

Federico Citarda

FLUOSS

Chlorophyll Fluorescence Sensor System

Open Design per la rilevazione precoce
dello stress nelle piante





**POLITECNICO
DI TORINO**

**Dipartimento di
Architettura e Design**

**Tesi di Laurea Magistrale
in
Design Sistemico**

FLUOSS

**Chlorophyll Fluorescence
Sensor System**

**Open Design
per la rilevazione precoce
dello stress nelle piante**

Candidato
Federico Citarda

Relatore
Prof. Fabrizio Valpreda
Correlatore
PhD. Marco Cataffo

A.A. 2019/2020

Indice

Introduzione 9

1. Analisi dello scenario 15

1.2 Scenario dell'agricoltura mondiale 15

2. Systemic Project 23

2.1 Rapporto uomo-pianta 25

2.2 Dati ottenuti dall'indagine sul rapporto uomo-pianta 34

2.3 Approccio sistemico 50

2.4 La condivisione 54

3. La fluorescenza 61

3.1 Cos'è la fotosintesi 61

3.2 Chi assorbe la luce? I pigmenti fotosintetici 62

3.3 Cos'è la fluorescenza della clorofilla 63

3.4 Come indurre la fluorescenza della clorofilla 66

3.5 I principali parametri della fluorescenza 68

4. Tecniche per l'analisi della fluorescenza 73

4.1 Fluorescenza modulata (PAM: Pulse Amplitude Modulated) 74

4.2 Fluorescenza diretta 76

4.3 Chlorophyll Fluorescence Imaging 80

5. Processo di design 85

5.1 Primo approccio alla cura delle piante 85

5.3 Studio delle attività 87

5.4 Analisi dell'utenza 88

5.5 Analisi degli ambienti 89

6. FLUOSS 93

6.1 NDVI 94

6.2 Funzionamento 96

6.3 Ergonomia 99

6.4 Componenti stampate in 3D 108

6.5 Componenti elettroniche 118

7. Assemblaggio 121

Foto dispositivo 131

Test di funzionamento 165

Conclusioni 171

Sviluppi futuri 173

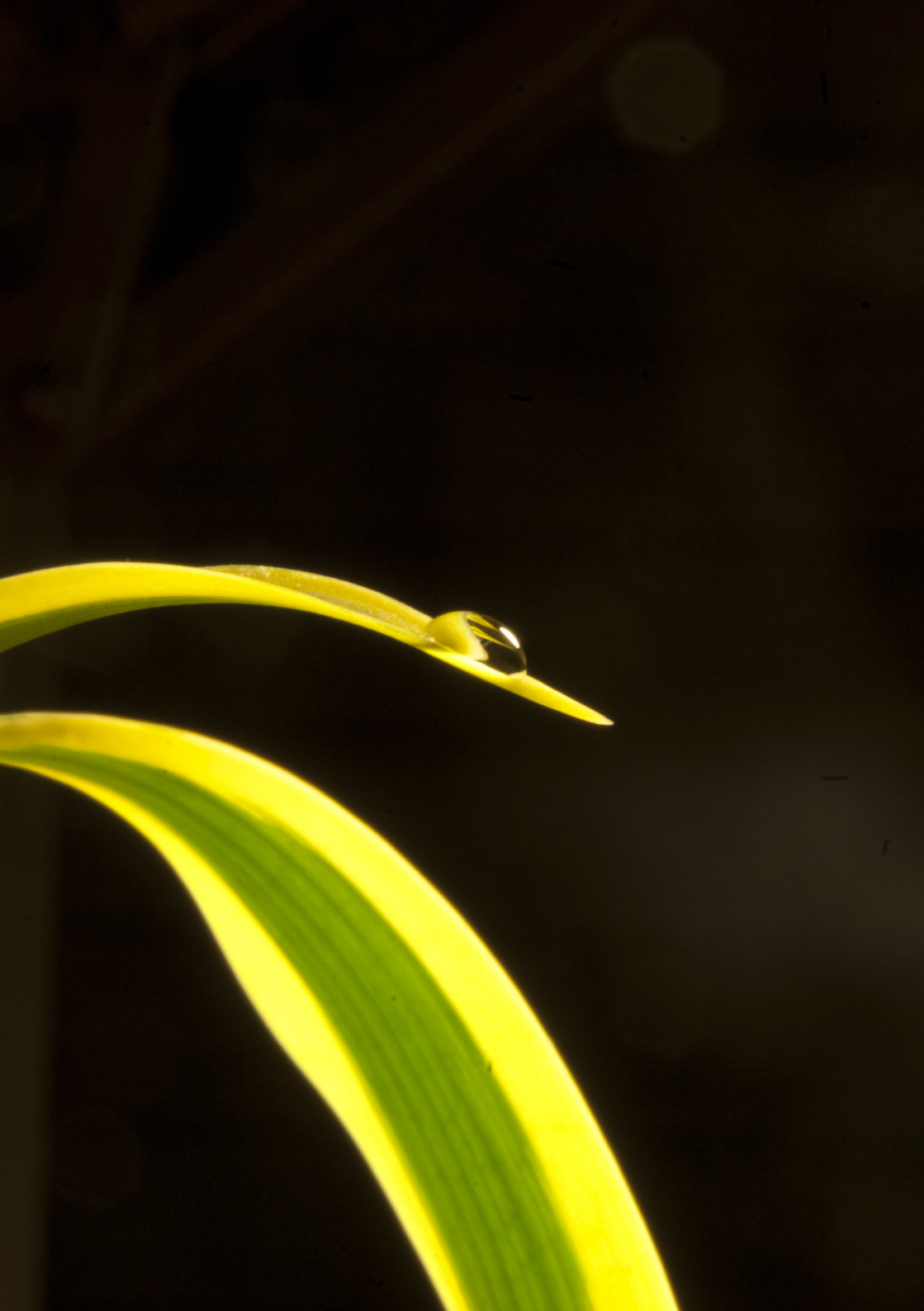
Bibliografia 175

Bibliografia citata 175

Altre fonti: 178

Sitografia: 182

Ringraziamenti 185



Introduzione

Gli studi scientifici e gli attuali avanzamenti tecnologici hanno contribuito ad una migliore conoscenza del mondo vegetale. I primi studiosi consideravano le piante come semplici cose, data la loro apparente inattività. Il filosofo greco Aristotele nel trattato “De Anima” considerava il mondo vegetale più vicino al mondo inorganico che a quello animale e affermava che le piante non possono muoversi né sentire e dunque non sono animate.

Con il passare del tempo il pensiero mutò e si affermò l’idea che anche le piante fossero esseri viventi animati e dotati di intelligenza. Fra i primi, lo stesso Aristotele, infatti, cambiò la sua tesi, in quanto, essendo le piante in grado di riprodursi, non sono quindi del tutto inanimate¹. In periodi storici differenti diversi filosofi e scienziati hanno ammesso che le piante siano dotate di intelligenza e “(...) abilità molto più raffinate di quelle comunemente osservabili”².

Studi scientifici ed esperimenti hanno confermato questa tesi. Ne è un esempio l’esperimento effettuato su una pianta di fagiolo rampicante condotto dal professor Stefano Mancuso, scienziato e studioso del mondo vegetale di riconosciuta fama internazionale. L’esperimento è stato così condotto: in prossimità della pianta è stato posto un supporto verticale, appiglio perfetto per la pianta, si è osservato successivamente il comportamento della stessa. Dall’osservazione si è notato come l’organismo vegetale fosse in grado di analizzare l’ambiente in cui si trovava fino a raggiungere il supporto. Questo dimostra come in realtà le piante siano dotate di intelligenza e sensibilità.

¹ MANCUSO - VIOLA 2013, pp 12-13

² MANCUSO - VIOLA 2013, p.5

L'affermazione secondo cui le piante siano esseri intelligenti, però, non è l'unico motivo né il più importante che dovrebbe spingerci a conoscerle meglio e imparare a prendersene cura. Infatti le piante sono di vitale importanza per l'uomo e per la terra in generale, il nostro passato, presente e futuro è da sempre strettamente interconnesso al regno vegetale.

Non si può negare che esistano delle grandi differenze fra il mondo animale e quello vegetale. Le piante sono esseri viventi che manifestano i loro comportamenti in modo meno evidente rispetto agli animali, infatti, le reazioni provenienti dalla pianta a determinati input sono osservabili a lungo termine e non nell'immediato; questo rende ancora più complesso un corretto approccio al mondo vegetale che in molti casi genera fallimenti e di conseguenza la perdita d'interesse da parte di chi se ne prende cura. Dunque avere degli strumenti in grado rilevare precocemente eventuali problemi aiuterebbe a favorire il processo ottimale di crescita della pianta.

Le soluzioni attualmente esistenti per la misura dei parametri vitali delle specie vegetali presentano problematiche comuni come ad esempio:

- elevata complessità
- difficoltà d'uso
- costi elevati

Gli attuali strumenti esistenti permettono di ottenere una vasta gamma di dati in modo molto accurato e preciso. L'utilizzo di questi apparecchi, però, prevede una profonda conoscenza tecnica di essi e di determinate nozioni scientifiche da parte degli utenti. Questo tende a limitare di molto il numero di persone che potrebbero trarre beneficio da queste tecnologie.

Il design, essendo una disciplina molto flessibile, ci permette di connettere saperi diversi e di sviluppare tematiche ad ampio raggio, da quelle scientifiche a quelle umanistiche. Un'peculiarità del design è la capacità di trasmettere, attraverso strumenti divulgativi, concetti che normalmente potrebbero essere compresi solo in ambito accademico e scientifico.

Applicando una metodologia progettuale di design al nostro studio è possibile indurre a una migliore comprensione dei processi vitali delle piante rendendo l'utente consapevole delle possibilità che si possono avere dall'individuazione precoce delle cause di stress, permettendo così una migliore conoscenza del mondo vegetale.

L'obiettivo di questo progetto consiste nella realizzazione di un prodotto che renda l'utente consapevole delle possibilità che si possono avere dall'individuazione precoce delle cause di stress delle piante, in modo da generare atteggiamenti sostenibili ed eco-compatibili. Inoltre, il destinatario potrà essere sia l'utente "amatoriale", sia il professionista del settore (ricercatori, imprenditori). Occorre quindi una soluzione alternativa in grado di fornire i dati necessari in modo rapido ed utilizzando metodi a basso costo, senza la necessità di dover possedere un bagaglio di conoscenze pari a quello di un professionista del settore. Per far ciò bisogna trovare dei compromessi accettabili che mirino ad emulare i sistemi professionali utilizzando tecniche e risorse alternative alla portata di tutti.

Viviamo in una società in forte cambiamento che deve confrontarsi con problematiche abbastanza serie come la riduzione delle risorse energetiche, la salvaguardia dell'ambiente e l'inefficienza economica che interferisce con la massimizzazione del benessere sociale.

La classica metodologia del design di prodotto, anche se corretta-

mente attuata, non è in grado di rispondere a tali esigenze, si necessita quindi di una nuova metodologia in grado di decifrare questo cambiamento e far nascere nuove visioni sul ruolo del genere umano.

Bisogna stabilire una nuova rotta che ci accompagni verso una società più sostenibile, dalla conoscenza diffusa e permeata da una rete di informazioni in continua entrata e uscita. Per raggiungere l'obiettivo di uno sviluppo sostenibile si richiede ai designers un nuovo approccio in grado di offrire una visione più estesa del ciclo di vita del prodotto che si progetta e dei rapporti che esso suscita tra gli attori coinvolti³. Ciò che è stato detto fin'ora può essere sintetizzato come l'approccio metodologico del Design Sistemico, che si attuerà in questa dissertazione.

Dalla premessa sopra esplicitata, prende l'avvio questo lavoro il cui obiettivo consiste nella possibilità di monitorare lo stato di salute delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla. Si è sviluppato un dispositivo che rappresenta una soluzione innovativa e a basso costo che permette il rilevamento precoce dello stress nei campioni vegetali, in modo da prevenire tempestivamente i danni alle colture, prima che si manifestino in maniera irreversibile.

Dare un'identità al progetto è un aspetto utile che permette di conferire visibilità e riconoscibilità al lavoro, così il nome scelto per questo progetto è FLUOSS, acronimo di fluorescence sensor system.

FLUOSS, è realizzato con l'ausilio di tecnologie per la prototipazione rapida e con l'utilizzo di strumenti open source che oggi risultano di

³ BARBERO - TAMBORRINI 2012, p.144

facile accesso.

Dare forma e contenuto al prodotto fisico non è l'unico compito del design, ma è anche quello di definire prodotti immateriali, nuovi scenari e strategie, intersecando il ruolo di altre discipline, in modo da ottenere un'innovazione in ambito ambientale e sociale, suscitando una maggiore sensibilità nei confronti del mondo delle piante e creando una rete di conoscenze che potranno essere condivise nell'ambito di questo settore.

Il documento sarà strutturato come segue. Verrà delineato lo scenario preliminare, svolgendo un'analisi dei settori in cui si manifestano esigenze specifiche che possono essere risolte con le tecnologie. Una breve introduzione sul processo fotosintetico avrà lo scopo di definire con chiarezza il fenomeno della fluorescenza della clorofilla e in che modo può essere utile per analizzare lo stato di salute della pianta. Successivamente verrà effettuata un'analisi che individuerà le tecniche attualmente utilizzate per la misurazione della fluorescenza della clorofilla. La seconda parte della dissertazione prenderà in esame la metodologia progettuale adoperata. Sulla base dei dati raccolti a seguito della somministrazione di un questionario incentrato sull'interazione uomo-pianta, si procederà alla fase progettuale. La terza ed ultima fase esplicherà la realizzazione del dispositivo.



1. Analisi dello scenario

Prima di analizzare l'attuale scenario in esame è opportuno fare una breve panoramica temporale riguardante l'evoluzione del sistema agricolo.

L'agricoltura è stata alla base della civilizzazione umana, l'uomo inizia a coltivare passando da nomade a sedentario, all'inizio del diciottesimo secolo ha inizio la prima rivoluzione agricola in Inghilterra grazie alla quale viene introdotta la tecnica della rotazione delle colture e si iniziano ad utilizzare nuovi strumenti per la lavorazione del terreno. Due secoli dopo, nel periodo che intercorre fra la Prima e la Seconda Guerra Mondiale, l'agricoltura inizia la fase di meccanizzazione con l'avvento del trattore e di nuove attrezzature che verranno migliorate sempre di più. Verso la fine del '900 ha inizio l'era dell'agricoltura di precisione, "precision farming", che si svilupperà fino ai giorni nostri utilizzando tecnologie innovative (satelliti, droni, trattori a guida autonoma) per l'analisi e la cura delle colture.

1.2 Scenario dell'agricoltura mondiale

Come già previsto dal famoso rapporto del 1972 commissionato dal MIT al Club di Roma, dal titolo "*The Limits to Growth*"⁴ (fig.1), procedendo anno dopo anno con gli attuali ritmi di crescita, la popolazione umana subirà un drastico aumento e le risorse non saranno sufficienti per tutti. Attualmente la popolazione mondiale è di circa 7,7 miliardi, secondo i dati dell'ONU la crescita della popolazione mondiale nel 2050 supererà i 9 miliardi di persone⁵ (fig.2).

