponibile, unita all’aumento dei costi del lavoro, ha reso questo processo sempre più difficile da gestire in modo sostenibile. In molti casi i viticoltori sono costretti a comprimere i tempi di intervento o ad affidarsi a operatori meno esperti, con conseguente perdita di precisione e uniformità nei tagli. Questa situazione mette in evidenza la necessità di soluzioni tecnologiche in grado di automatizzare il processo decisionale e operativo, garantendo risultati costanti e di alta qualità.

Sulla base delle evidenze emerse, **Mateus AgRobot** presenta una proposta concettuale e tecnica mirata a integrare l’intelligenza algoritmica nelle operazioni di taglio. Attraverso un percorso che tocca l’analisi dei bisogni, la definizione delle specifiche funzionali, il posizionamento di mercato e la sostenibilità economica, questo documento si propone di valutare la fattibilità e l’impatto di una soluzione robotica avanzata nel panorama vitivinicolo italiano ed europeo.



# Contents

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introduzione</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Analisi Dettagliata dei Risultati della Survey sui Viticoltori</b>                    | <b>2</b>  |
| 2.1      | Survey . . . . .   | 2         |
| 2.2      | Intervista al viticoltore: esigenze operative e percezione della potatura robotica . . . | 3         |
| 2.3      | Empathy Map dell'intervistato . . . . .  | 4         |
| <b>3</b> | <b>Definizione del problema da risolvere</b>   | <b>5</b>  |
| 3.1      | Personas di Riferimento . . . . .  | 5         |
| 3.2      | Definizione del problema . . . . .   | 5         |
| 3.3      | Brainstorming per l'ideazione della soluzione . . . . .                                  | 6         |
| <b>4</b> | <b>Presentazione della soluzione proposta</b>  | <b>6</b>  |
| 4.1      | Architettura e flusso logico . . . . .   | 6         |
| 4.2      | Funzioni chiave dell'algoritmo di potatura . . . . .                                     | 7         |
| 4.3      | Esecuzione dell'algoritmo sulla point cloud . . . . .                                    | 7         |
| 4.4      | Identificazione del settore . . . . .  | 8         |
| 4.5      | Caratteristiche del settore . . . . .  | 9         |
| 4.6      | Mappatura dei competitor e analisi del mercato . . . . .                                 | 9         |
| 4.7      | Curva di valore: confronto con Naïo e RAISE . . . . .                                    | 10        |
| 4.8      | Analisi SWOT . . . . .   | 12        |
| 4.9      | Analisi macro-ambientale (PESTEL) . . . . .  | 13        |
| <b>5</b> | <b>Business Model</b>  | <b>13</b> |
| <b>6</b> | <b>Piano economico-finanziario semplificato</b>  | <b>15</b> |
| 6.1      | Struttura dei costi del sistema Mateus AgRobot . . . . .                                 | 15        |
| 6.2      | Analisi del punto di pareggio (break-even) . . . . .                                     | 16        |
| 6.3      | Analisi di sostenibilità per le piccole aziende e proposta di pay-per-use . . . . .      | 17        |
| <b>7</b> | <b>Risk analysis e WBS</b>   | <b>18</b> |
| 7.1      | WBS . . . . .  | 18        |
| 7.2      | Risk analysis . . . . .  | 18        |
|          | <b>Bibliografia</b>  | <b>19</b> |



## 2 Analisi Dettagliata dei Risultati della Survey sui Viticoltori

La presente sezione sintetizza e interpreta i dati raccolti attraverso una survey tramite quale sono state recuperate le risposte di **33 aziende** vitivinicole italiane oltre un'intervista ad un'imprenditore del settore [3, 11]. L'analisi è finalizzata a delineare il contesto operativo della potatura, identificare le principali vulnerabilità (risorse umane e operative), **valutare l'attuale livello di digitalizzazione e stimare l'interesse e la disponibilità all'adozione di soluzioni robotiche avanzate**. I risultati evidenziano una forte pressione sulla gestione della potatura, indicando l'automazione come una possibile risposta strategica.

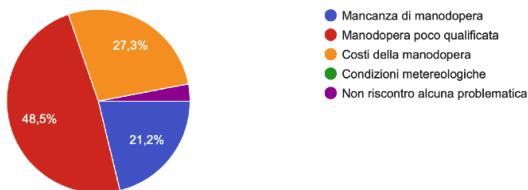
Il capitolo è strutturato in due parti: nella prima vengono analizzate in dettaglio le risposte alle singole domande della survey, mentre nella seconda viene discussa l'intervista all'imprenditore, utilizzata per approfondire e contestualizzare i risultati quantitativi.

### 2.1 Survey

I risultati completi della survey sono riportati in allegato. In questa sezione si presenta solo un breve abstract dei due output più rilevanti ai fini del progetto.

#### Il Fattore Umano come Principale Vulnerabilità

**Domanda:** *A suo avviso, qual è la problematica principale per quanto riguarda la potatura?*

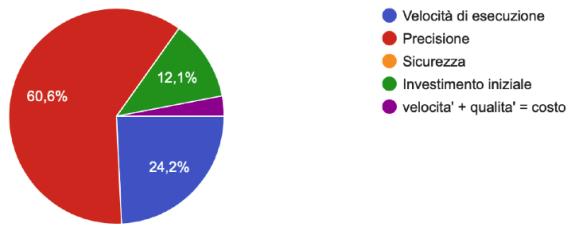


Il grafico mostra che le criticità legate alla potatura sono quasi interamente riconducibili alla **manodopera**: circa il **97%** delle aziende individua il problema principale nella componente umana, citando soprattutto **mancanza di manodopera qualificata**, **costi crescenti** del personale e difficoltà nel garantire una **potatura omogenea**. La potatura risulta quindi strutturalmente dipendente da disponibilità, costo e qualità del lavoro manuale.

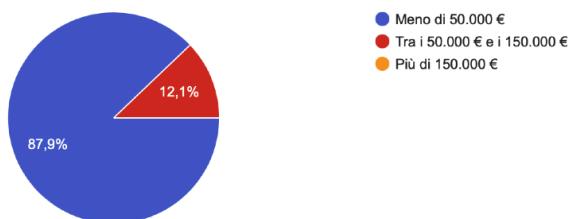
#### Priorità nell'Automazione e Vincolo di Investimento

**Domanda:** *Se potesse ridurre i costi o la dipendenza dalla manodopera umana, quali aspetti considererebbe prioritari (velocità, precisione, sicurezza, costo iniziale)?*





**Domanda:** *A suo parere, quale sarebbe un prezzo o un investimento accettabile per una tecnologia del genere?*



Dalle risposte emerge che la priorità principale di un sistema robotico è la **precisione di potatura**, seguita dalla **velocità di esecuzione**, mentre il **costo iniziale** è percepito come prioritario solo da una minoranza. Allo stesso tempo, quasi tutte le aziende considerano accettabile un investimento **inferiore a 50.000 €**, con pochissimi disposti a superare questa soglia.

Il settore richiede quindi soluzioni che combinino **elevata qualità del taglio** con un **costo di ingresso contenuto**. I risultati completi, con il dettaglio di tutte le domande e delle distribuzioni di risposta, sono disponibili negli allegati ; qui se ne riporta solo una sintesi operativa.

## 2.2 Intervista al viticoltore: esigenze operative e percezione della potatura robotica

Di seguito si riporta un breve abstract dell'intervista effettuata a Mattia Palladino, imprenditore e viticoltore da oltre 7 anni. L'intervista completa è disponibile in allegato; qui vengono sintetizzati solo gli aspetti più rilevanti per la progettazione di Mateus AgRobot.