4 MEADOWS - MEADOWS - RANDERS - BEHRENS 1972, p.136

5 ALEXANDRATOS - BRUINSMA 2012, p. 29

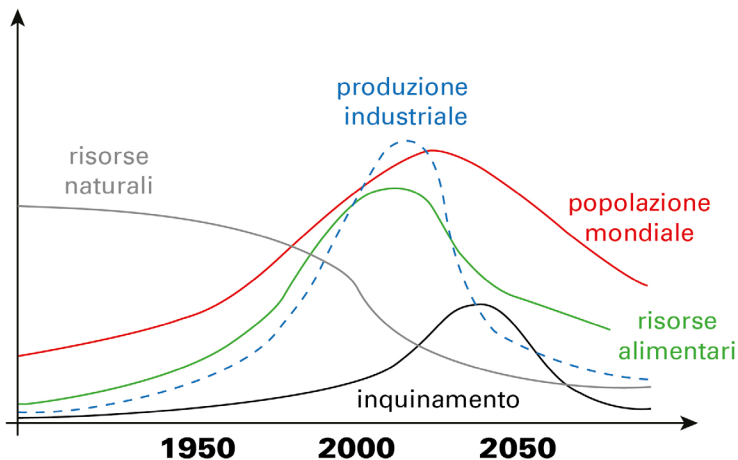


FIG.1: I limiti dello sviluppo previsti dal M.I.T. con il rapporto *The Limith To Growth*.

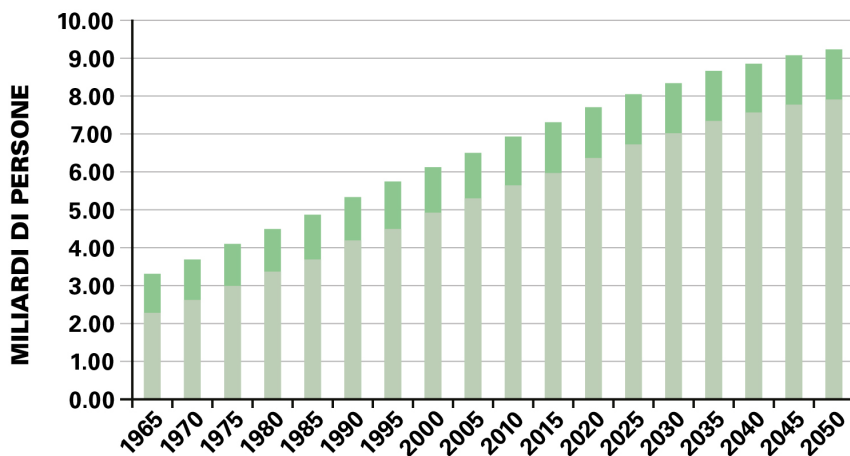


FIG.2: Crescita della popolazione mondiale

L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) ha stabilito che poter soddisfare le esigenze di tutti sarà necessario un aumento della produzione alimentare del 60% entro

il 2050⁶. Circa l'80 % della nostra dieta è costituito da vegetali, inoltre il 98 % dell'ossigeno che respiriamo è prodotto dalle piante, ma queste tuttavia sono esposte costantemente ed in maniera crescente alla minaccia di malattie e parassiti. La FAO afferma che ogni anno fino al 40% delle coltivazioni mondiali viene distrutto da malattie e parassiti con conseguenti perdite commerciali di oltre 220 miliardi di dollari e con gravissimi danni all'agricoltura che risulta essere la principale fonte di reddito per le comunità rurali più povere⁷.

Attuare una campagna di prevenzione nei confronti di malattie e parassiti che possono danneggiare le piante risulta più economico piuttosto che affrontare le emergenze.

Il 2 dicembre 2019 la FAO ha indicato nel 2020 l'Anno Internazionale della Salute delle Piante (IYPH), che ha come obiettivo quello di aumentare la consapevolezza globale su come proteggere la salute delle piante.



⁶ <http://www.fao.org/news/story/it/item/35779/icode/>

⁷ <http://www.fao.org/news/story/it/item/1253599/icode/>

Gli obiettivi principali del IYPH sono i seguenti⁸:

- sensibilizzare l'opinione pubblica sull'importanza delle piante sane per raggiungere gli obiettivi prefissati dall'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile;
- evidenziare gli effetti della salute delle piante sulla sicurezza alimentare e sulle funzioni degli ecosistemi;
- condividere le migliori pratiche su come mantenere le piante in buona salute tutelando al tempo stesso l'ambiente;

Per poter raggiungere questi obiettivi e per permettere un incremento delle rese agricole entro il 2050 è essenziale riuscire a sfruttare al meglio la tecnologia. Grazie alle moderne tecnologie è possibile stabilire con precisione il fabbisogno di acqua e nutrienti delle coltivazioni, prevenire l'insorgere di patologie e identificare agenti infestanti prima che si diffondano. Questo permette di compiere interventi mirati, risparmiare tempo ed evitare lo spreco di risorse, oltre al fatto di aumentare la qualità delle colture e la loro resa.

Nell'ambito della ricerca scientifica l'utilizzo di tecnologie innovative è il motore trainante che permette di rendere più dettagliate le analisi sui campioni vegetali. Ma spesso i benefici delle moderne tecnologie e gli strumenti hanno costi molto elevati e nell'ambito della ricerca pubblica la scarsa disponibilità di fondi ne limita la fruizione. Le politiche e gli interventi effettuati al fine di promuovere la salute delle piante sono fondamentali per l'uomo e il suo benessere in quanto tendono a soddisfare un bisogno primario quello della sopravvivenza.

Nell'analizzare la metodologia progettuale più opportuna da attuare per questo progetto ci si imbatte in un bivio: progettare avendo come focus principale il prodotto o progettare avendo come focus

⁸ <http://www.fao.org/news/story/it/item/1253599/icode/>

principale l'uomo.

Nel caso in cui l'obiettivo principale del progetto sia il prodotto, la metodologia progettuale prevede delle fasi: un'analisi iniziale delle azioni che potranno soddisfare le aspettative che il consumatore avrà nei confronti del prodotto, lo studio di un target di consumatori e l'elaborazione delle opportune strategie da adottare per soddisfare il consumatore. In questo caso i valori correlati al prodotto, saranno le materie prime con le quali avviare la produzione, il valore economico che si potrà ottenere ed infine lo status symbol che quel prodotto rappresenterà per il consumatore. Successivamente occorre garantire che il prodotto arrivi al consumatore e per far questo si ricorre a l'adozione di strategie di marketing, le quali hanno come obiettivo primario quello di identificare le attuali necessità richieste dall'utenza, senza però prendere in considerazione le politiche più corrette atte a soddisfare tali bisogni nel migliore dei modi. I consumatori spesso acquistano il prodotto non per reale necessità ma perché spinti a soddisfare un desiderio indotto dalle politiche di marketing attraverso utilizzo massiccio di campagne pubblicitarie⁹.

Lo scopo della metodologia progettuale che si intende applicare a questo lavoro è quello di mettere l'uomo al centro del progetto, in relazione sistemica con il mondo circostante. Il bisogno di conoscere lo stato di salute delle piante e di poter prevenire le possibili malattie o cause di stress delle stesse è un reale bisogno che, come abbiamo precedentemente affermato tramite i dati dell'analisi di scenario, necessita di essere soddisfatto per migliorare anche la qualità della vita dell'uomo.

Viviamo in un' epoca in cui non possiamo evitare di fare i conti con

⁹ BISTAGNINO 2008a, pp. 10-14

l'esaurimento delle le risorse, in quanto designers abbiamo la responsabilità e l'obbligo di non limitarci al solo progettare per dare una forma esteticamente appagante ad un prodotto, ma dovremmo progettare per la società.





2. Systemic Project

Progettare consiste nell' eseguire una sequenza di comportamenti elaborati e concatenati, quali, osservare la realtà, fare modelli sintetici e manipolabili che verranno trasformati in realtà. In quest'ottica è determinante, ai fini della valutazione di un progetto, la conoscenza che il designer ha di quella realtà prima di manipolarne le condizioni e provocarne effetti. Data l'elevata complessità della realtà, non è consigliabile agire progettualmente in scala 1:1 sui problemi, ma risulta più utile farne dei modelli in scala più ridotta. La riduzione di scala dei problemi comporta inevitabilmente la perdita di alcune informazioni, è quindi essenziale preservare le componenti che rappresentano il problema, mettendo da parte ciò che non è rilevante. Per trascurare l'irrilevante è essenziale avere una buona conoscenza del fenomeno su cui si progetta, questo ci permetterà di focalizzare la nostra attenzione sul nucleo del problema che si intende risolvere. Occorrerà inoltre, elaborare degli strumenti di sintesi che descrivano il fenomeno in modo da salvaguardare l'essenza del problema¹³.

Allo scopo di individuare il miglior percorso progettuale da intraprendere risulta utile studiare le attività che vengono svolte per la cura e produzione delle piante.

L'analisi si è concentrata sullo studio dell'attività che si svolgono in un vivaio, al cui interno le piante vengono riprodotte, allevate e preparate per la vendita. Esso risulta essere un ottimo campione da analizzare ai fini della comprensione delle attività del processo produttivo perché afferente sia all'attività industriale che a quella agricola.

13 CELASCHI 2008a, pp. 29-30

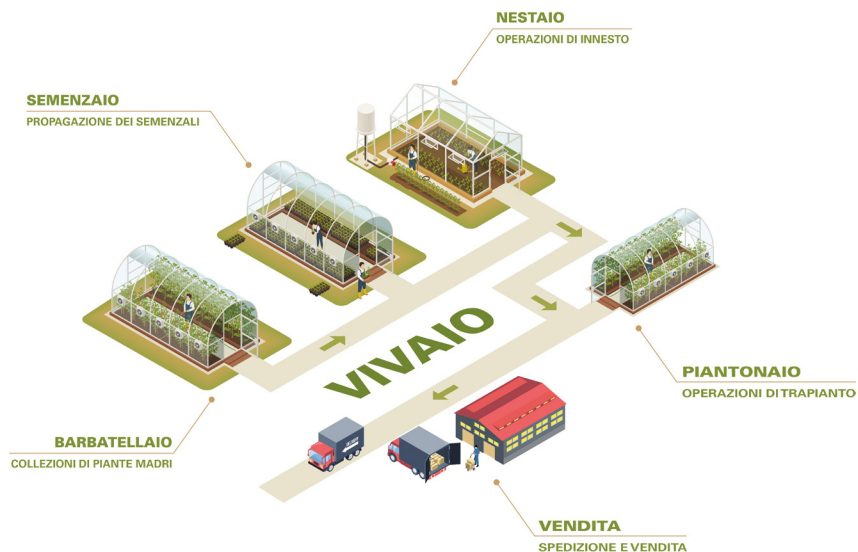


FIG.3: Struttura generale di un vivaio

La fig.3 rappresenta la struttura generale di un vivaio in cui sono presenti cinque settori principali (barbatellaio, semenzaio, nestaio, piantonaio, punto vendita) all'interno dei quali vengono svolte determinate mansioni.

Lo schema in figura è il risultato di un'attenta disamina delle diverse fasi del processo produttivo oggetto di verifica sul campo grazie all'aiuto di esperti nel settore con i quali ci si è confrontati al fine del raggiungimento di tali conclusioni.

L'elaborato grafico ci permette di avere una panoramica completa delle diverse fasi del processo produttivo in questione e delle attività svolte dal personale operante nel vivaio. Attraverso questa visione d'insieme è possibile concentrarsi su determinati settori e individuare i punti di forza e di debolezza legati ad una determinata attività e provare ad intervenire su di essi attraverso l'ausilio della

tecnologia.

Questo processo non implica l'esclusione della fattore umano che rimane sempre il fulcro del progetto, ma punta ad ampliare le competenze in modo da creare un equilibrio tra la componente umana e la tecnologia.

Attraverso l'ausilio di FLUOSS l'utente verrà supportato e guidato nell'osservazione dello stato di salute della pianta. Si è privilegiato questo aspetto, ovvero quello dell'osservazione mirata, in quanto si ritiene che esso sia fondamentale per eseguire correttamente tutte le altre attività legate alla cura della pianta: innaffiare, concimare, potare, ecc...

2.1 Rapporto uomo-pianta

Per attività di design si intende: "l'insieme degli obiettivi, delle competenze e delle pratiche che possono essere condivisi dai diversi attori che partecipano all'attività complessiva che dal progetto conduce al prodotto/servizio" ¹⁴.

La scelta di analizzare l'utenza in questo progetto ha come obiettivo la realizzazione di un prodotto che renda l'utente consapevole delle possibilità che si possono avere dall'individuazione precoce delle cause di stress delle piante, in modo da generare atteggiamenti sostenibili ed eco-compatibili. Inoltre, il destinatario potrà essere sia l'utente "amatoriale", sia il professionista del settore (ricercatori, imprenditori), in tal modo l'uso del design non sarà discriminante.

Attraverso l'analisi dell'utenza è possibile effettuare un'osservazio-

¹⁴ GERMAK - DE GIORGI 2008, p. 53

ne critica che consente di delineare dei requisiti, far emergere criticità legate alla cura delle piante e arricchire la complessità dello scenario.

Lo strumento che si è scelto di utilizzare per l'analisi dell'utenza è il questionario che consente di ottenere informazioni sulle tipologie di utenti che, per lavoro, hobby o altro, entrano a diretto contatto con le piante. (Questionario presente al paragrafo 2.2)

Il sondaggio somministrato consente di individuare i soggetti che si avvicinano al mondo delle piante e in che modo si prendono cura delle stesse, così da delineare un network di utenti coinvolti. Quindi la rete di relazioni ottenuta restituisce un quadro d'insieme che ci permette un intervento mirato ed idoneo all'interno del sistema che andremo ad influenzare con il nostro progetto.

Il questionario non è stato somministrato alla sola categoria degli utenti direttamente coinvolti ma tiene in considerazione anche "l'utenza passiva", che ricade sotto la voce "non mi interessa" (grafico domanda 1).

La scelta di definire l'utenza come passiva deriva dalla constatazione che non si può parlare di totale assenza di interazione, in quanto l'uomo, se pure involontariamente, interagisce con le piante, infatti, da esse dipende la maggior parte della produzione di ossigeno presente nell'atmosfera, fondamentale per la nostra sopravvivenza.

La finalità del progetto non comprende il solo miglioramento della qualità delle informazioni che vengono scambiate all'interno del sistema, ma anche l'ampliamento del bacino di utenti, in modo da diffondere tali informazioni anche al di fuori dell'utenza primaria.

Il questionario risulta strutturato in tre parti: la prima parte permette di caratterizzare il tipo di interazione che gli intervistati dichiarano di avere con le piante e il grado di importanza che la persona attribuisce alla conoscenza del mondo vegetale e alla cura dello stesso. Con i dati ottenuti da questa prima parte è possibile definire se l'interazione avviene per scopi lavorativi, per hobby o se l'intervistato non nutre un reale interesse nei confronti delle piante.

La seconda parte comprende una serie di domande aventi lo scopo di comprendere come siano strutturate le attività degli utenti, il tempo ad esse dedicato, il luogo in cui si svolgono, quale attività ritengono più faticosa (dal punto di vista fisico), quale più difficile (dal punto di vista dell'applicazione mentale) e quale svolgono in maniera più frequente. Nelle domande 18-19-20, in particolare, sono state inserite 5 attività ritenute essenziali nella cura delle piante, la cui selezione risulta dettata dalla precedente analisi del sistema vivaio, svolta prima della somministrazione del questionario.

La parte finale del questionario pone l'attenzione sulla condivisibilità di tali attività in modo da stabilire la rete di utenti che ne prendono parte; infine si è ritenuto utile destinare le ultime domande alla realizzazione di un quadro generale che illustrasse gli strumenti ritenuti più utili per l'attività di cura delle piante.

Sulla base delle risposte ottenute dal questionario è possibile trarre le seguenti conclusioni. Dai dati ottenuti dalla domanda 1 è possibile identificare due tipi principali di interazione che sono definiti in base al modo in cui uomo e pianta agiscono. In alcuni casi possono essere entrambi soggetti dell'interazione, mentre in altri casi uno dei due viene identificato come oggetto dell'interazione.

Per esemplificare il primo tipo di interazione possiamo fare riferi-

mento agli intervistati che si rapportano con le piante per lavoro (8%) o per hobby (80%).