### Domanda 1 — Modalità di taglio e ruolo dell'esperienza

#### Risposta del viticoltore

*“Il taglio dei rami in questo momento è svolto manualmente, completamente manuale, con forbici da pota classiche. Si perde molto tempo, non tutti gli operatori sono addestrati e, se lo sono, ognuno ha le sue idee, quindi non c’è omogeneità di potatura. L’esperienza dell’operatore conta tantissimo per la longevità e la sanità delle piante: un vigneto deve avere assolutamente una durata minima di trent’anni. Se la durata è inferiore c’è stato un problema, sicuramente anche nella potatura.”*

#### Analisi

La potatura è oggi svolta in modo interamente manuale e fortemente dipendente dall'esperienza



individuale. La mancanza di criteri condivisi produce **grande variabilità tra operatori**, con impatto diretto su sanità e longevità del vigneto. Questo evidenzia un bisogno chiave: **standardizzare la logica di taglio** e ridurre la dipendenza dalle singole persone esperte, obiettivo a cui Mateus AgRobot mira attraverso un algoritmo che codifica regole agronomiche comuni.

## Domanda 2 — Costi di manodopera e fabbisogno di personale

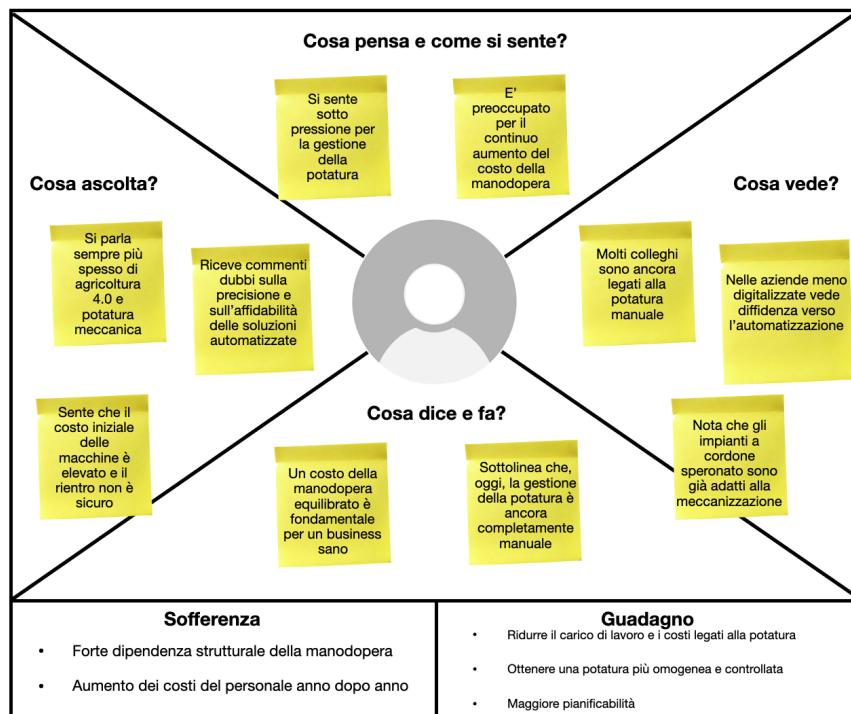
### Risposta del viticoltore

*"Pago i miei operai 55 euro per sei ore. Sono otto operai che lavorano quattro mesi da lunedì al sabato, sempre sei ore al giorno. Non ho difficoltà a reperire manodopera, ma ho difficoltà a reperire manodopera qualificata. Tre anni fa pagavo 45 euro per sei ore, ora siamo arrivati a 60 euro per sei ore e siamo in fase di contrattazione. È molto difficile istruire gli operatori secondo il mio livello di potatura, ognuno ha il suo modo di potare."*

### Analisi

Emergono due elementi centrali: **costo della manodopera in forte aumento e difficoltà a reperire personale qualificato** e allinearlo a uno standard tecnico unico. La potatura richiede una squadra numerosa impegnata per diversi mesi, con costi crescenti e formazione onerosa. Questo quadro rafforza il razionale economico per una soluzione robotica: ridurre il fabbisogno di operatori altamente specializzati, contenere il costo per ettaro e rendere più prevedibile la qualità del lavoro eseguito.

## 2.3 Empathy Map dell'intervistato



### 3 Definizione del problema da risolvere

#### 3.1 Personas di Riferimento

Sulla base delle risposte ottenute abbiamo provato ad individuare 4 Personas di riferimento.

| Persona                                    | Foto  | Profilo   | Bisogni principali   |
|--|---|---|--|
| Giovanni – viticoltore medio digitalizzato |    | Azienda vitivinicola di 25–40 ha con supporto tecnologico basilare (sensori meteo, trattore assistito, software gestionale).    | Ridurre la <b>dipendenza da potatori esperti</b> ; mantenere <b>precisione e qualità</b> ; soluzione <b>personalizzabile</b> per varietà e forma di allevamento; investimento < 50.000 . |
| Lucia – viticoltrice tradizionale          |    | Piccola azienda familiare (10–20 ha), bassa digitalizzazione e potatura interamente manuale, sotto pressione per tempi e costi. | <b>Contenere i costi</b> ; strumento <b>semplice</b> ; preferenza per formule <b>pay-per-use / servizio</b> ; rassicurazione su <b>affidabilità e precisione</b> .                       |
| Davide – capo-squadra di potatura          |   | Responsabile operativo di squadre da 6–10 potatori stagionali; non decide il budget ma influenza l'adozione in campo.           | Garantire <b>omogeneità</b> ; ridurre <b>carico fisico</b> e rischio infortuni; sistema <b>intuitivo</b> ; mantenere <b>controllo decisionale</b> .                                      |
| Stefano – gestore di grandi superfici      |  | Impresa che gestisce oltre 50 ha; utilizzo di macchine specializzate; approccio orientato al <b>costo per ettaro</b> .          | Soluzione <b>scalabile</b> ; costo di potatura inferiore al manuale oltre ~ 24 ha/anno; integrazione con <b>rover e bracci esistenti</b> ; raccolta dati strutturata.                    |

Table 1: Personas di riferimento per il sistema **Mateus AgRobot**.

#### 3.2 Definizione del problema

Il settore vitivinicolo mostra criticità strutturali: la potatura è vista come attività **altamente dipendente dalla competenza umana**, con il **94%** delle aziende che attribuisce un impatto massimo alla qualità della manodopera. Al tempo stesso, i viticoltori indicano come priorità **precisione (60,6%)** e **velocità di esecuzione (24,2%)**, in un contesto segnato da **scarsità di personale qualificato** e da **aumento dei costi e delle difficoltà organizzative (78,8%)** segnala problemi di costi/tempi). Ne deriva un processo di potatura lento, costoso e poco prevedibile, con effetti sulla salute e sulla longevità delle viti.

In questo scenario, il rover proposto introduce un **algoritmo di potatura** che **standardizza le decisioni di taglio**, garantendo **precisione costante** e **tempi ridotti**, senza rinunciare alla cura agronomica della vite. Il sistema è progettato per essere **personalizzabile** in funzione di varietà e forme di allevamento, requisito ritenuto cruciale dal **72,7%** del campione interessato. In sintesi, il software di Mateus AgRobot affronta i due nodi centrali emersi dalla survey: **migliorare precisione e velocità della potatura e ridurre costi e dipendenza dalla manodopera specializzata**.