Il secondo tipo di interazione, che si ha quando solo uno dei due soggetti è attivo, è illustrato dalla percentuale di intervistati che non si interessano delle piante (12%), in questo caso l'uomo non è il soggetto dell'interazione.

Per quanto concerne la qualità delle interazioni occorre fare maggiore chiarezza relativamente all'utente che svolge queste attività per hobby. Nel primo caso l'interazione con le piante è motivata da un interesse personale, quindi il driver di questa interazione è una volontà e non un bisogno.

Dall'osservazione del grafico della domanda 1, si può affermare che nell'88% (80,3 + 7,7) dei casi studiati siamo in presenza di un tipo di interazione partecipativa dove entrambi i membri sono soggetti.

Procedendo con l'analisi delle domande è possibile comprendere il grado d'importanza che gli intervistati assegnano alla conoscenza delle piante, alla cura delle stesse, al modo migliore per farlo e all'esperienza che occorre.

Dalle risposte della domanda 4, si evince che il 67% degli intervistati ritiene molto importante conoscere il modo in cui prendersi cura delle piante.

Analizzando il grafico ottenuto dalla domanda 5, si può affermare che anche l'esperienza nella cura delle piante, per il 92% degli intervistati, riveste un ruolo importante.

Quindi gli intervistati piuttosto che alla conoscenza generale delle

piante, assegnano una maggiore importanza al modo migliore per prendersene cura e all'esperienza che occorre. Queste informazioni sono molto utili per il progetto, perché permettono di prendere decisioni progettuali sensate tenendo in considerazione i pareri dei possibili fruitori del progetto.

Entrando più nello specifico dell'attività di cura delle piante, dal grafico ottenuto dalla domanda 14 è possibile affermare che, da parte degli intervistati, vi è la necessità di facilitare l'approccio alla cura delle piante. Questi dati diventano preziosi per il progetto perché affermano la necessità di un aiuto per rendere più facile l'apprendimento di informazioni utili per prendersi cura delle piante. Per andare incontro a questa necessità occorre uno strumento che permetta di riconoscere precocemente le cause di stress prima che sia troppo tardi. Infatti i segnali che le piante manifestano quando sono sottoposte a stress possono essere individuati prima che questo si manifesti visivamente.

Un esempio appropriato è dato dalla fig.4¹⁵, grazie alla quale è possibile osservare l'effetto di un fungo su un campione vegetale, del quale viene monitorata la fluorescenza. Dall'analisi della fluorescenza è possibile notare cambiamenti in alcune zone dell'area fogliare prima che i sintomi prodotti dal fungo siano chiaramente visibili ad occhio nudo. Questo è un chiaro esempio per far comprendere l'importanza della lettura della fluorescenza per rilevare precocemente se la pianta è soggetta a stress.

Le risposte ottenute dalle domande 18-19-20 possono essere messe in relazione in modo da permettere di individuare la correlazione tra la frequenza, il grado di fatica e il grado di difficoltà che gli intervi-

15 CHAERLE - VAN DER STRAETEN 2000, pp. 499-501

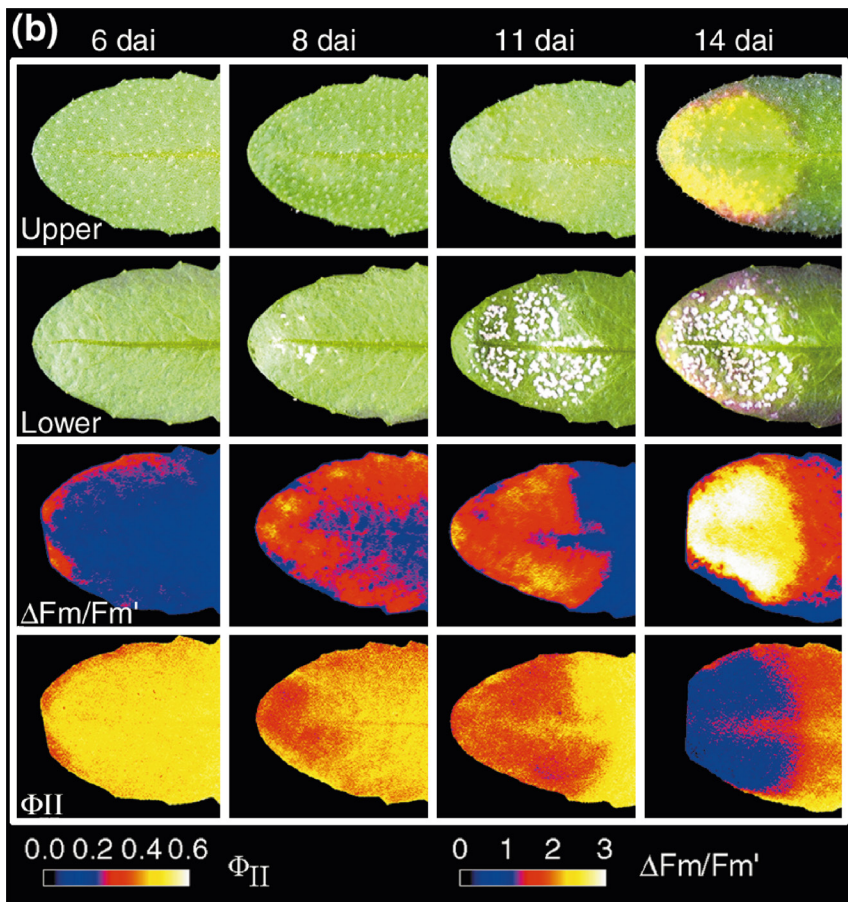


FIG.4: Analisi della fluorescenza di un campione vegetale affetto da un fungo. Immagine tratta da: L. Chaerle, D. Van Der Straeten, *Imaging techniques and the early detection of plant stress*, in *Trends in Plant Science*, 5.11, 2000, p.500

stati assegnano a determinate attività di cura delle piante. Delle 5 attività prese in esame si è scelto di concentrarsi sull'attività di disamina che è ritenuta di importanza strategica per il progetto.

I grafici ottenuti dalle domande 18-19-20 permettono di avere infor-

mazioni sull'attività che viene svolta più frequentemente, sull'attività più faticosa e su quella più difficile. Esaminare, ad esempio, è una di quelle attività che sono svolte più frequentemente, risulta però interessante capire il grado di fatica e di difficoltà assegnatole non da chi la svolge in maniera più frequente, ma dagli intervistati che non svolgono mai tale attività.

Osservando le scelte fatte dagli intervistati che non esaminano mai le piante, ovvero che hanno assegnato il voto 0 alla domanda 18, è possibile affermare che 31 degli intervistati hanno affermato di non esaminare mai le piante. Da questi dati è possibile estrapolare altre informazioni importanti, che permettono di capire che grado di fatica e che grado di difficoltà, i 31 intervistati, assegnano alla medesima attività.

Queste informazioni permettono di realizzare i seguenti grafici che saranno oggetto di analisi.

Dalla fig.5, si evince in che modo la scelta di non esaminare dipenda da quanto questa attività viene ritenuta faticosa. Delle 31 persone che non esaminano mai le piante il 38% (16+6+16) la ritiene una mansione faticosa.

Dalle informazioni ottenute dalla fig.6, invece, si evidenzia che l'attività dell'esaminare non viene svolta frequentemente perché per più della metà degli intervistati (55% = 16+23+16) viene ritenuta difficile.

Procedendo con l'analisi dei dati, la domanda 22 evidenzia che il 66% degli intervistati afferma di condividere con altre persone l'attività di cura delle piante. Questo è un dato interessante in quanto dimostra l'esistenza di una rete di informazioni tra gli utenti del sistema. La domanda 22 può essere messa in relazione con la succes-

CHI NON ESAMINA MAI LE PIANTE (VOTO 0), QUANTO LO RITIENE FATICOLO?

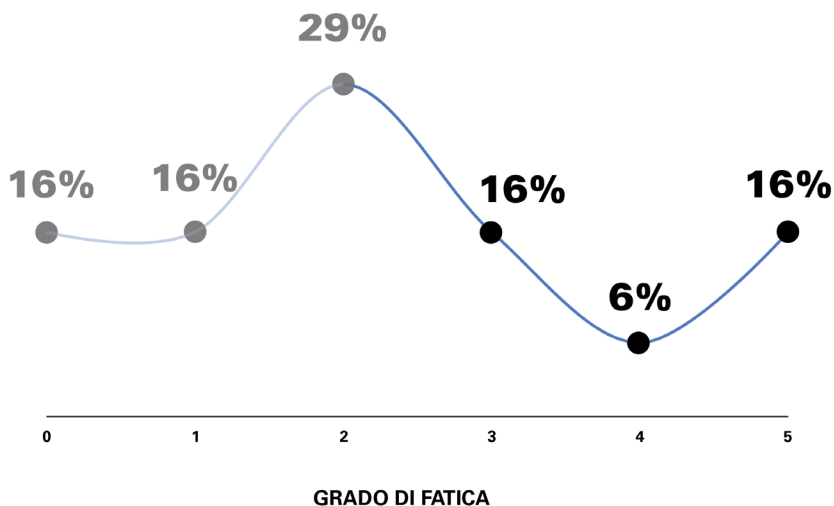


FIG.5: Grafico che illustra quanto l'attività dell'esaminare è ritenuta faticosa da chi non esamina mai le piante.

siva, ovvero la domanda 23, che ci permette di comprendere quali sono le persone o le categorie di persone con le quali si condividono queste attività e in che percentuale.

Dalle risposte ottenute alla domanda 25, che chiede il parere degli intervistati riguardo agli strumenti più utili per la cura delle piante, si può osservare che il 53% ritiene che lo strumento più utile sia la conoscenza.

CHI NON ESAMINA MAI LE PIANTE (VOTO 0), QUANTO LO RITIENE DIFFICILE?

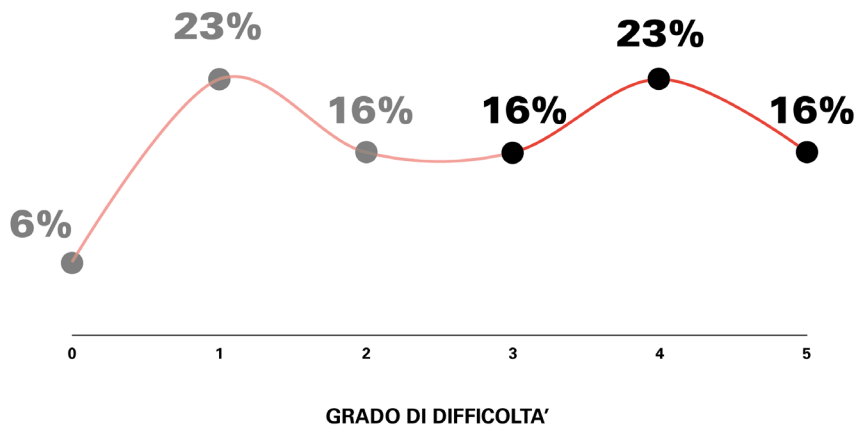
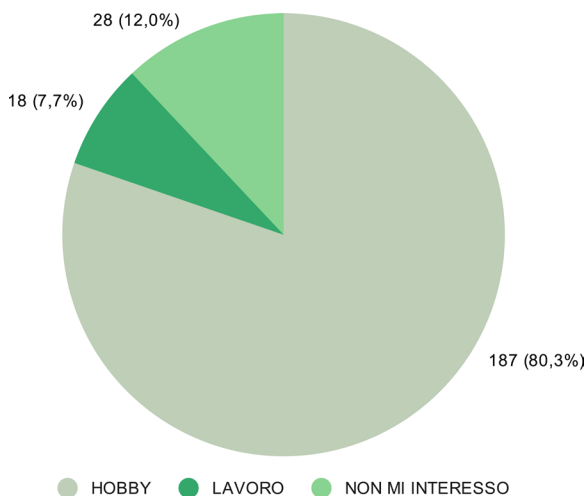


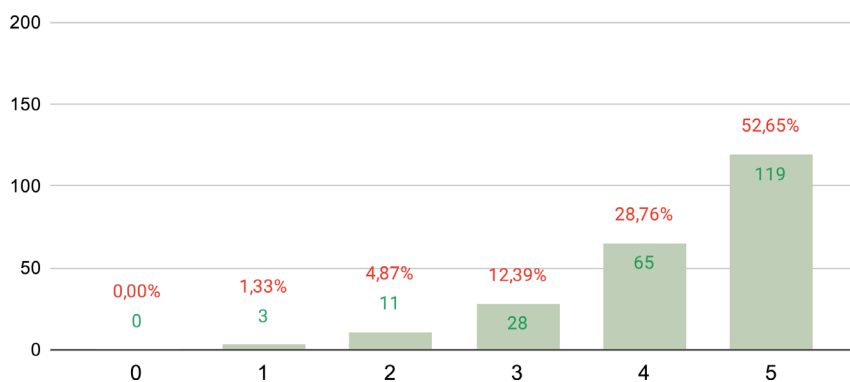
FIG.6: Grafico che illustra quanto l'attività dell'esaminare è ritenuta difficile da chi non esamina mai le piante.

2.2 Dati ottenuti dall'indagine sul rapporto uomo-pianta

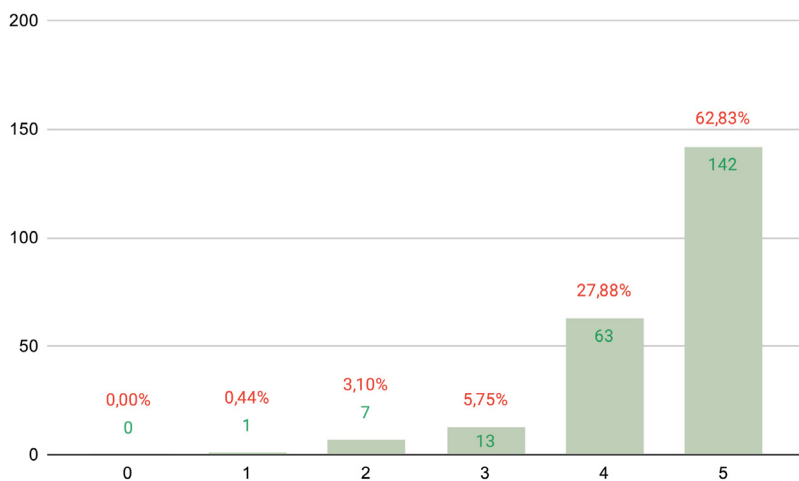
1. Qual è il principale motivo per il quale sei a contatto con le piante?



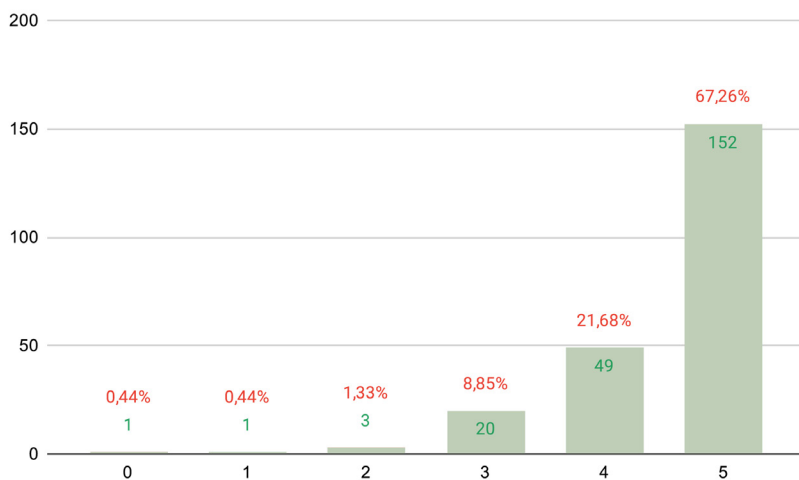
2. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto importante). Quanto pensi sia importante conoscere le piante?