### 3.3 Brainstorming per l'ideazione della soluzione

Di fronte alle **necessità evidenziate** nel punto precedente, il nostro team di sviluppo ha ragionato su una possibile implementazione, comprensiva di **architettura hardware di supporto**, per attuare la soluzione proposta. Le principali idee considerate sono state:

- un approccio completamente basato su **machine learning**, in modo tale da garantire che il software, tramite l’addestramento su dataset di grandi dimensioni, potesse apprendere pattern di potatura;
- l’utilizzo di **GPU dedicate**, installate all’interno del rover, in grado di offrire elevate prestazioni computazionali per eseguire il pruning il più velocemente possibile;
- un **System on Chip (SoC)** con processore **AMD Ryzen** e RAM integrata, per offrire ottime capacità di calcolo in una forma più compatta e integrabile all’interno del prodotto.

La **scelta finale** si è orientata sulla **terza opzione**, capace di offrire un eccellente equilibrio tra **potenza di calcolo**, **efficienza energetica** e **facilità di integrazione** a bordo del rover. Questa piattaforma permette di eseguire il nostro codice in modo **rapido** e **affidabile**, mantenendo contenuti sia i **consumi** sia il **costo complessivo** del sistema. Inoltre, la natura **compatta** e **versatile** del SoC semplifica l’implementazione della **sensoristica** e dei **moduli di controllo**, garantendo la **scalabilità** necessaria per future evoluzioni del prodotto.

## 4 Presentazione della soluzione proposta

Di seguito proponiamo un prototipo del nostro software **S.H.A.R.P** (System for Highspeed Automated Robotic Pruning). Il modulo `branches.py` è il cuore del software **S.H.A.R.P**: a partire da una *point cloud* già segmentata della vite, decide **quali rami potare** e genera un *piano di potatura digitale* eseguibile da un braccio robotico. In questo modo la potatura diventa un processo **standardizzato, tracciabile e scalabile**.

### 4.1 Architettura e flusso logico

Il codice, scritto in Python (3.8+) e basato su `numpy`, `open3d`, `scipy` e `scikitlearn`, prende in input la point cloud segmentata originale, compresa di annotazioni semantiche (`metajson` e `annjson`), e classifica con indici e coordinate 3D tutti i rami della stessa. Per ogni ramo il sistema stima innanzitutto la **direzione principale** tramite PCA locale; sulla base della componente verticale decide se **tagliare interamente** i rami discendenti oppure eseguire una **potatura selettiva** su quelli ascendenti, mantenendo tre “gemme” apicali considerate più promettenti. Infine, l’algoritmo applica regole globali di **dipendenza** e di **connettività al tronco** per garantire che tutte le parti mantenute siano strutturalmente collegate, evitando la generazione di porzioni sospese non realizzabili dal braccio robotico.

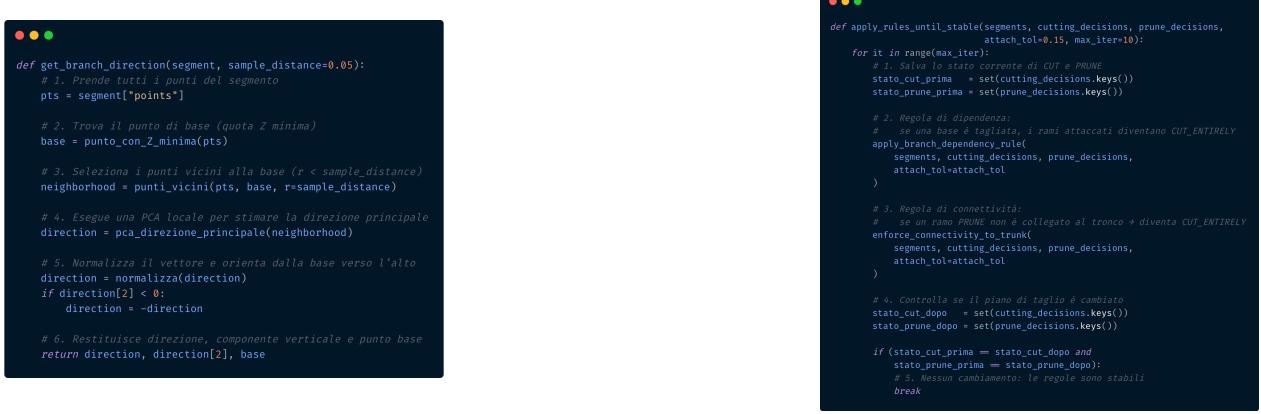
Infine, il modulo:

- visualizza il risultato con Open3D (tronco in ciano, parti mantenute e tagliate in colori distinti);
- esporta un file `cutting_plan.json` con l’elenco dei punti da rimuovere/mantenere.



## 4.2 Funzioni chiave dell'algoritmo di potatura

Le due funzioni centrali per la logica di potatura sono la stima della direzione del ramo e la stabilizzazione del piano di taglio.



```

def get_branch_direction(segment, sample_distance=0.05):
    # 1. Prende tutti i punti del segmento
    pts = segment["points"]

    # 2. Trova il punto di base (quota Z minima)
    base = punto_con_Z_minima(pts)

    # 3. Seleziona i punti vicini alla base (r < sample_distance)
    neighborhood = punti_vicini(pts, base, r=sample_distance)

    # 4. Esegue una PCA locale per stimare la direzione principale
    direction = pca_direzione_principale(neighborhood)

    # 5. Normalizza il vettore e orienta dalla base verso l'alto
    direction = normalizza(direction)
    if direction[2] < 0:
        direction = -direction

    # 6. Restituisce direzione, componente verticale e punto base
    return direction, direction[2], base

def apply_rules_until_stable(segments, cutting_decisions, prune_decisions,
                             attach_tol=0.15, max_iter=10):
    for it in range(max_iter):
        # 1. Salva lo stato corrente di CUT e PRUNE
        stato_cut_prima = set(cutting_decisions.keys())
        stato_prune_prima = set(prune_decisions.keys())

        # 2. Regola di dipendenza:
        #     se una base è tagliata, i rami attaccati diventano CUT_ENTIRELY
        apply_branch_dependency_rule(
            segments, cutting_decisions, prune_decisions,
            attach_tol=attach_tol
        )

        # 3. Regola di connettività:
        #     se un ramo PRUNE non è collegato al tronco → diventa CUT_ENTIRELY
        enforce_connectivity_to_trunk(
            segments, cutting_decisions, prune_decisions,
            attach_tol=attach_tol
        )

        # 4. Controlla se il piano di taglio è cambiato
        stato_cut_dopo = set(cutting_decisions.keys())
        stato_prune_dopo = set(prune_decisions.keys())

        if (stato_cut_prima == stato_cut_dopo) and
           (stato_prune_prima == stato_prune_dopo):
            # 5. Nessun cambiamento: le regole sono stabili
            break

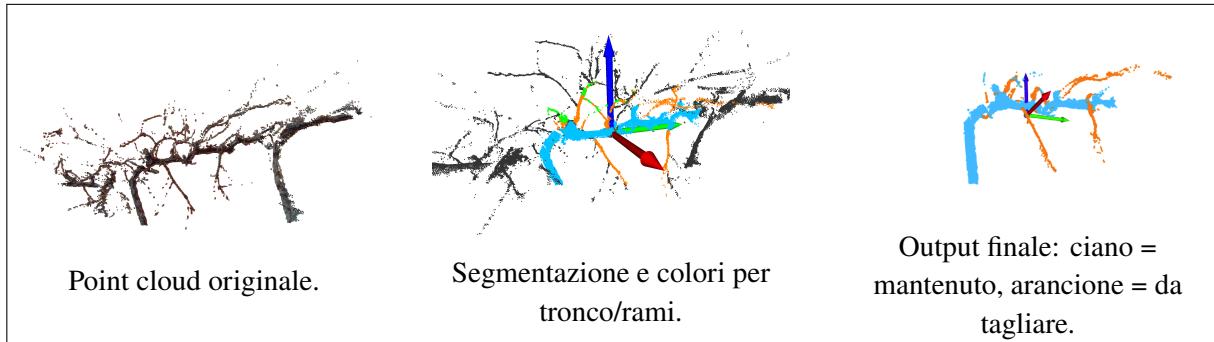
```

Figure 1: Schema logico delle funzioni `get_branch_direction()` (sinistra) e `apply_rules_until_stable()` (destra).