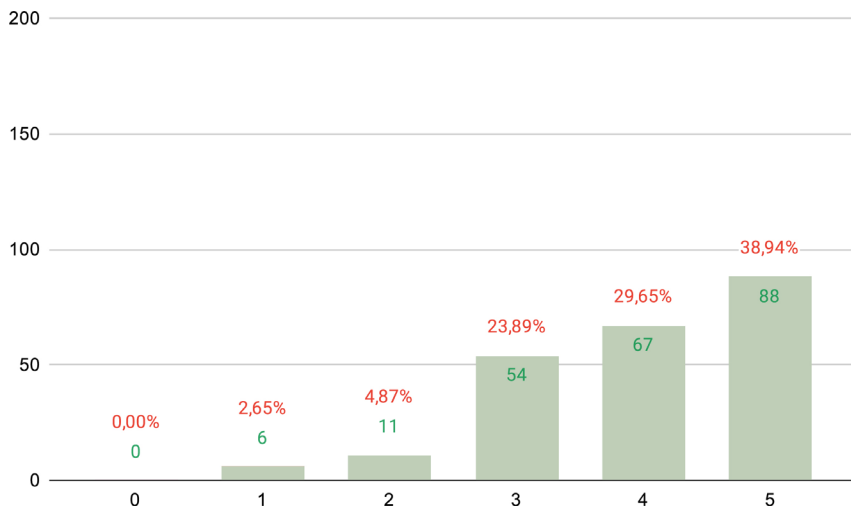
3. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto importante). Quanto pensi sia importante prendersi cura delle piante?



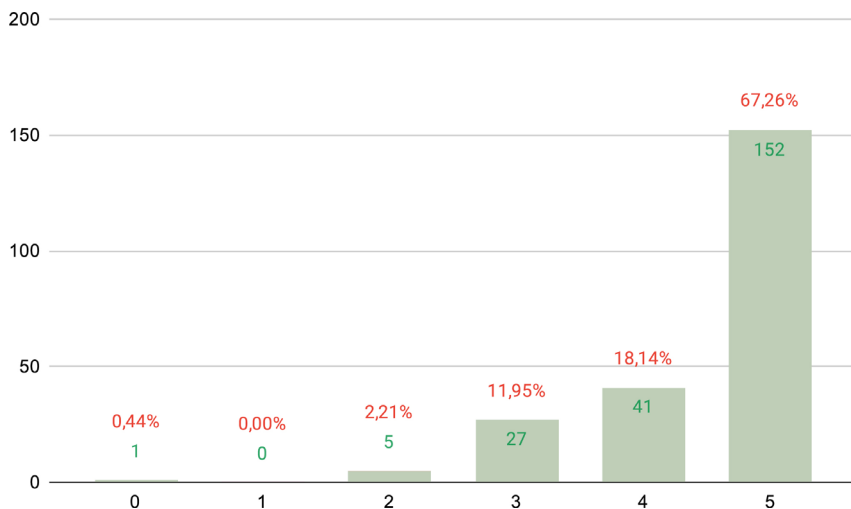
4. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto importante). Quanto pensi sia importante sapere come prendersi cura delle piante?



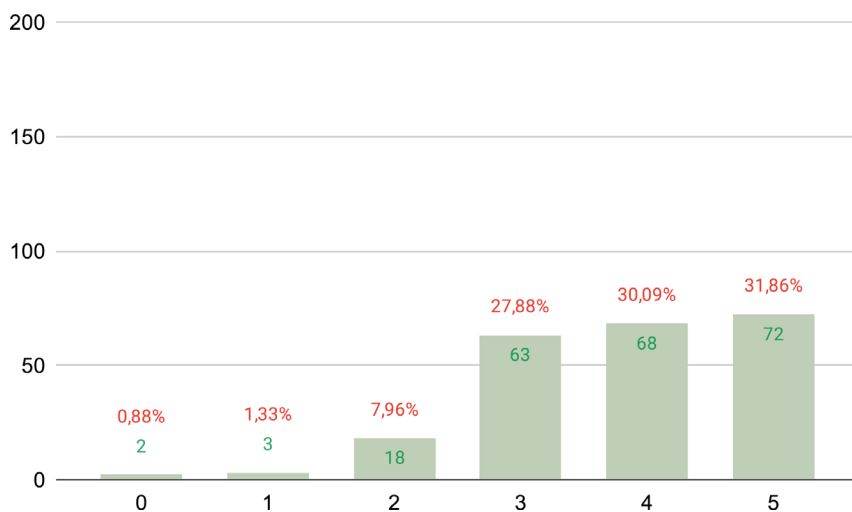
5. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto importante). Quanto pensi sia importante avere esperienza nella cura delle piante? 32 33



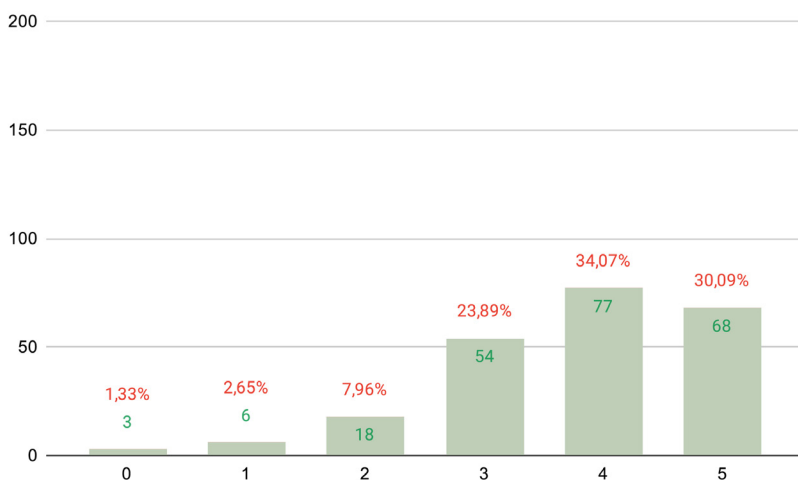
6. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessa la salute delle piante?



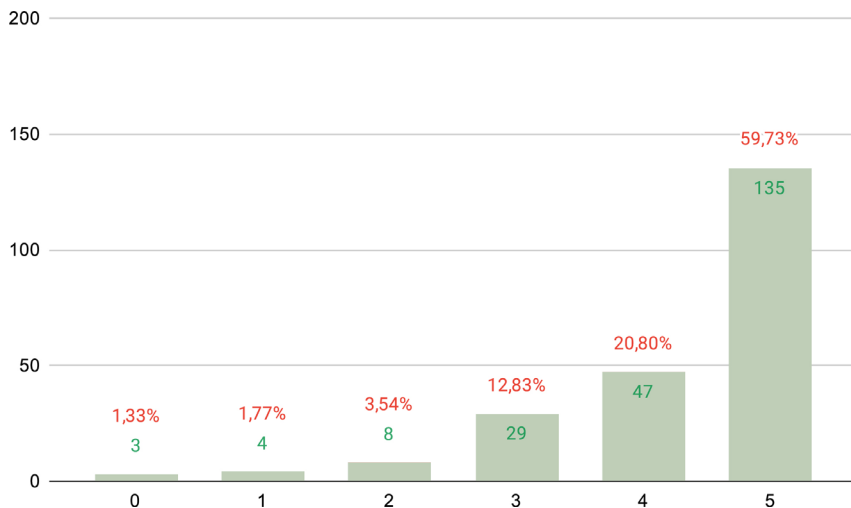
7. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessa la produttività delle piante?



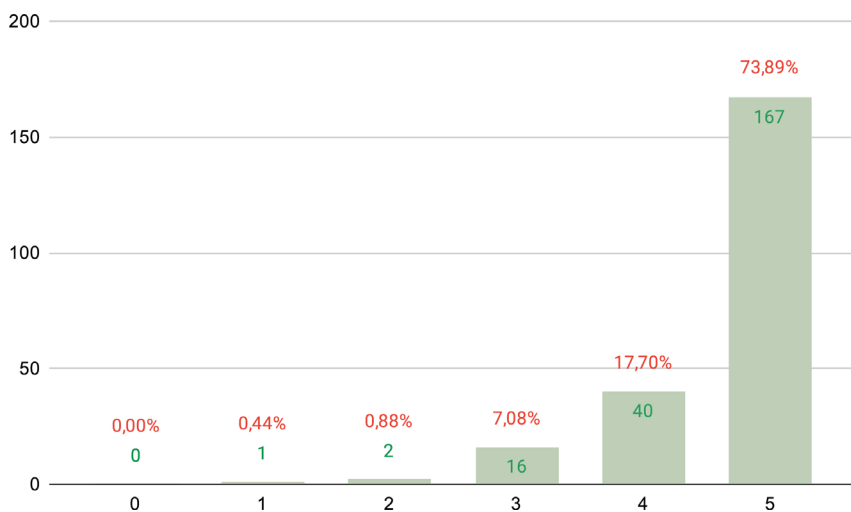
8. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessa l'aspetto estetico delle piante?



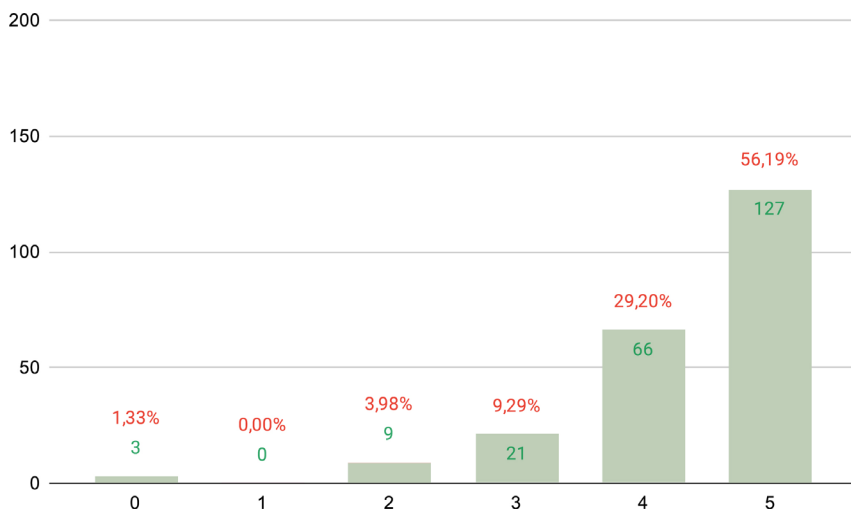
9. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessano gli effetti benefici sulla salute prodotti dalle piante?



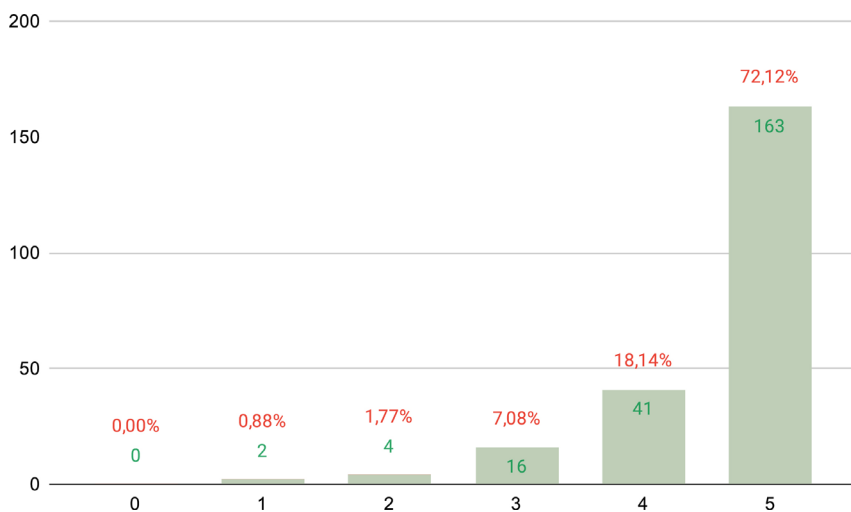
10. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessano gli effetti benefici sull'ambiente prodotti dalle piante?



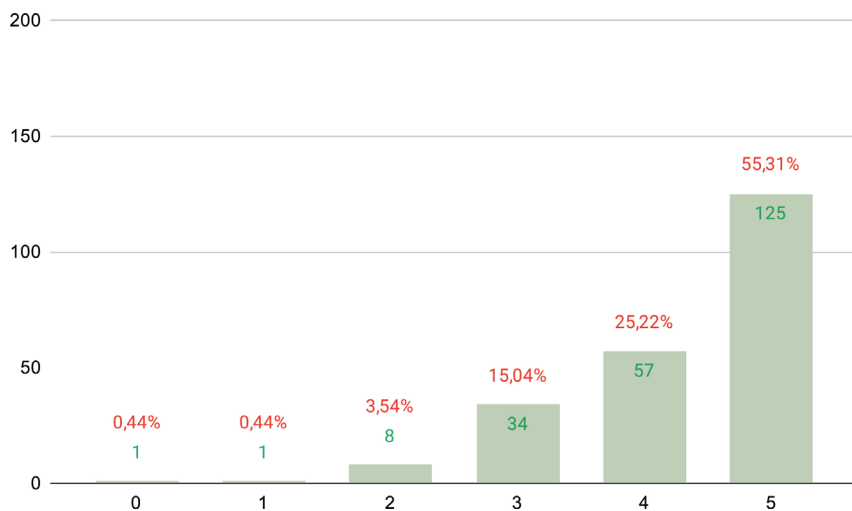
11. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessa la sensibilizzazione nei confronti delle piante?



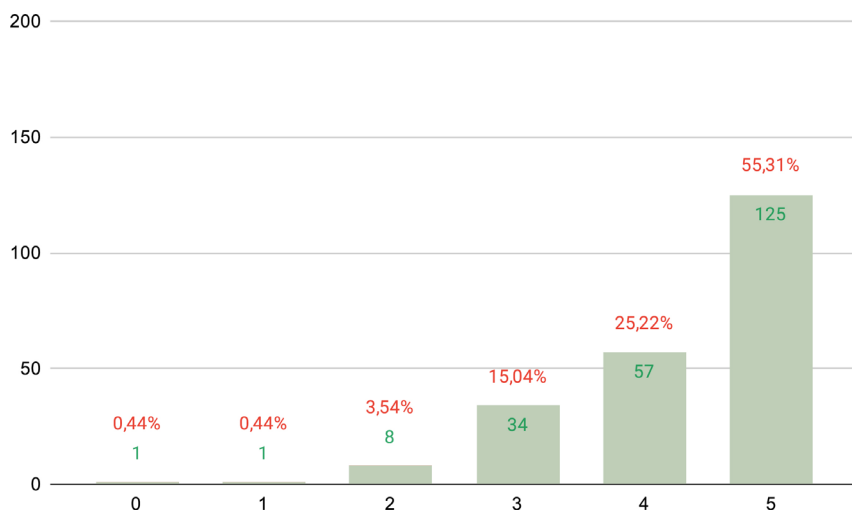
12. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessa la tutela delle piante?



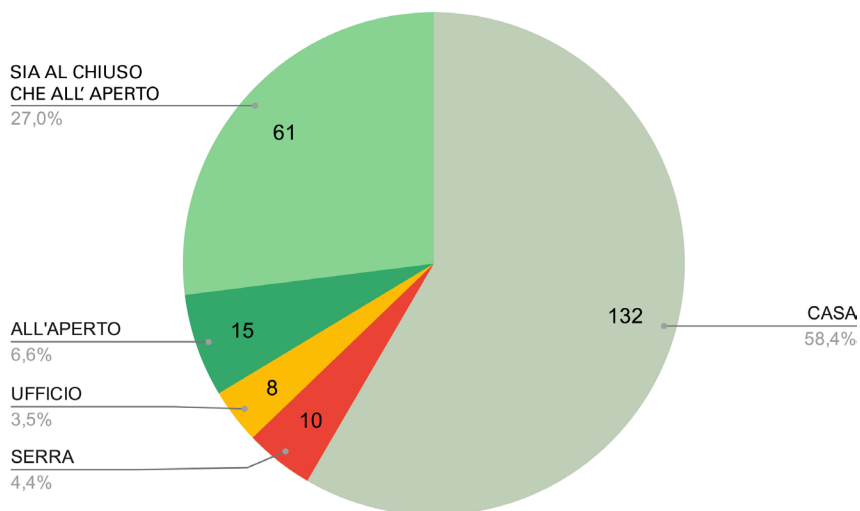
13. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto ti interessa la valorizzazione delle piante?