**Stima della direzione del ramo: `get_branch_direction()`** Questa funzione prende i punti del segmento, individua il **punto di base** come quello con quota Z minima, considera i punti nel suo intorno e applica una **PCA locale** per stimare la direzione principale del ramo. Il vettore direzione viene normalizzato e la sua componente verticale Z consente di classificare il ramo come **ascendente** (idoneo alla potatura selettiva) o **descendente** (candidato al taglio completo).

**Stabilizzazione del piano di taglio: `apply_rules_until_stable()`** Dopo le decisioni locali sui singoli rami, questa funzione applica in sequenza la regola di **dipendenza**, che estende il taglio ai rami agganciati a basi già rimosse, e la regola di **connettività al tronco**, che conserva solo i rami effettivamente collegati alla struttura principale. Le due regole vengono iterate fino al raggiungimento di uno **stato stabile**, garantendo un piano di potatura globalmente coerente ed eseguibile dal robot.

## 4.3 Esecuzione dell'algoritmo sulla point cloud



## 4.4 Identificazione del settore

Mateus AgRobot si identifica all'interno del mercato con i seguenti codici:

| ATECO    | Descrizione  |
|----------|--|
| 01.21.00 | Coltivazione di uva  |
| 02.61.99 | Attività di supporto alla produzione vegetale n.c.a.   |
| 11.02.10 | Produzione di vini, esclusi vini spumanti e altri vini speciali  |
| 11.02.20 | Produzione di vini spumanti e altri vini speciali  |
| 28.30.10 | Fabbricazione di trattori per l'agricoltura e la silvicoltura  |
| 29.31.00 | Fabbricazione di apparecchiature elettriche ed elettroniche per autoveicoli  |
| 29.32.00 | Fabbricazione di altre parti e accessori per autoveicoli   |
| 48.21.20 | Commercio al dettaglio di autoveicoli  |
| 62.10.00 | Attività di programmazione informatica   |
| 72.10.29 | Ricerca e sviluppo sperimentale nel campo delle altre scienze naturali e dell'ingegneria n.c.a.                          |
| SIC      | Descrizione  |
| 0172     | Grapes   |
| 0762     | Farm Management Services   |
| 2084     | Wines, Brandy, and Brandy Spirits  |
| 3523     | Farm Machinery and Equipment   |
| 7372     | Prepackaged Software   |
| 8731     | Commercial physical and biological research  |
| 8734     | Testing Laboratories   |
| NAICS    | Descrizione  |
| 111332   | Grape Vineyards  |
| 115116   | Farm Management Services   |
| 312130   | Wineries   |
| 333111   | Farm Machinery and Equipment Manufacturing   |
| 333613   | Mechanical Power Transmission Equipment Manufacturing  |
| 513210   | Software Publishers  |
| 541380   | Testing Laboratories   |
| 541710   | Research and Development in the Physical, Engineering, and Life Sciences (except Biotechnology research and development) |



## 4.5 Caratteristiche del settore

### Dimensione del settore e potenziale di crescita

Il progetto **Mateus AgRobot** si colloca nell’intersezione tra tre mercati: **vitivinicolo, agricoltura di precisione e robotica agricola**. Nel 2024 il settore vitivinicolo italiano mostra una performance particolarmente positiva rispetto al trend globale. A fronte di una produzione e consumo mondiale in diminuzione, l’Italia registra invece una crescita della produzione del 15,1%, ponendosi al primo posto tra i Paesi produttori [4, 5]. In questo contesto, il settore sta integrando in modo crescente sistemi di **agricoltura di precisione e tecnologie automatizzate**: il primo mercato è stimato in crescita da **1,9 miliardi di dollari** nel 2024 a oltre **6 miliardi** entro il 2033 (**CAGR superiore al 10%**) [6], mentre il mercato dei **robot agricoli** dovrebbe raggiungere circa **20,3 miliardi di dollari** entro il 2025 [7]. A livello europeo, l’**agricoltura di precisione** è attesa a **4,20 miliardi di dollari** nel 2025, con un **CAGR del 12,5%** fino al 2030 [8], trainata in particolare da soluzioni basate su sensori, **IoT**, piattaforme dati e **robotica autonoma**, esattamente il perimetro tecnologico in cui si inserisce Mateus AgRobot. Il livello di **diversificazione settoriale** è elevato: la robotica agricola copre oggi attività di semina, diserbo, raccolta, monitoraggio e logistica nei seminativi e nelle colture ad alto valore (orticoltura, frutticoltura, viticoltura), con una distinzione fra **player di ricerca, costruttori di macchine tradizionali** che integrano componenti autonome, e **startup** focalizzate su piattaforme rover e bracci specializzati.

### Fattori che influenzano la crescita del settore

La crescita del **mercato dei robot agricoli** – e di soluzioni per la viticoltura come **Mateus AgRobot** – è spinta dalla **scarsità di manodopera e aumento del costo del lavoro**, ambiti in cui **automazione e robotica** migliorano **produttività e continuità operativa** [9, 10]. A ciò si aggiungono **pressioni ambientali e regolatorie** verso un uso più efficiente delle risorse, in linea con il **Green Deal** europeo<sup>1</sup> e con la **PAC**<sup>2</sup>, oltre al bisogno di controllare costi e qualità in un contesto di **calo dei consumi, volatilità dei mercati e cambiamento climatico** [1, 2]. Restano però **barriere importanti** – alti costi iniziali, frammentazione aziendale, bassa maturità digitale e incertezza sul quadro normativo per macchine autonome – che mantengono il settore in una fase di **early adoption** [2]. La diffusione futura dipenderà dalla capacità di dimostrare, con dati di campo, che soluzioni come **Mateus AgRobot** offrono un **ROI competitivo** e si integrano nel **modello di business** delle imprese vitivinicole [10].

## 4.6 Mappatura dei competitor e analisi del mercato

Le applicazioni digitali per la **viticoltura** costituiscono oggi un segmento in rapida crescita all’interno dell’**agricoltura di precisione** e dell’**Agricoltura 4.0**. Tecnologie basate su **sensori, IoT, intelligenza artificiale** e **piattaforme dati** vengono sempre più utilizzate per monitorare clima, suolo e stato delle viti, con l’obiettivo di **migliorare la qualità, ottimizzare i processi e ridurre i costi operativi**.

In Italia la diffusione è eterogenea: molte **PMI\*** agricole incontrano ancora barriere economiche e carenze di competenze, mentre le aziende vitivinicole **medie e grandi** stanno spingendo verso

<sup>1</sup>Commissione Europea, “The European Green Deal”, COM(2019) 640 final, 2019.

<sup>2</sup>Regolamento (UE) 2021/2115 del Parlamento europeo e del Consiglio, sul sostegno ai piani strategici della PAC.



**automazione** e sistemi avanzati di **supporto alle decisioni**. In questo quadro, la **robotica in viticoltura** è particolarmente promettente per le attività ad alta intensità di lavoro, come la **potatura**, dove **bracci robotici** e sistemi autonomi possono ridurre la dipendenza dalla manodopera, aumentare la sicurezza e garantire **continuità produttiva**.