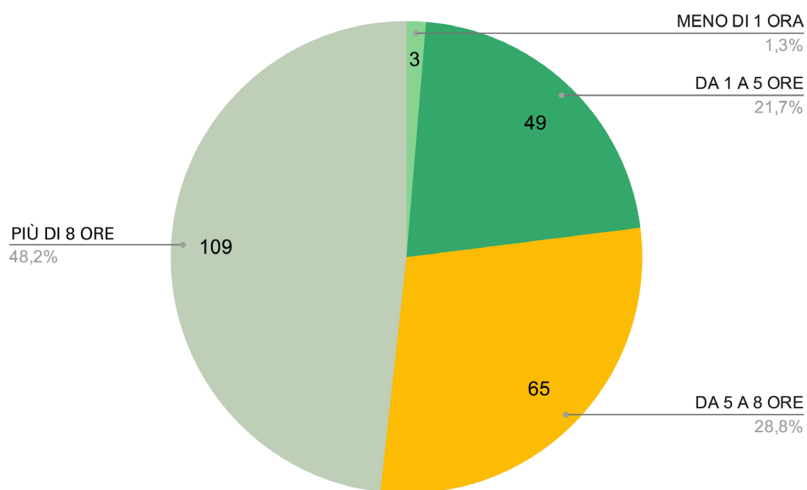
14. In una scala da 0 (per niente) a 5 (molto). Quanto è stato difficile il primo approccio alla cura delle piante?



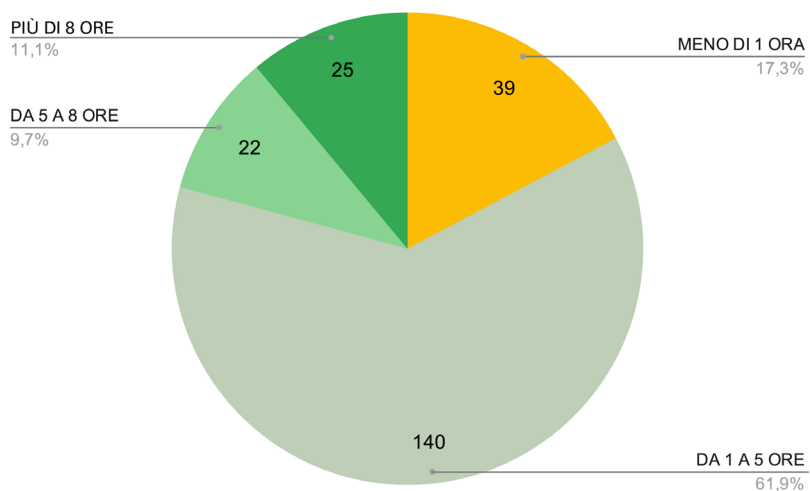
15. Dove ti trovi più a contatto con le piante?



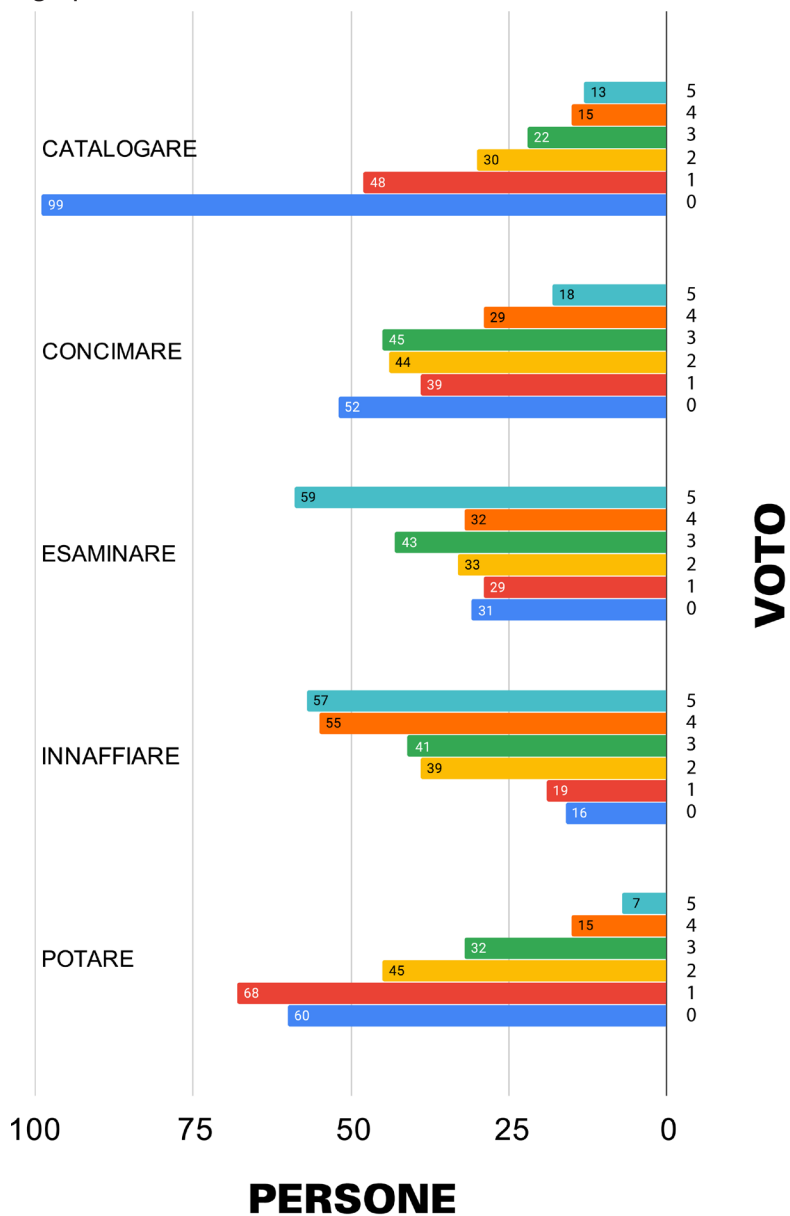
16. Quanto tempo passi al chiuso durante la giornata?



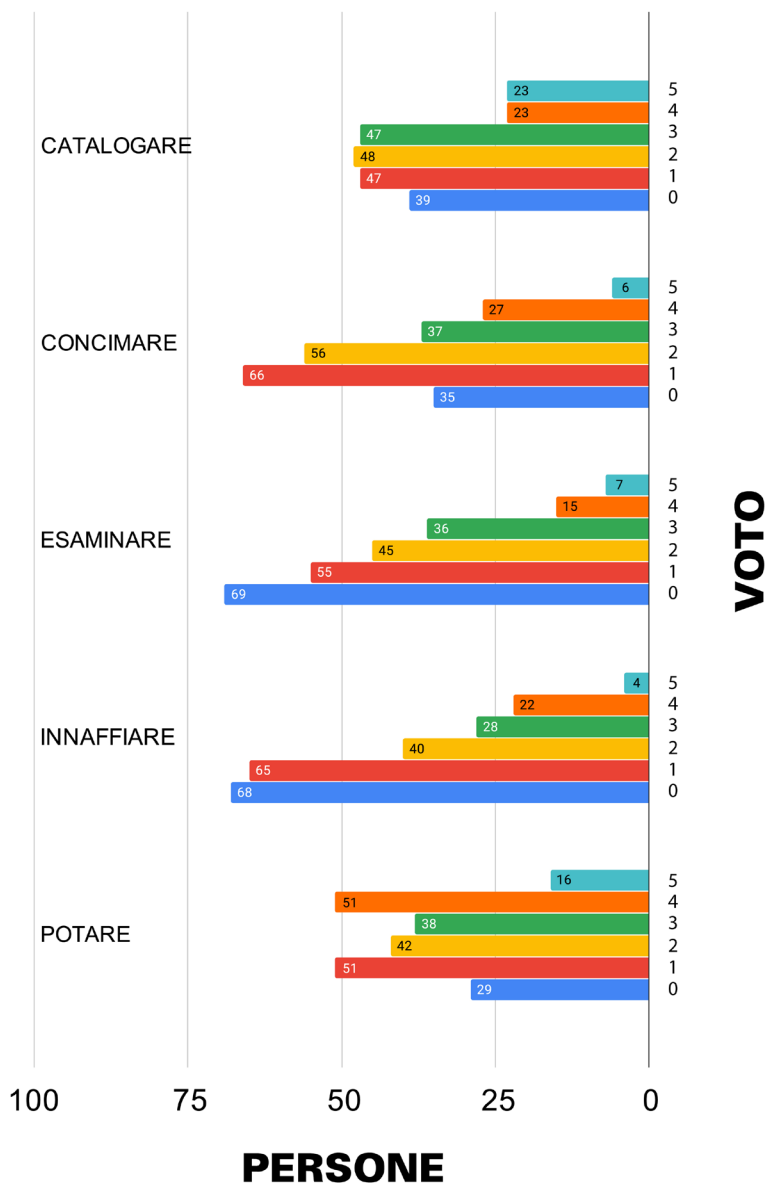
17. Quanto tempo passi all'aperto durante la giornata?



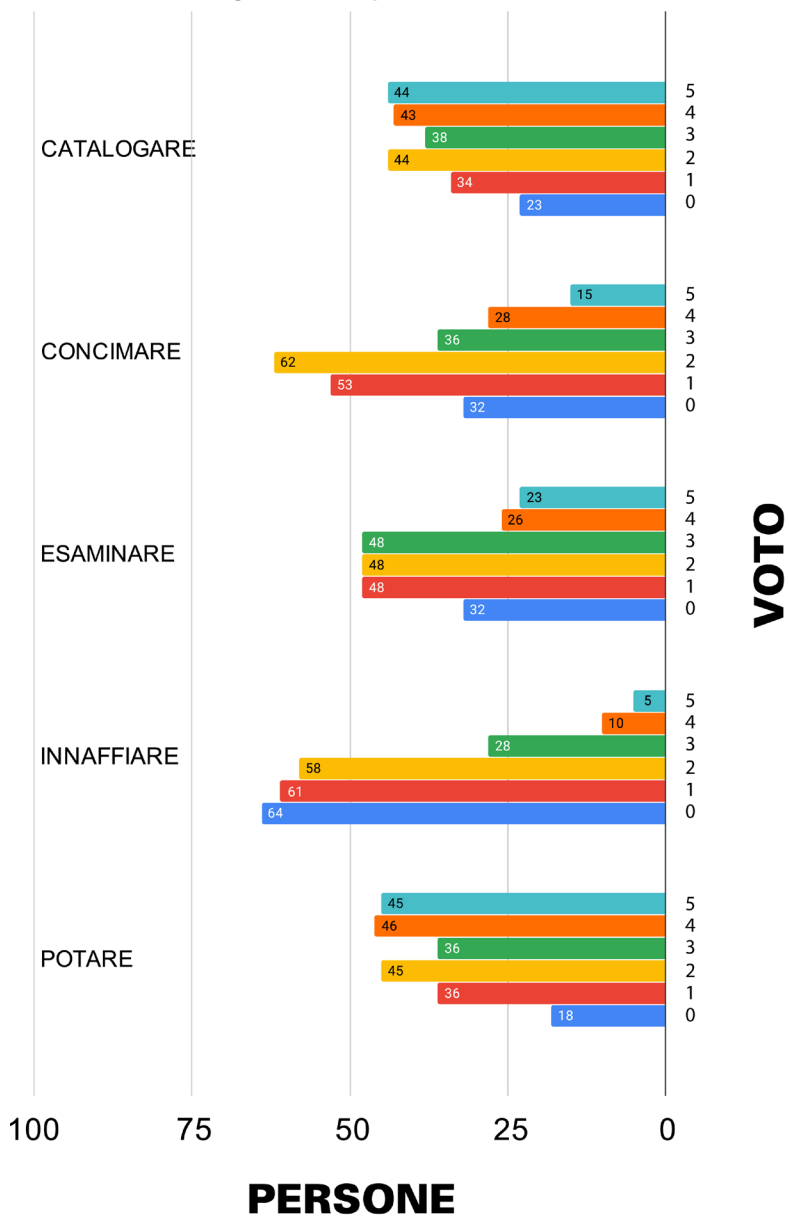
18. In una scala da 0 (mai) a 5 (frequentemente). Con quale frequenza svolgi queste mansioni?



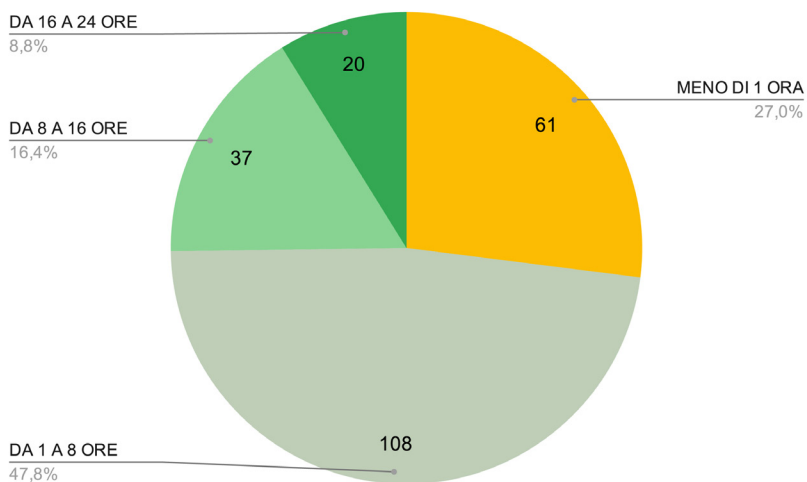
19. In una scala da 0 (per niente faticoso) a 5 (molto faticoso). Quale grado di fatica assegneresti a queste mansioni?



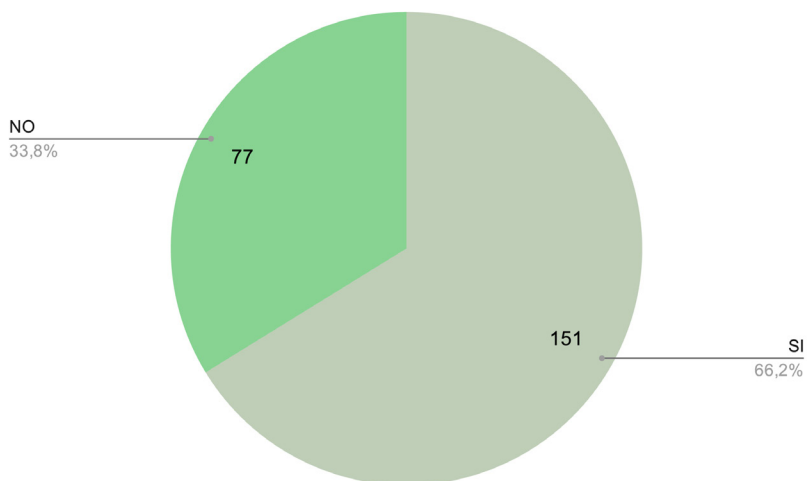
20. In una scala da 0 (per niente difficile) a 5 (molto difficile). Quale grado di difficoltà assegneresti a queste mansioni?