### Startup e progetti in ambito europeo:

- **Info Solution — RAISE (Spoke 3)**: azienda italiana coinvolta nel progetto *RAISE*, dedicato alla potatura invernale automatizzata. Il sistema integra un modulo di navigazione autonoma e un kit per la guida assistita. Stato attuale: fase di sviluppo e sperimentazione con prototipo pilota.
- **Astibot (Spagna) — TrimBot**: startup di Valladolid che ha sviluppato un robot mobile autonomo per la potatura in vigneto basato su visione 3D e intelligenza artificiale; testato in collaborazione con produttori come *Familia Torres*. Stato: prototipi e dimostrazioni sul campo.
- **ATRIA Innovation (Spagna) — Progetto ROBOTRIM**: fornitore tecnologico che ha sviluppato un sistema integrato di visione 2D/3D, braccio collaborativo e piattaforma AGV, testato in collaborazione con *Codorníu* ed *Earth Rover*. Stato: prototipi e sperimentazioni.
- **Naïo Technologies (Francia)**: impresa consolidata nella robotica agricola autonoma, con soluzioni già operative nel campo della potatura e della gestione dei vigneti.

### Considerazioni sul mercato

Il panorama competitivo mostra una netta distinzione tra attori di ricerca e player commerciali. In Italia, il focus principale resta su prototipi e sperimentazioni di laboratorio, mentre all'estero diverse startup hanno raggiunto una fase pre-commerciale o di produzione pilota. L'Europa e il bacino del Mediterraneo si configurano come aree ad alto potenziale per l'adozione di soluzioni autonome nella viticoltura, grazie alla combinazione di un tessuto produttivo maturo, carenza di manodopera e pressione verso efficienza e sostenibilità.

Dall'analisi svolta risulta una domanda crescente per soluzioni automatizzate e robotiche, con particolare interesse per i modelli di business flessibili come *pay-per-use*) che riducono i costi iniziali e favoriscono la diffusione tra le PMI agricole.

## 4.7 Curva di valore: confronto con Naïo e RAISE

La **curva di valore** confronta le prestazioni di **Mateus AgRobot**, con i due principali competitors **Naïo Technologies** e **RAISE (Info Solution)** rispetto a cinque fattori competitivi chiave: **automazione**, **precisione di taglio**, **interoperabilità**, **scalabilità** e **costo di adozione**. I punteggi (scala 1–5) riportati nella Tabella 2 rappresentano una valutazione comparativa delle capacità tecnologiche e operative dei tre sistemi nel contesto della robotica vitivinicola autonoma.

---

<sup>2</sup>PMI: Piccole e Medie Imprese.



| Fattore competitivo  | Mateus AgRobot | Naïo | RAISE |
|----------------------|----------------|------|-------|
| Automazione          | 4.50           | 4.50 | 3.00  |
| Precisione di taglio | 3.50           | 3.00 | 3.00  |
| Interoperabilità     | 4.80           | 2.80 | 2.00  |
| Scalabilità          | 4.20           | 2.00 | 2.80  |
| Costo di adozione    | 2.50           | 3.00 | 3.00  |

Table 2: Punteggi comparativi (scala 1–5) per i principali fattori competitivi.

### Interpretazione del grafico

- **Mateus AgRobot** presenta un profilo complessivamente superiore e bilanciato. Mostra ottime prestazioni in *automazione* (4.5), *interoperabilità* (4.8) e *scalabilità* (4.2), grazie alla combinazione di un algoritmo di analisi strutturale con un rover e un braccio meccanico di terze parti. La *precisione di taglio* (3.5) risulta adeguata per un sistema in evoluzione e superiore rispetto ai competitor, mentre il *costo di adozione* (2.5) riflette la complessità tecnologica ma resta competitivo rispetto ai benefici ottenuti.
- **Naïo Technologies** mantiene un livello elevato di *automazione* (4.5) ma presenta valori inferiori in *precisione di taglio* (3.0), *interoperabilità* (2.8) e *scalabilità* (2.0), poiché basa la propria offerta su piattaforme proprietarie dedicate a compiti generici di campo. Il *costo di adozione* (3.0) risulta medio, coerente con un prodotto industriale consolidato.
- **RAISE (Info Solution)** mostra un andamento intermedio: valori moderati in *automazione* (3.0) e *interoperabilità* (2.0), discreti risultati in *precisione di taglio* (3.0) e *scalabilità* (2.8). Il *costo di adozione* (3.0) rimane contenuto grazie alla natura prototipale e alla limitata complessità produttiva.

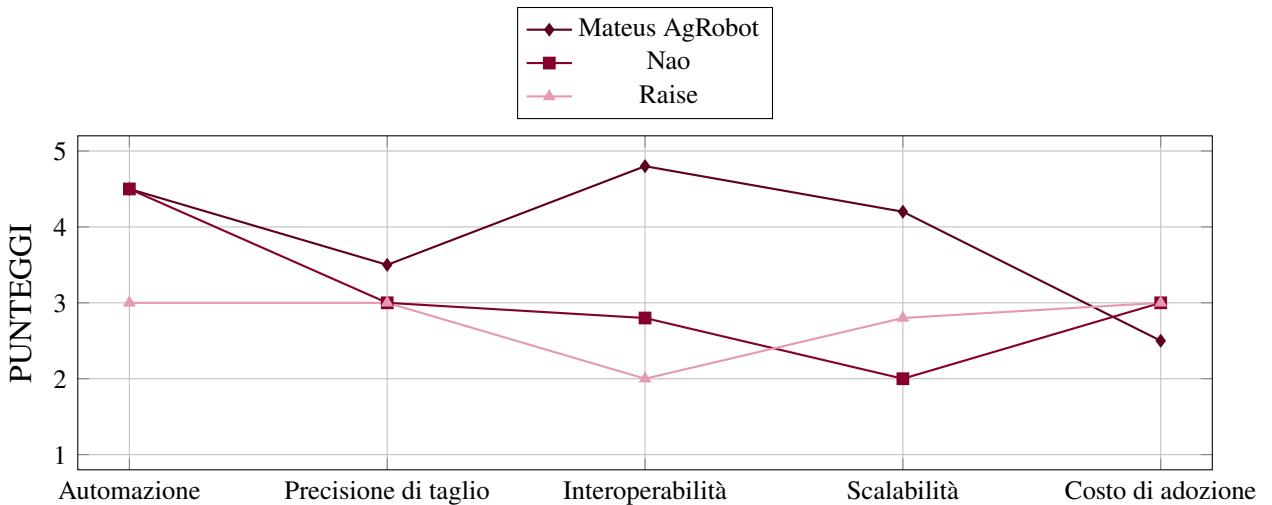


Figure 2: Curva di valore per Mateus AgRobot, Nao e Raise.