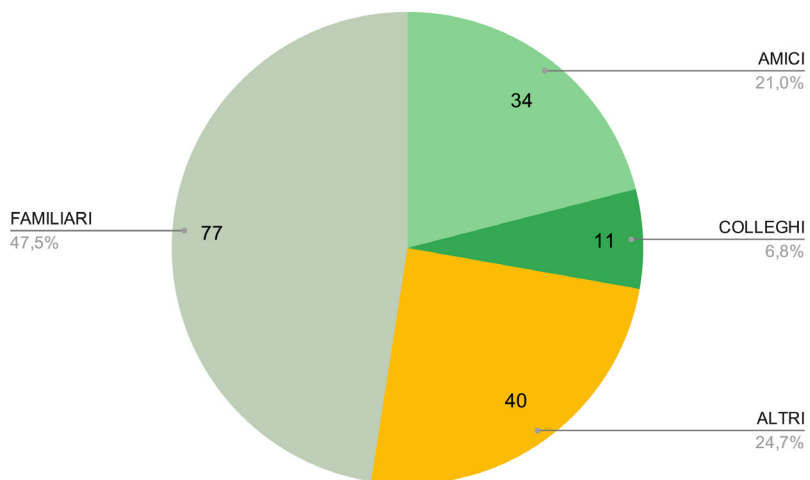
21. Orientativamente durante la settimana (da lunedì a domenica) quanto tempo dedichi alle piante?



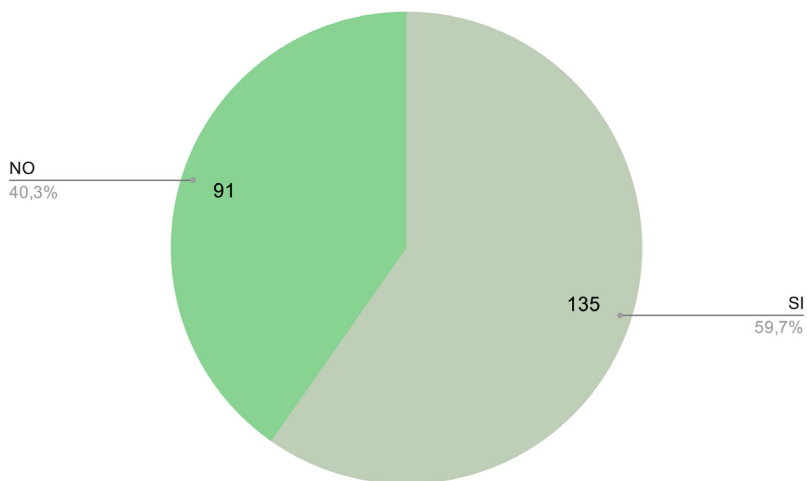
22. Condividi l'esperienza di cura delle piante con altre persone?



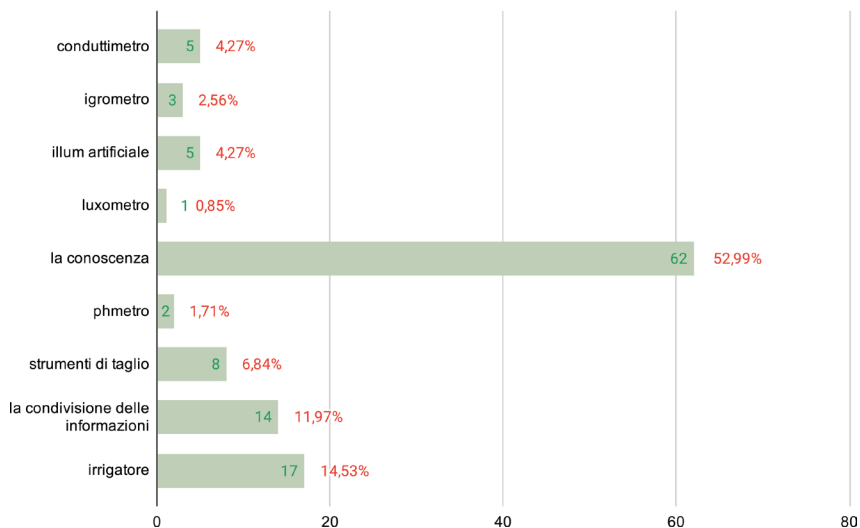
23. Con chi condividi l'esperienza di cura delle piante ?



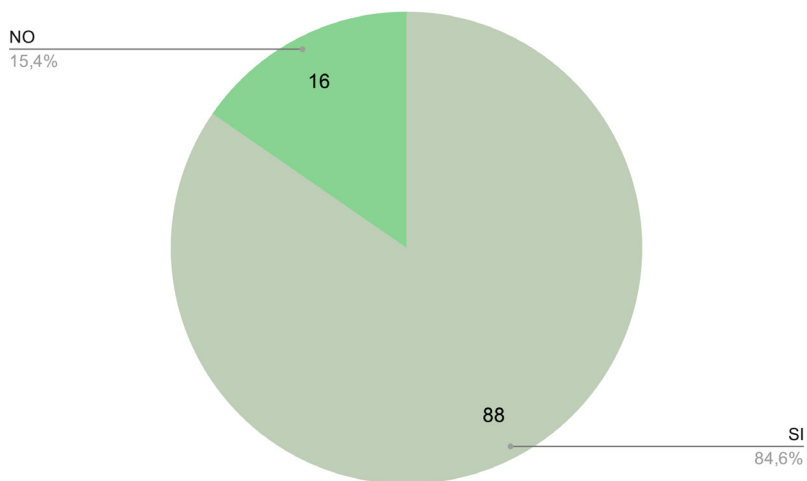
24. Ritieni che ci sia uno strumento indispensabile nella cura delle tue piante?



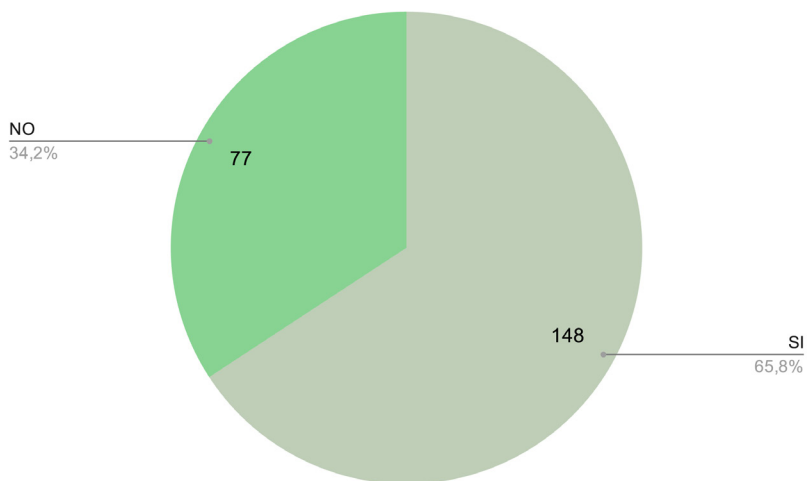
25. Quale di questi strumenti ritieni più utile per la cura delle piante?



26. Pensi di poter trarre beneficio dall'automazione degli strumenti precedentemente elencati?



27. Sei in grado di verificare lo stato di salute delle tue piante?



2.3 Approccio sistemico

Per ottenere risultati validi bisogna stabilire in anticipo e chiaramente il modus operandi, che nel nostro caso consiste nell'osservare i comportamenti degli utenti che si prendono cura delle piante. In questo modo possiamo individuare quell'insieme di persone che sarebbero interessate al progetto. Occorre la capacità di osservare le persone non come soggetti isolati, ma come parte di un sistema più grande, all'interno del quale si intrecciano delle relazioni tra le varie parti con conseguenze che si ripercuotono sul sistema. Queste informazioni possono essere sintetizzate dallo schema in fig.7 che individua gli utenti coinvolti e le loro relazioni.

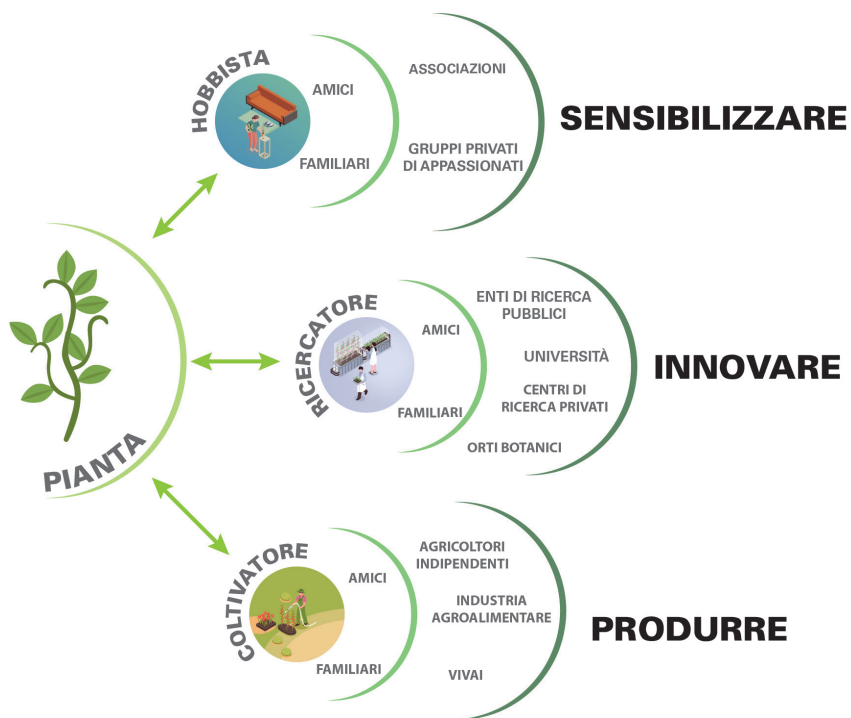


FIG.7: Schema che illustra gli utenti coinvolti e le loro relazioni.

È possibile approfondire l'argomento con un ulteriore schema, nel quale ogni utente del sistema, che interagisce con la pianta, a sua volta entra in relazione con altri utenti, gruppi o enti con i quali condivide le sue esperienze e ne acquisisce di nuove, è possibile inoltre entrare più nel dettaglio aggiungendo informazioni sul rapporto uomo-pianta (fig.8).

LE INFORMAZIONI POSSONO ESSERE CONDIVISE E CONFRONTATE CON QUELLE DI ALTRI UTENTI

MIGLIORARE LA QUALITA' DI QUESTE INFORMAZIONI RISULTA FONDAMENTALE PER OTTENERE UN BENEFICIO PER L'INTERO SISTEMA

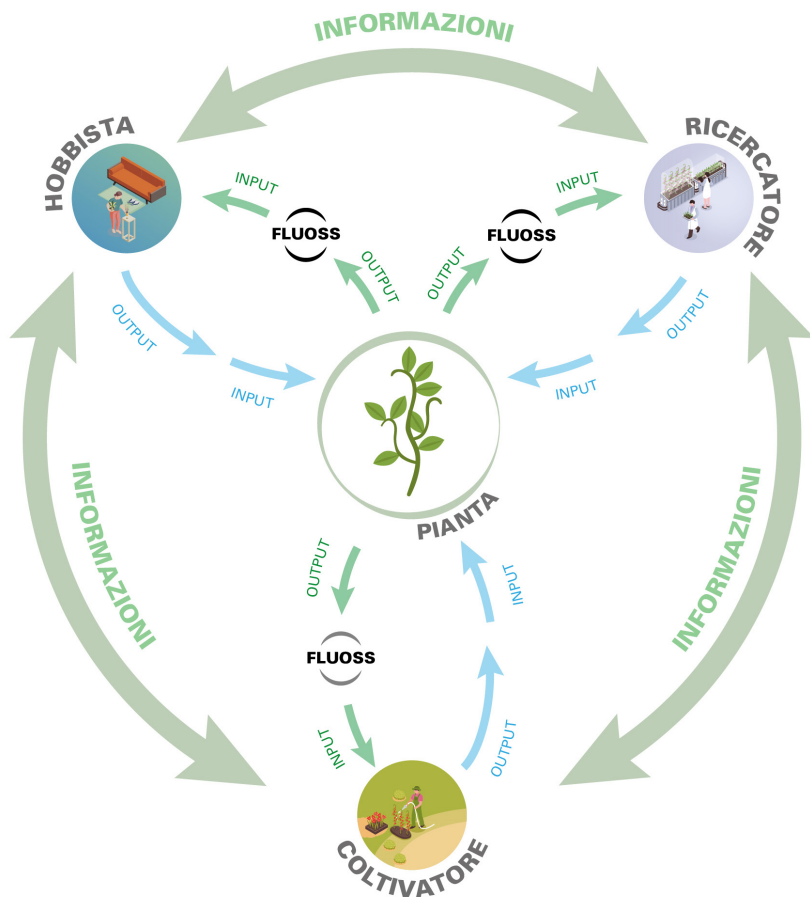


FIG.8: Schema interazione uomo-pianta

La pianta produce degli output che si trasformano in input per l'uomo, il quale a sua volta genera un output che si traduce in input per la pianta. In questo caso gli output che la pianta produce non rappresentano qualcosa di materiale, bensì delle informazioni. Un esempio concreto può essere il seguente: nella pianta si manifesta un improvviso ingiallimento del fogliame, che viene percepito dall'uomo che quindi elabora delle strategie compiendo delle azioni come ad esempio fornire acqua. Nel nostro caso, l'output che viene prodotto dalla pianta e che ci interessa analizzare è la fluorescenza (fig.9).

Si può affermare quindi che la pianta fornisce all'uomo informazioni che vengono interpretate e quindi convertite in azioni concrete nei confronti della stessa. La corretta interpretazione di tali informazioni e la rapidità con cui vengono comprese diventano il fulcro per assi-

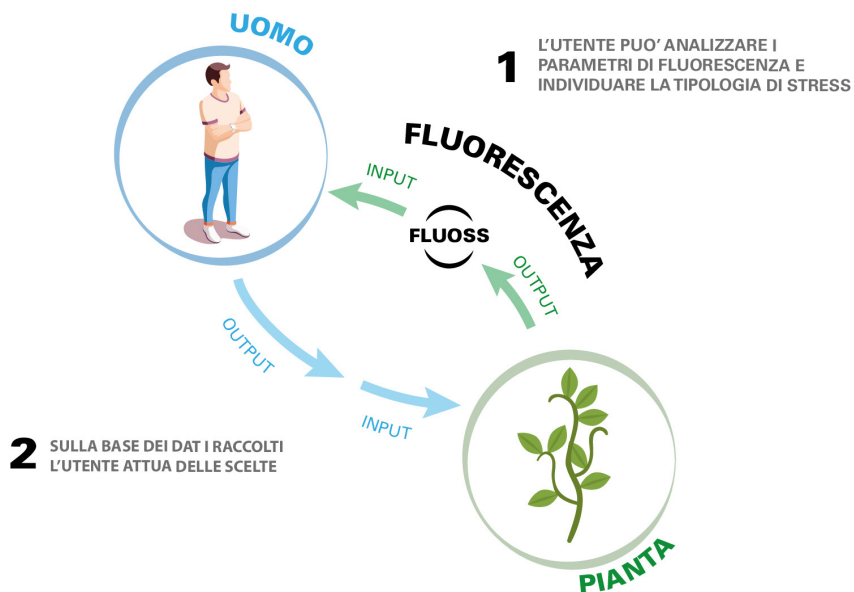


FIG.9: Schema che illustra lo scambio di informazioni tra uomo e pianta

curare il corretto stato di salute della pianta.