## 4.8 Analisi SWOT

| Strengths (Punti di forza)  | Weaknesses (Debolezze)  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Innovazione tecnologica distintiva:</b> utilizzo di robotica avanzata e sensoristica per riconoscere e tagliare selettivamente i tralci, posizionando il prodotto in una nicchia tecnologica ancora poco presidiata.</li> <li><b>Riduzione della dipendenza dalla manodopera:</b> la potatura è una delle fasi più costose e critiche del processo vitivinicolo; l'automazione offre vantaggi concreti in termini di efficienza e continuità produttiva.</li> <li><b>Allineamento con le esigenze del mercato:</b> crescente attenzione a sostenibilità, digitalizzazione e Agricoltura 4.0, sostenuta da programmi di finanziamento pubblici (PNRR, Horizon Europe).</li> <li><b>Vantaggio competitivo sui dati:</b> raccolta e gestione di dati agronomici durante la potatura per analisi predittive e ottimizzazione della resa.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Alto costo iniziale di sviluppo e implementazione:</b> investimenti significativi in R&amp;D, sensoristica e componentistica meccatronica.</li> <li><b>Bassa maturità digitale delle aziende vitivinicole:</b> solo una piccola percentuale è pronta ad accogliere soluzioni completamente automatizzate.</li> <li><b>Necessità di formazione specializzata:</b> l'uso e la manutenzione dei robot richiedono competenze tecniche non sempre disponibili nel personale agricolo.</li> <li><b>Rischio percepito di sostituzione del lavoro umano:</b> Può rappresentare una debolezza percepita, poiché alcuni operatori temono una riduzione del ruolo umano. Questa percezione può generare resistenza iniziale e rallentare l'adozione della tecnologia.</li> </ul> |
| Opportunities (opportunità)   | Threats (Minacce)   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Mercato in forte crescita:</b> viticoltura di precisione 1,9 mld \$ (2024) → 6 mld \$ (2033, CAGR &gt; 10%); robot agricoli 20,3 mld \$ entro il 2025.</li> <li><b>Accesso a fondi e incentivi:</b> finanziamenti europei e nazionali per Agricoltura 4.0 e sostenibilità ambientale.</li> <li><b>Espansione internazionale:</b> interesse in mercati ad alta vocazione vitivinicola (Francia, Spagna, California, Australia, Cile) con carenza strutturale di manodopera.</li> <li><b>Collaborazioni R&amp;D:</b> sinergie con startup agritech e centri di ricerca per sviluppo e testing di soluzioni integrate.</li> <li><b>Evoluzione del modello di business:</b> <i>robot-as-a-service/noleggio</i> per ridurre la barriera d'accesso alle PMI.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Competizione internazionale in crescita:</b> attori consolidati (VitiBot, Wall-Ye, Naïo Technologies, Astibot) accelerano la commercializzazione.</li> <li><b>Ritardi normativi e omologazione:</b> mancanza di standard chiari per robotica autonoma in campo aperto.</li> <li><b>Incertezza economica e costi componenti:</b> volatilità di elettronica e materiali può influenzare la sostenibilità economica.</li> <li><b>Dipendenza tecnologica esterna:</b> componenti chiave (LIDAR, processori AI, software di visione) da fornitori internazionali.</li> <li><b>Accettazione del mercato e ROI incerto:</b> esitazioni all'investimento se tempi di ritorno non sono chiari o la tecnologia non è percepita come affidabile.</li> </ul>                      |

Table 3: Analisi SWOT del progetto **Mateus AgRobot**



## 4.9 Analisi macro-ambientale (PESTEL)

| P<br>Political  | E<br>Economic   | S<br>Social  | T<br>Technological  | E<br>Environmental  | L<br>Legal   |
|---|---|--|---|---|--|
| Il contesto europeo e nazionale è complessivamente favorevole: <b>PNRR, Horizon Europe</b> e nuova <b>PAC</b> sostengono Agricoltura 4.0, robotica e tecniche di precisione (crediti d'imposta, bandi). Resta però <b>incertezza normativa</b> su omologazione dei robot autonomi e uso dell' <b>AI</b> in attività critiche, con possibile rallentamento del go-to-market. | Il mercato europeo dell' <b>agricoltura di precisione</b> è atteso a <b>4,2 mld \$ nel 2025 con CAGR 12,5%</b> ; la robotica agricola è in forte espansione. In un settore vitivinicolo sotto pressione per <b>costi e margini</b> , Mateus AgRobot può trasformare la potatura in costo più <b>prevedibile</b> , ma richiede un <b>ROI rapido</b> per giustificare l'investimento. | <b>Carenza strutturale di manodopera e difficoltà a reperire potatori esperti</b> rendono critica la continuità operativa. Mateus AgRobot offre <b>standardizzazione</b> e riduzione della dipendenza da stagionali, ma deve superare la <b>bassa maturità digitale</b> di molte aziende tramite interfacce intuitive, formazione e supporto in campo. | La soluzione combina <b>visione artificiale, AI e robotica collaborativa</b> , usando <b>point cloud 3D e integrazione plug &amp; play</b> con bracci e rover esistenti. Le sfide chiave sono la <b>robustezza della percezione</b> in vigneto reale (luce, meteo, variabilità morfologica) e l' <b>affidabilità meccatronica</b> per sicurezza e continuità operativa. | Allineamento con <b>Green Deal</b> e politiche di <b>sostenibilità</b> : una potatura più precisa riduce <b>errori e stress</b> sulle piante, migliorando la salute del vigneto nel lungo periodo. L'uso di piattaforme <b>elettriche</b> e cicli ottimizzati contribuisce a ridurre <b>emissioni e sprechi</b> , supportando l'aumento delle superfici biologiche entro il 2030. | Il <b>Regolamento Macchine UE 2023/1230</b> e il quadro europeo su <b>AI</b> impongono requisiti stringenti a sistemi che prendono <b>decisioni autonome di taglio</b> . Mateus AgRobot dovrà ottenere <b>certificazioni</b> , dimostrare la <b>sicurezza funzionale</b> e definire chiaramente le <b>responsabilità</b> in caso di danni, con impatto su <b>tempi di go-to-market, assicurabilità e modello di business</b> . |

## 5 Business Model

**Customer Segments** con ogni probabilità si stima che i principali acquirenti del rover saranno aziende di medie e grandi dimensioni, per due punti principali:

- **Ammortamento dell'Investimento:** Il costo iniziale di un robot avanzato, che include sistemi di visione artificiale e bracci robotici di precisione, è elevato. Solo le aziende con grandi superfici coltivate possono giustificare l'investimento, ammortizzando il costo su un numero sufficiente di ettari.
- **Efficienza:** Il robot lavora in modo efficiente e continuo. Più è vasta l'area da coprire, maggiore è il vantaggio economico ottenuto dall'automazione 24/7 e dall'eliminazione dei costi di manodopera per quel compito.

L'adozione del rover può essere resa accessibile anche alle realtà più piccole grazie a modelli pay-per-use. In questo modo i piccoli produttori possono usufruire della tecnologia senza sostenere l'intero investimento.

**Value Proposition** il value proposition principale offerto dal nostro prodotto si può riassumere nei seguenti punti:

- La riduzione dei costi di manodopera data dall'eliminazione dei salari e della necessità di formazione del personale.
- L'aumento dell'efficienza operativa e velocità di potatura, con il robot che può operare 24/7
- Maggior qualità della potatura grazie all'applicazione dell'algoritmo introdotto.



**Channels** Date le caratteristiche del settore, per distribuire il nostro prodotto ci affidiamo ad un modello di vendita diretta attraverso un team di vendori tecnici in grado di accompagnare il cliente nella valutazione dell'investimento. Accanto alla vendita tradizionale, prevediamo la sponsorizzazione del nostro prodotto tramite piattaforme online tramite il quale possiamo offrire anche la modalità di pagamento pay-per-use.

**Customer Relationships** prevediamo un supporto clienti principalmente orientato in due direzioni:

1. **Supporto Remoto:** Attraverso software che monitorano lo stato e le prestazioni del robot, permettendo allo staff di accedere ai dati e diagnosticare malfunzionamenti minori senza doversi recare "in loco".
2. **Supporto sul Campo:** Nel caso di problemi di maggior entità, la nostra impresa offre la disponibilità di personale tecnico che si possa recare sul sito

Per quanto riguarda l'**abbonamento di manutenzione**, prevediamo diversi modalià di abbonamento con servizi crescenti: base, plus, premium.

| Livello        | Contenuti principali  |
|----------------|---|
| <b>Base</b>    | Manutenzione ordinaria annuale (controllo completo, pulizia profonda, sostituzione/affilatura utensili, lubrificazione bracci e giunti). Aggiornamenti software/firmware da remoto. Supporto remoto standard (telefono/email in orario lavorativo).   |
| <b>Plus</b>    | Include <b>Base</b> . Manutenzione correttiva programmata con sconto ricambi (es. 15%). Assistenza prioritaria con tempi di intervento garantiti (es. entro 48h per guasti critici). Telematica avanzata 24/7 con monitoraggio e alert. Report operativo annuale (utilizzo, efficienza, aree di miglioramento). |
| <b>Premium</b> | Include <b>Plus</b> . Copertura completa guasti da usura/difetti (manodopera + ricambi originali). Robot di cortesia o componenti critici in prestito se la riparazione supera una soglia (es. 72h). Manutenzione predittiva basata su analisi dati operativi (trend di usura e sostituzione preventiva).       |

Table 4: Livelli di servizio per la manutenzione di Mateus AgRobot

**Key Resources** Le risorse chiave necessarie per il nostro prodotto sono:

- **Sensoristica e Percezione 3D:** I sensori rappresentano una parte fondamentale in quanto consentono di mappare l'ambiente e la struttura della vite. Per questo alcune risorse necessarie sono certamente sensori LiDAR o telecamere stereo/strutturate per ottenere point-cloud della vite e sensori per monitorare l'orientamento del robot e la posizione esatta dell'utensile di taglio.
- **Infrastruttura tecnologica:** necessaria per l'esecuzione efficiente del software sviluppato
- **Team di sviluppo:** responsabile dello sviluppo e dell'aggiornamento delle componenti software
- **Team di marketing:** responsabile della vendita/noleggio del nostro prodotto



**Key Activities** Lo sviluppo di un robot agricolo per la potatura richiede un equilibrio tra eccellenza tecnologica, test sul campo e scalabilità commerciale. Le attività principali sono suddivise in due macro-aree.

- **Sviluppo Tecnologico e Ricerca (R&D):** Necessaria per lo sviluppo e estensione del codice, con integrazione delle altre componentistiche del rover. Questa sezione include inoltre la selezione degli elementi hardware più adatti per l'esecuzione delle operazioni supportate.
- **Test e Validazione sul Campo:** per la sperimentazione del robot in diverse condizioni reali, valutando anche il funzionamento sotto carichi prolungati e condizioni meteorologiche avverse.

**Key Partners** Lo sviluppo e la commercializzazione del robot richiedono alleanze strategiche lungo tutto il ciclo di vita.

- **Produttori di Macchinari Agricoli:** Aziende come Bonfiglioli o Nobili per produzione scalabile, integrazione con piattaforme esistenti e accesso a reti globali di assistenza.
- **Fornitori Tecnologici:** Aziende specializzate in LiDAR, sensori avanzati e SoC
- **Centri di Ricerca:** Dipartimenti universitari di robotica e agraria per nuove metodologie e validazioni scientifiche.
- **Incubatori e Acceleratori:** Programmi come Plug & Play o H-FARM per accesso a capitali, mentorship e investitori AgTech.
- **Aziende Agricole Pilota:** Grandi vigneti con colture ad alto valore, ideali per test intensivi e validazione del prodotto.

**Cost Structure** I costi principali presenti nel business model sono:

- **Sviluppo del prodotto:** Costi relativi alle varie componenti del rover e al team di sviluppo per la progettazione del codice
- **Marketing e promozione:** Costi relativi al team di vendita nonché alla sponsorizzazione tramite piattaforme pubbliche (social network ecc.)
- **Supporto clienti:** Costi per il servizio di manutenzione offerto, necessari per garantire assistenza e mantenere alta la soddisfazione dei clienti.

## 6 Piano economico-finanziario semplificato

### 6.1 Struttura dei costi del sistema Mateus AgRobot

La Tabella 5 integra i valori economici stimati con le specifiche tecniche e i riferimenti di mercato, suddivisi per tipologia di costo (Investimento iniziale, Costi fissi ricorrenti e Costi variabili operativi).



| Voce                             | Una Tantum<br>[€] | Annua<br>[€] | €/ha       | Dettagli, Ipotesi e Riferimenti  |
|----------------------------------|-------------------|--------------|------------|--|
| <b>1. Hardware Robotico</b>      | 95.000            | –            | –          | <b>Rover autonomo</b> con GPS-RTK/LiDAR (60k€), <b>Braccio collaborativo</b> 6 assi (es. DOBOT CR16, 24k€), <b>End-Effector</b> IP65 (6k€) e <b>Integrazione</b> meccatronica (5k€).<br><i>Rif: StandardBots, Naïo, EVS Int.</i> |
| <b>2. Software &amp; Licenza</b> | 25.000            | 2.000        | –          | <b>Una tantum:</b> Licenza d'uso algoritmo proprietario. <b>Annua:</b> Canone per aggiornamenti e patch.<br><i>Rif: Stima R&amp;D interna e benchmark software agri-tech.</i>  |
| <b>3. Costi Fissi Gestione</b>   | –                 | 3.000        | –          | <b>Manutenzione</b> preventiva hardware (2.000€) + <b>Assicurazione RC</b> e Storage invernale (1.000€).<br><i>Rif: Stima 3% valore asset, Axa Agri.</i>   |
| <b>4. Costi Operativi</b>        | –                 | –            | 304        | Somma di: <b>Operatore</b> supervisione (214€), <b>Manutenzione</b> usura (70€), <b>Trasporto</b> (20€), <b>Energia</b> (≈13€).<br><i>Rif: FAI-CISL 2025 (Manodopera), ARERA (Energia).</i>                                      |
| <b>TOTALE</b>                    | <b>120.000</b>    | <b>5.000</b> | <b>304</b> | <b>Break-Even Point:</b> 24,2 ettari/anno rispetto alla potatura manuale (1.500 €/ha).   |

Table 5: Analisi dettagliata dei costi: CAPEX, Fissi e Variabili con relative spiegazioni.

Sulla base della struttura dei costi stimata e del posizionamento di mercato del prodotto, il prezzo di vendita del sistema Mateus AgRobot è fissato a circa 170.000 €. Tale valore consente di coprire i costi di produzione, integrazione e supporto, garantendo al contempo un margine adeguato a sostenere le attività di RD, assistenza post-vendita e sviluppo futuro della soluzione.

## 6.2 Analisi del punto di pareggio (break-even)

Per confrontare la potatura robotica con la potatura manuale si considera:

- investimento iniziale del sistema robotico  $C_0 = 120\,000$  €;
- costi fissi annui  $C_f = 5\,000$  € (manutenzione, licenza, assicurazione);
- costo variabile robotico  $C_r = 304$  €/ha (somma di manutenzione variabile, energia, operatore, trasporto);
- costo potatura manuale  $C_m = 1\,500$  €/ha (stima da dati aziendali [12]);
- orizzonte temporale  $T = 5$  anni.