Alla luce delle affermazioni fin'ora date, gli obiettivi del progetto sono i seguenti:

- **RENDERE L'ESPERIENZA DEL SINGOLO UNA RICCHEZZA COMUNE.** Permettere all'utente di ottenere informazioni sullo stato di salute della pianta e garantire ad altri utenti un facile accesso che permetta un confronto e un continuo aggiornamento delle informazioni.
- **RILEVARE IN MANIERA PRECOCE LE CAUSE DI STRESS DELLE PIANTE.** Utilizzando tecnologie facilmente accessibili, permettere all'utente di individuare le cause di stress dei campioni vegetali, prima che queste diventino dannose per la pianta.
- **ESPANDERE LE CONOSCENZE SCIENTIFICHE AD UN PUBBLICO PIÙ AMPIO.** Facilitare la comprensione delle informazioni ottenute dalle piante a un numero maggiore di utenti e non privilegiando una sola categoria.
- **APPROCCIO OPEN SOURCE.** Un approccio strategico che ha lo scopo di rendere i contenuti del progetto pubblici e utilizzabili da chiunque in modo che possano essere modificati e resi migliori.

Al di là di un obiettivo economico che si esplicita nell'aiutare l'azienda agricola ad aumentare la produttività generando dunque un profitto, la peculiarità del progetto sta nell'assegnarle un ruolo di maggior valore identificandola come un bacino da cui attingere informazioni da condividere.

Allo stesso modo, sia al singolo coltivatore, che al ricercatore o all'hobbista si può assegnare un valore importante in quanto dalle loro esperienze si possono attingere informazioni che possono essere condivise.

2.4 La condivisione

Nell'ultimo decennio ha iniziato a prendere forma un nuovo fenomeno culturale, il Movimento dei Makers, sviluppatosi come naturale evoluzione del fai-da-te verso una dimensione sociale facilitata da internet in cui la sperimentazione e la risoluzione di problemi non vengono più affrontate dal singolo ma vengono condivise cercando la via della collaborazione per un beneficio reciproco.

L'evoluzione di questo movimento è stata agevolata dalla facilità di accesso alle nuove tecnologie che pian piano sono state rese disponibili e alla portata di tutti, ad un costo molto basso.

A dimostrazione di ciò troviamo ad esempio la rapidissima diffusione della macchine a controllo numerico desktop, come piccoli pantografi e stampanti 3D, senza dimenticare inoltre i grandi progressi della microelettronica grazie ad Arduino e Raspberry.

L'innovazione apportata dal Movimento dei Makers, però, non avviene solo in ambito tecnologico ma anche in quello sociale grazie alla nascita dei FabLAB. I FabLAB sono dei laboratori aperti al pubblico ed equipaggiati con macchine per la fabbricazione digitale, dove individui e imprese hanno accesso ad attrezzature, processi e persone in grado di trasformare idee in prodotti finiti (fig.9)¹³.

¹³ SCORTICHINI 2017, p.16

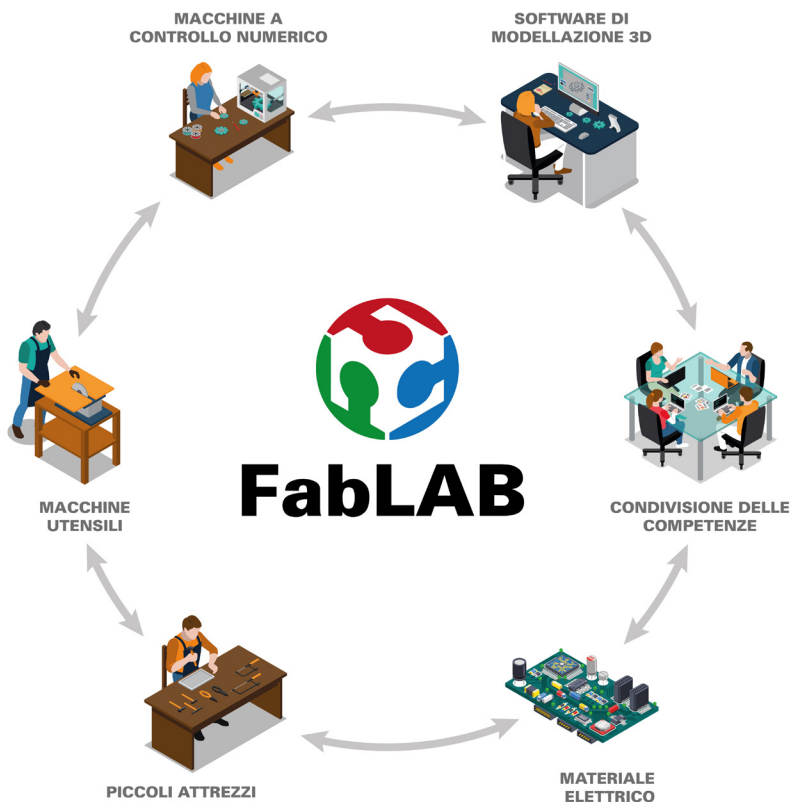


FIG.9: FabLAB Character, schema concettuale di un FabLAB

I ragionamenti fin qui sviluppati sono molto utili per rendere l'idea di ciò che si vuole realizzare, ma concretizzare tali idee con qualcosa di tangibile è sicuramente necessario. FLUOSS è la risposta a questa necessità.

La fig.10 ci permette di comprendere in che modo FLUOSS potrà essere diffuso e prodotto per tutti quegli utenti che non possiedono le competenze e gli strumenti per fabbricarlo da sé.

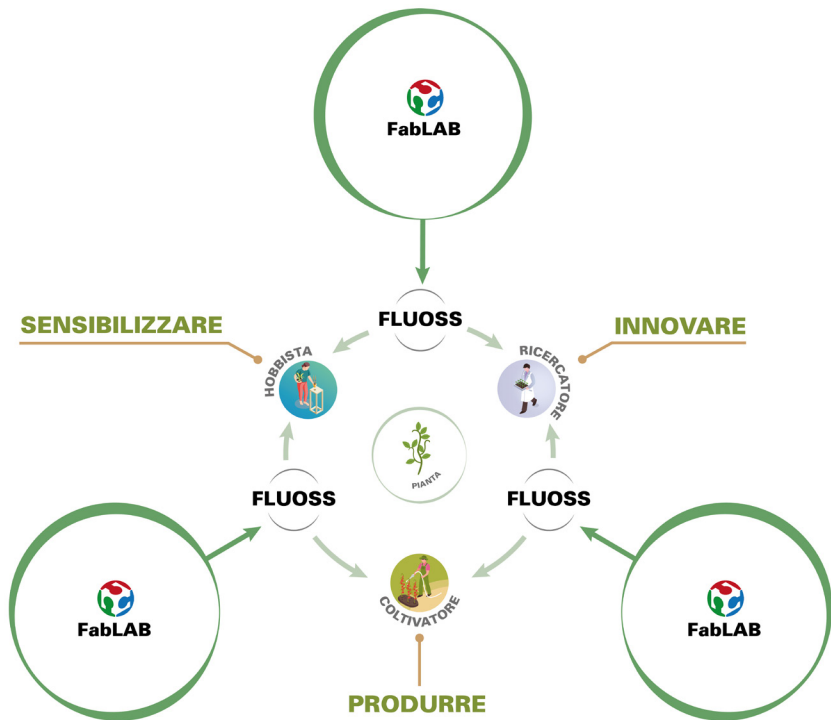


FIG.10: Schema network

In sintesi, si intende utilizzare le competenze e gli strumenti messi a disposizione dai FabLAB che, attraverso un vero e proprio manuale d'istruzioni, rappresentato per l'appunto da questa dissertazione, potranno essere in grado di realizzare FLUOSS.

Lo scopo di questa dissertazione, soprattutto nella fase di prototipazione, dovrà essere quello di progettare FLUOSS tenendo in considerazione le attrezzature che possono essere presenti in ogni

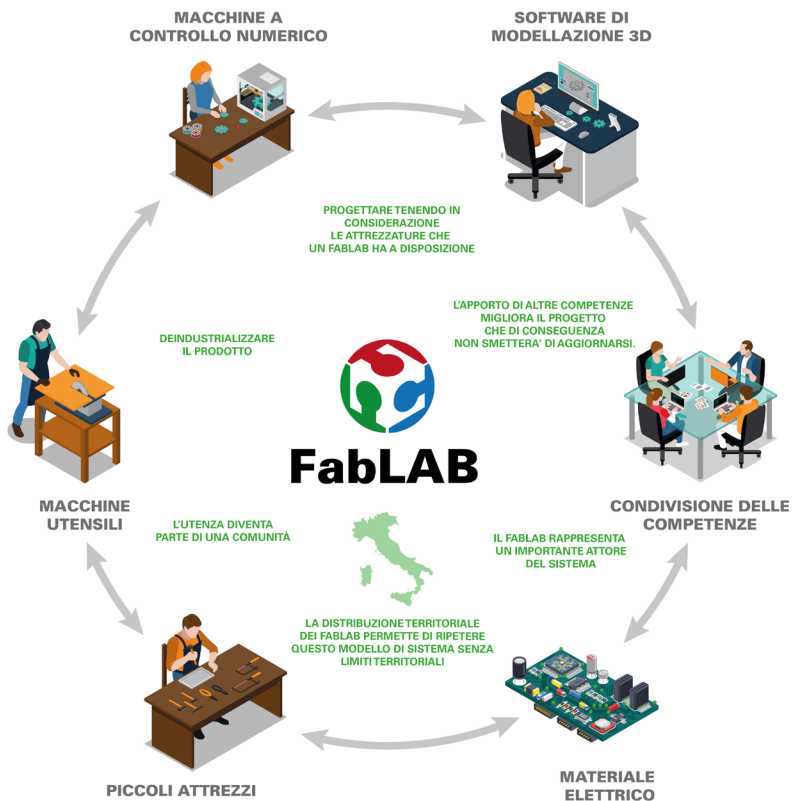


FIG.11: Vantaggi derivanti dalla produzione attraverso il FabLAB

FabLAB.

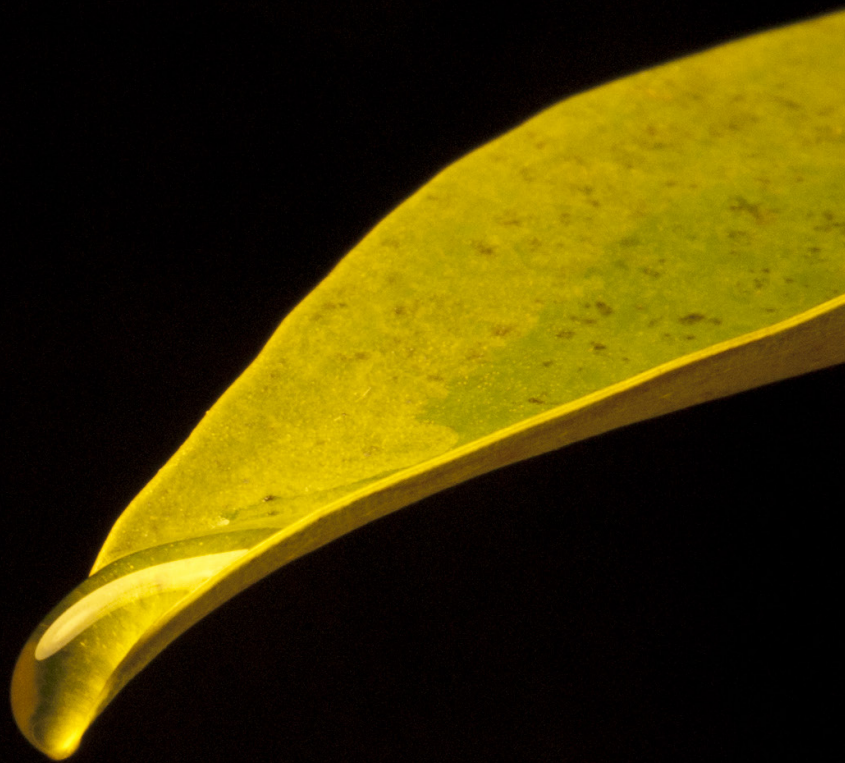
Attuando questa strategia si riesce a deindustrializzare il prodotto, producendo solo il numero di pezzi richiesto dagli utenti, che non saranno più soli fruitori ma diventeranno parte di una comunità, dando un contributo concreto tramite la loro esperienza nell'utilizzo di FLUOSS (fig.11).

La produzione di FLUOSS per tutti gli utenti che non potranno produrlo da sé, potrà essere attuata in qualsiasi zona del mondo in cui sia presente un FabLAB. In Italia possiamo contare sulla presenza di 76 FabLAB attivi¹⁴, mentre nel mondo se ne contano 1093 con presenza su tutti i continenti ad eccezione dell'Antartide¹⁵.

¹⁴ <https://www.fablabs.io/labs>

¹⁵ SCORTICHINI 2017, p.25





3. La fluorescenza

3.1 Cos'è la fotosintesi

Una delle caratteristiche più sorprendenti di molte piante è l'autotrofismo, ovvero la capacità di nutrirsi sintetizzando le sostanze organiche del proprio corpo, a partire da sostanze inorganiche e utilizzando energia luminosa o chimica. Questo processo è la fotosintesi. La fotosintesi è il processo, attuato dagli organismi autotrofi, finalizzato alla produzione di glucosio a partire da acqua e diossido di carbonio (anidride carbonica). Per essere attivato il processo ha bisogno di una fonte di energia, l'energia solare, assorbita da un pigmento fotosensibile presente nella pianta, la clorofilla. L'apparato fotosintetico delle piante è situato all'interno dei cloroplasti, ovvero degli organuli che si trovano nelle cellule delle foglie e in tutte le parti verdi della pianta. Al loro interno contengono una sostanza chiamata stroma, nella quale si trovano i tilacoidi¹⁵. Il processo fotosintetico si svolge all'interno dei tilacoidi e nello stroma.

I pigmenti fotosintetici (in particolare le clorofille) e le proteine che formano i complessi adibiti alla cattura della luce sono immersi all'interno di membrane che circondano i tilacoidi.

Il processo fotosintetico è un processo molto complesso che richiede numerosi passaggi durante i quali l'energia luminosa viene convertita in energia chimica.

Di seguito sono elencate le fasi del processo¹⁶:

¹⁵ SELLO 2010, pp. 3-5

¹⁶ BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p 14

- assorbimento della luce da parte dei pigmenti e trasferimento dell'energia verso i centri di reazione.
- trasferimento dell'energia (sotto forma di elettroni e protoni) dai centri di reazione eccitati alla catena di trasporto.
- trasformazione dell'energia degli elettroni eccitati e dei protoni nel corso di reazioni di ossidoriduzione (redox).
- sintesi e la dislocazione dei prodotti finali della fotosintesi.

3.2 Chi assorbe la luce? I pigmenti fotosintetici

Le clorofille sono i principali pigmenti fotosintetici, esse conferiscono il colore verde alle foglie e rappresentano circa il 4% del peso secco dei cloroplasti.

All'interno delle piante verdi possiamo trovare due tipi di clorofilla: la clorofilla a (Chla), e la clorofilla b (Chlb) . Quest'ultima è circa 1/3 rispetto alla quantità di Chla.

Le clorofille sono in grado di assorbire le radiazioni nella gamma di lunghezze d'onda 400 – 700 nm ed hanno due principali bande di assorbimento, la radiazione del blu e la radiazione del rosso.