Il punto di rottura in termini di superficie annua potata (ha/anno) si ottiene con:

$$H = \frac{C_0 + C_f \cdot T}{(C_m - C_r) \cdot T}.$$

Sostituendo i valori:

$$H = \frac{120\,000 + 5\,000 \times 5}{(1\,500 - 304) \times 5} = \frac{145\,000}{5\,980} \approx 24,2 \text{ ha/anno.}$$

Il risultato indica che, superata una superficie di circa **24 ettari potati all'anno**, l'adozione di **Mateus AgRobot** diventa economicamente vantaggiosa rispetto alla potatura manuale: su orizzonte quinquennale, i costi totali (ammortamento, manutenzione, utilizzo) del sistema robotico risultano inferiori a quelli della potatura tradizionale, mentre a superfici inferiori la soluzione manuale rimane economicamente più conveniente.



### 6.3 Analisi di sostenibilità per le piccole aziende e proposta di pay-per-use

L'analisi del punto di pareggio evidenzia una barriera all'ingresso significativa per le piccole aziende (sotto i 24 ettari), che costituiscono una parte rilevante del tessuto produttivo italiano e del campione intervistato. Per queste realtà, l'acquisto diretto del sistema risulta economicamente insostenibile a causa dell'incidenza dei costi fissi e dell'ammortamento su una superficie ridotta.

**Scenario di inefficienza: Acquisto diretto su 10 ettari** Considerando un'azienda tipo di **10 ettari**, l'acquisto del robot comporterebbe un costo annuo totale di circa 32.040 € (dato dalla somma di ammortamento, costi fissi e costi variabili), risultando in un costo unitario di:

$$\text{Costo Robot (10 ha)} = \frac{24.000 + 5.000 + (10 \times 304)}{10} \approx \mathbf{3.204 \text{ €/ha.}}$$

Tale valore è nettamente superiore al costo della potatura manuale (1.500 €/ha), rendendo l'investimento ingiustificabile.

**Proposta di valore: Pay-per-use - Robot-as-a-Service (RaaS)** Per superare questo ostacolo, Mateus AgRobot propone un modello di servizio (*Pay-per-use-RaaS*) con una tariffa “all-inclusive” ipotizzata a **1.000 €/ha**. Questo approccio trasforma i costi fissi (CAPEX) in costi operativi variabili (OPEX), offrendo un vantaggio immediato al piccolo produttore.

La Tabella 6 mostra il vantaggio competitivo del pay-per-use per un'azienda di 10 ettari.

| Voce                        | Potatura Manuale | Acquisto Robot | Pay-per-use (RaaS) |
|-----------------------------|------------------|----------------|--------------------|
| Costo per Ettaro            | 1.500 €          | 3.204 €        | <b>1.000 €</b>     |
| Spesa Annua Totale (10 ha)  | 15.000 €         | 32.040 €       | <b>10.000 €</b>    |
| Investimento Iniziale       | 0 €              | 120.000 €      | <b>0 €</b>         |
| <b>Risparmio vs Manuale</b> | –                | -17.040 €      | <b>+ 5.000 €</b>   |

Table 6: Confronto economico per un'azienda di 10 ettari: Manuale vs Acquisto vs Pay-per-use.

**Sostenibilità del modello per il fornitore (Lessor)** Affinché il modello di pay-per-use sia sostenibile per il fornitore del servizio (che sostiene l'acquisto del robot, i costi fissi e i costi operativi variabili), è necessario raggiungere un volume minimo di ettari lavorati. Il margine di contribuzione per ettaro nel modello RaaS è calcolato come:

$$\text{Margine} = \text{Prezzo pay-per-use} - \text{Costi Variabili} = 1.000 - 304 = 696 \text{ €/ha.}$$

Il punto di pareggio per il fornitore (*Lessor Break-Even*) si ottiene coprendo i costi fissi totali annui (ammortamento + manutenzione fissa):

$$BEP_{\text{Lessor}} = \frac{24.000 + 5.000}{696} \approx \mathbf{41,7 \text{ ha/anno.}}$$

Pertanto, il fornitore deve garantire un volume di lavoro di almeno **42 ettari per stagione** (equivalenti a circa 4 clienti da 10-11 ettari) per rendere profittevole il servizio. Data la velocità operativa del robot (13,4 h/ha) e la possibilità di operare 24/7, tale volume richiede circa 563 ore di lavoro, pienamente compatibili con la durata della stagione di potatura invernale.



# 7 Risk analysis e WBS

## 7.1 WBS



## 7.2 Risk analysis

| Rischio   | Probabilità | Impatto   |
|---|-------------|---|
| Ritardi nello sviluppo dell'algoritmo di potatura                       | Media       | Grave: slittamento della roadmap e perdita di vantaggio competitivo |
| Guasti ai sensori 3D/RGB durante la stagione di potatura                | Bassa       | Catastrofico: fermo macchina e impossibilità di erogare il servizio |
| Rallentamenti nei processi di certificazione e omologazione             | Media       | Grave: ritardo nel go-to-market e costi di adeguamento              |
| Difficoltà nel reperire partner industriali per produzione e assistenza | Media       | Grave: limitata scalabilità e aumento dei costi unitari             |
| Bassa accettazione da parte di viticoltori e PMI agricole               | Moderata    | Grave: adozione lenta e ricavi inferiori alle attese                |
| Dipendenza da componenti critici esterni (LiDAR, unità di calcolo)      | Media       | Grave: shortage, aumento dei costi e ritardi di consegna            |
| Sovrastima del ROI nei business case iniziali                           | Bassa       | Moderato: allungamento dei tempi di rientro dell'investimento       |
| Aumento imprevisto dei costi di produzione del robot                    | Bassa       | Moderato: riduzione dei margini e revisione del pricing             |
| Riduzione o ritardo nell'accesso a incentivi e bandi pubblici           | Bassa       | Moderato: maggiore fabbisogno di capitale proprio o di debito       |

Table 7: Analisi sintetica dei principali rischi del progetto **Mateus AgRobot**.



## References

- [1] **Panero, M.**, De Bernardi, P., Moggi, S., & Pierce, P. (2025). *Drivers and barriers to digitalisation in viticulture: Evidence from the Italian wine sector*. British Food Journal, 127(13), 500–516. Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2024-1135>.
- [2] **Galati, A.**, Crescimanno, M., Vrontis, D., et al. (2025). *Economics and barriers of precision viticulture technologies: A systematic literature review*. Information Processing in Agriculture. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2025.100891>.
- [3] **Team Mateus AgRobot**, *Indagine sulla percezione dell'automazione nel settore vitivinicolo*. Survey condotta su un campione di 33 aziende vitivinicole italiane, Novembre 2025.
- [4] **OIV – International Organisation of Vine and Wine**, *State of the World Vine and Wine Sector 2024*. Parigi, 2024.
- [5] **Area Studi Mediobanca**, *Indagine sul settore vinicolo in Italia (Edizione 2024)*. Milano, 2024.
- [6] **IMARC Group**, *Precision Viticulture Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2025-2033*. 2024.
- [7] **MarketsandMarkets**, *Agricultural Robots Market - Global Forecast to 2026*. Report Code: AG 1021, 2024.
- [8] **Mordor Intelligence**, *Europe Precision Farming Market Size & Share Analysis - Industry Trends & Forecasts (2025 - 2030)*. 2024.
- [9] **FAO**, *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2022.
- [10] **Rossing, W.A.H.**, et al. (2023). *Robots and transformations of work in agriculture: A systematic review of the literature and research agenda*. Agronomy for Sustainable Development, 43, 47.
- [11] **Team Mateus AgRobot**, *Interview results: Intervista al viticoltore (risultati e trascrizione)*. Documento interno di progetto, Università di Bologna, 2025.
- [12] **CondifesaTVB**, *Studio dei costi per gli investimenti in agricoltura — Edizione 2020*. Condifesa Treviso-Vicenza-Belluno, 2020.