Nelle membrane dei tilacoidi, oltre alle clorofille, si trovano altri pigmenti in grado di assorbire l'energia dei fotoni: i carotenoidi. Essi sono presenti nelle piante superiori e si presentano come pigmenti di colore giallo-arancio. I carotenoidi assorbono la radiazione solare a lunghezze d'onda diverse rispetto alla clorofilla, assorbono la luce nel viola e nel blu. Agiscono insieme a Chla e Chlb per assorbire meglio la luce e hanno tre massimi di assorbimento che si trovano, a seconda del tipo di carotenoide, 420 – 425 nm, 440 – 450 nm e 470 – 480 nm (fig.12). L'assorbimento della radiazione fotosinteticamen-

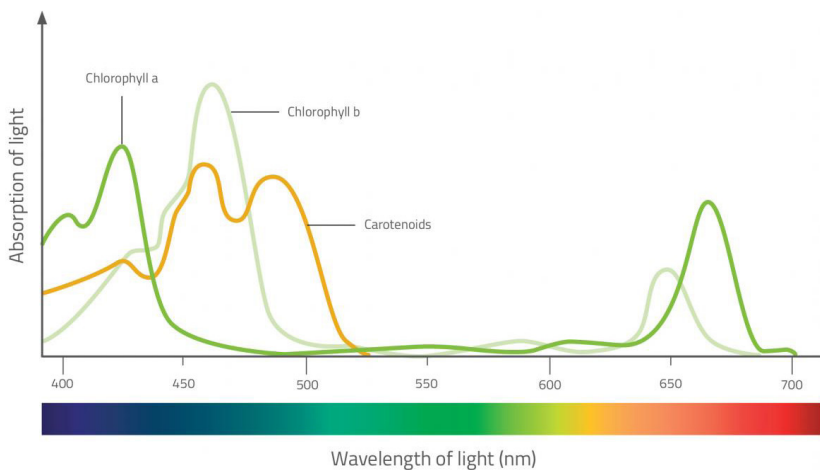


FIG.12: Spettro di assorbimento dei pigmenti fotosintetici. Immagine tratta da: www.scienceinschool.org/it/content/colore-clorofilla-e-cromatografia.

te attiva da parte dei pigmenti fotosintetici (clorofilla e carotenoidi) avviene grazie ai complessi antenna dei fotosistemi che si trovano all'interno delle membrane tilacoidali. Il fotosistema 2 (PSII) ha un centro di reazione con assorbimento massimo di radiazione luminosa a 680nm, per questo viene detto P680. Il centro di reazione presente nel fotosistema 1 (PSI), invece, ha un assorbimento massimo a 700 nm, e per questo viene chiamato P700¹⁷

3.3 Cos'è la fluorescenza della clorofilla

L'energia luminosa raggiunge la superficie delle foglie e viene assorbita dalle molecole dei pigmenti fotosintetici, in particolare dalla clorofilla. Parte dell'energia immagazzinata serve ad alimentare le reazioni fotochimiche, parte di essa è dissipata sotto forma di calore, infine un'altra parte viene riemessa sotto forma di fluorescenza. Dal-

17 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012 , pp.18-22

la fig.13 è possibile vedere che percentuale di fluorescenza emessa durante la fotosintesi è piccola e varia dal 2 al 5%. Quando la fotosintesi si svolge regolarmente e senza problemi la fluorescenza rimane su livelli modesti. L'eventuale incremento dell'emissione di fluorescenza è un chiaro indicatore di una riduzione dell'efficienza del processo fotosintetico¹⁸.

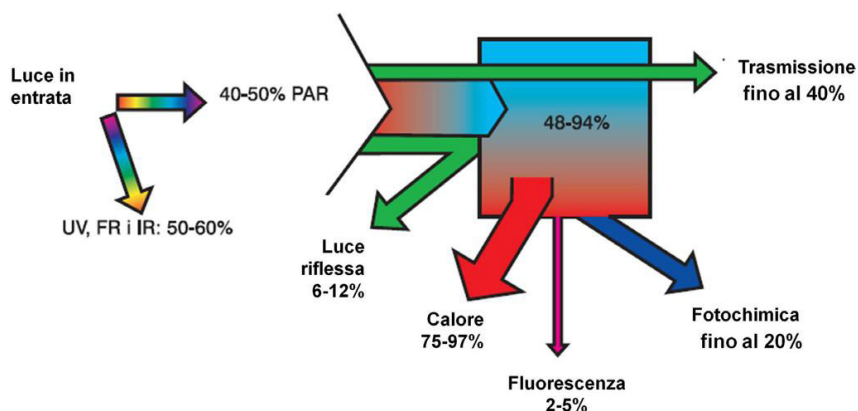


FIG.13: Ripartizione della luce da parte della foglia. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla, Firenze, 2012, p. 35

La molecola di clorofilla dopo aver assorbito un elettrone raggiunge un livello superiore di eccitazione energetica.

Tale livello dipende dalla lunghezza d'onda del fotone che viene assorbito, è maggiore se la lunghezza d'onda del fotone assorbito è nel blu o violetto, è minore invece se la lunghezza d'onda del fotone assorbito è nel rosso.

Il passaggio da uno stato di eccitazione superiore allo stato di ecci-

tazione di base, da parte delle molecole di clorofilla, genera energia che si manifesta per mezzo di calore, o tramite emissione di fluorescenza

La fluorescenza viene emessa nelle lunghezze d'onda del rosso. La massima lunghezza d'onda di emissione, nello spettro della fluorescenza, è superiore a quella con cui la luce viene assorbita dalla clorofilla. L'emissione massima di fluorescenza, in una soluzione di clorofilla, si manifesta a 668 nm invece il massimo assorbimento si verifica a 663 nm. Questa differenza si chiama "Stokes shift". In una foglia a temperatura ambiente, invece, il picco massimo di emissione della fluorescenza è a 685 nm ¹⁹ e lo spettro di fluorescenza si estende fino a 800 nm ²⁰.

L'analisi della fluorescenza della clorofilla permette di ottenere informazioni sull'efficienza degli apparati fotosintetici, permettendo di valutare lo stato fisiologico dei campioni fotosintetici esaminati.

L'unità di misura della fluorescenza può essere in unità di misura relativa, ovvero dipendente dalle proprietà tecniche delle unità d'illuminazione dei fluorimetri utilizzati e dalle condizioni di illuminazione oppure in mV (milliVolt).

3.4 Come indurre la fluorescenza della clorofilla

Misurare la fluorescenza della clorofilla permette di monitorare i cambiamenti dello stato bioenergetico nelle piante fornendo informazioni sui processi della fase luminosa della fotosintesi. In tal modo è possibile studiare l'insorgere di condizioni di stress, misurando le risposte dei campioni esaminati ai cambiamenti dei parametri ambientali come la radiazione luminosa e UV, le variazioni di temperatura, lo stato idrico, l'inquinamento ambientale. Le tecniche di analisi della fluorescenza possono essere basate sulla lettura dei valori della fluorescenza passiva o della fluorescenza attiva. La fluorescenza passiva, è emessa spontaneamente dalla pianta nelle condizioni reali di illuminazione. Questa fluorescenza viene usata nelle indagini di remote sensing, utilizzando droni o satelliti che sorvolano le aree d'interesse e catturano immagini. La fluorescenza attiva, invece, viene indotta attraverso l'esposizione a luce artificiale con intensità e composizione note di un campione che, prima della misura, deve essere adattato a condizioni di buio o di luce per un determinato periodo di tempo²¹.

Il grafico in fig.14 permette di visualizzare e comprendere l'intero processo.

Illuminando il campione, precedentemente adattato al buio, con una fonte di luce attinica (intensità tra 200 - 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) si osserva un incremento repentino della fluorescenza dal valore F_0 fino al picco massimo F_m , successivamente il valore scende lentamente fino a stabilizzarsi (F_s), l'intero processo finora descritto è chiamato "Effetto Kautsky" dagli studiosi H. Kautsky and A. Hirsch che per primi lo descrissero nel 1931²².

21 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, pp. 36-37

22 KAUTSKY - HIRSCH 1931, (cit. BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p. 37)

Il raggiungimento della fluorescenza massima (F_m) avviene in meno di un secondo e indica la chiusura dei centri di reazione PSII (P680) e PSI(P700) che raggiungono il massimo assorbimento di radiazione. La fase discendente è influenzata dalle reazioni enzimatiche, necessarie per la sintesi dei prodotti finali della fotosintesi e dalla riduzione della CO_2 .

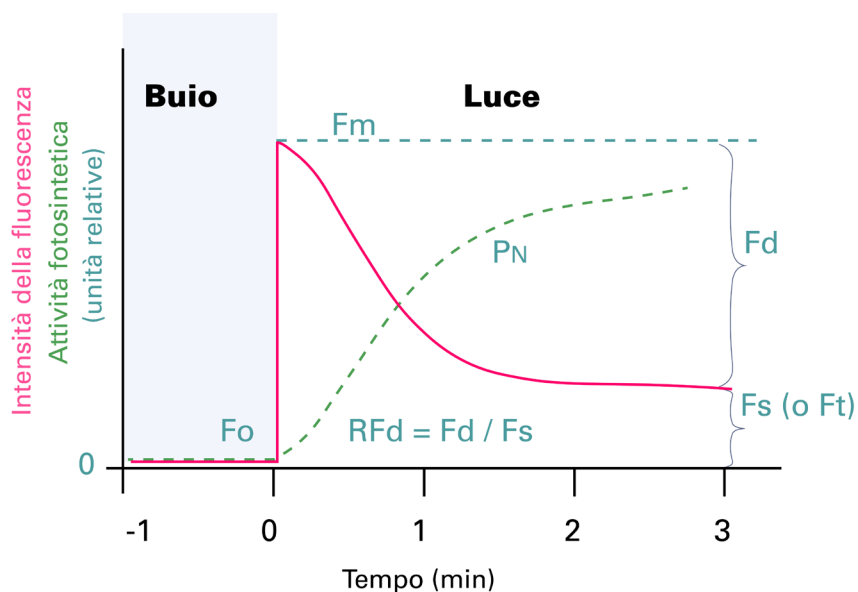


FIG.14: Effetto Kautsky. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla, Firenze, 2012, p. 38

La stabilizzazione del valore della fluorescenza (F_s) rappresenta il raggiungimento dell'equilibrio fra l'assorbimento dell'energia luminosa e organizzazione del carbonio²³ (la conversione del carbonio dell'anidride carbonica in glucosio).

3.5 I principali parametri della fluorescenza

Ai fini di una migliore comprensione del fenomeno della fluorescenza della clorofilla è opportuno elencare i valori più importanti, il loro significato e a quali fattori di stress sono correlati²⁴.

- **Fo - fluorescenza basale di campioni adattati al buio**

Indica la perdita di energia durante il trasferimento tra l'antenna ed il centro di reazione del PSII²⁵. Valori elevati di F_o possono significare una perdita di efficienza nel trasferimento di energia fra i pigmenti dell'antenna del PSII, bassi valori indicano invece il buon funzionamento del PSII.

- **Fm - fluorescenza massima di campioni adattati al buio.** Quando il valore di fluorescenza massima viene raggiunto tutti gli accettori di elettroni del PSII sono ridotti e i centri di reazione sono temporaneamente chiusi. La diminuzione di F_m è un indice di stress, in quanto registra una perdita della riduzione degli accettori del PSII. Il rapporto F_m/F_o è un ulteriore parametro che può essere utilizzato per identificare le foglie sane, nelle quali oscilla fra 4 e 5, ma svariati

23 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p. 37

fattori di stress possono ridurre il valore²⁶.

- **TFm - tempo per raggiungere il livello massimo di fluorescenza della clorofilla (Fm).** Indica il tempo, espresso in ms, con cui il valore della fluorescenza cresce da Fo a Fm, che oscilla tra i 500-800 ms. Fattori di stress possono aumentare il valore TFm in quanto il trasporto di elettroni viene rallentato .

- **Fv = (Fm - Fo) - fluorescenza variabile di campioni adattati al buio.** Fv è data dalla differenza tra Fm e Fo. Bassi valori di Fv indicano una bassa attività del PSII e la dispersione dell'energia di eccitazione tramite calore.

- **Fv/Fm - massima efficienza fotochimica primaria del PSII in un campione adattato al buio.** È il parametro più utilizzato come indicatore dell'attività fotochimica dell'apparato fotosintetico in quanto indica la probabilità che un elettrone catturato dall'antenna raggiunga il centro di reazione. Il valore Fv/Fm può variare da 0 a 1 ma viene definito ottimale un valore di 0.83, la diminuzione di questo valore, che può avvenire a causa di diversi fattori di stress, denota un eventuale danno o una ridotta efficienza del centro di reazione del PSII ed è un indice di fotoinibizione. La fotoinibizione è un fenomeno che si manifesta nelle piante quando sono esposte ad un'eccessiva radiazione luminosa, questo causa la degradazione di determinate proteine all'interno del centro di reazione del PSII²⁷.

26 LAZZARA - SAGGIOMO - FANI - MANGONI - SANTARPIA 2010, pp. 345-346

27 LAZZARA - SAGGIOMO - FANI - MANGONI - SANTARPIA 2010, p. 347

• **F_s (F_T) - Fluorescenza stazionaria.** Indica l'intensità della fluorescenza durante il processo di fotosintesi in condizioni stabili. L'aumento del valore di F_s denuncia una perdita di efficienza fotochimica, con relativo aumento dei processi di dissipazione dell'energia.

Il grafico in fig.15 rappresenta degli esempi di curve fotometriche di campioni con differenti stati fisiologici.

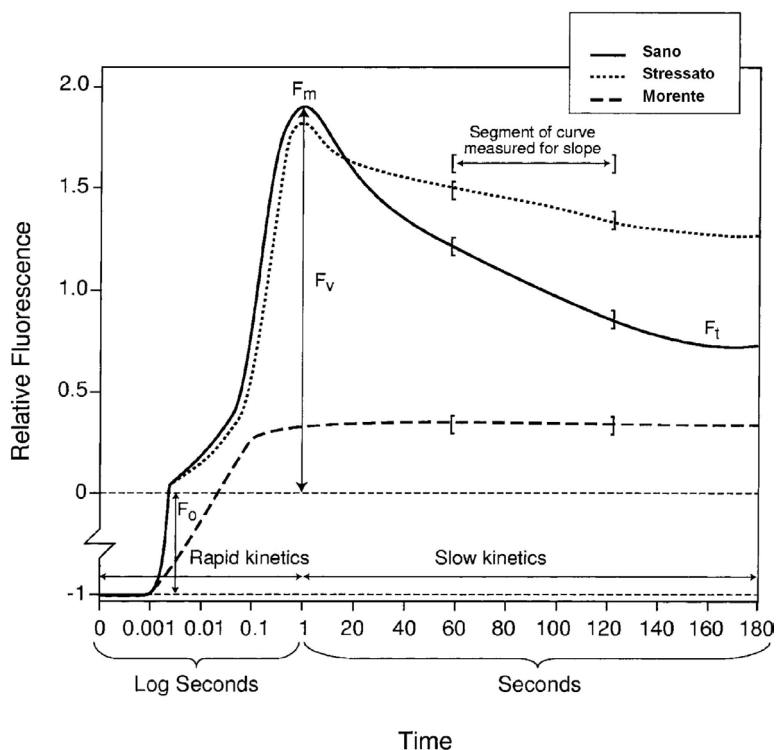


FIG.15: Comparazione di curve di fluorescenza in campioni con differente stato fisiologico. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla, Firenze, 2012, p. 43





4. Tecniche per l'analisi della fluorescenza

Prima di intraprendere il percorso progettuale è opportuno studiare le attuali tecniche utilizzate per la misura della fluorescenza in modo da individuare i punti di forza e di debolezza di ognuno che saranno molto importanti ai fini della fase di realizzazione del dispositivo.

Per misurare la fluorescenza si utilizzano degli strumenti che utilizzano la spettroscopia di emissione, i fluorimetri. Il loro utilizzo ha dei vantaggi:

- non sono invasivi, quindi è possibile analizzare campioni vivi;
- è possibile utilizzarli sia al chiuso che all'aperto (campo, laboratorio, serra);
- possono essere utilizzati su tutte le parti verdi della pianta;
- il tempo per la misura è breve (pochi secondi o qualche minuto);

In commercio sono presenti due tipi principali di fluorimetri, a fluorescenza modulata e a fluorescenza diretta. I fluorimetri a fluorescenza modulata possono essere utilizzati in condizioni di luce, i fluorimetri a fluorescenza diretta, invece, rilevano i valori su campioni adattati al buio³².

Risulta opportuno definire due concetti ben distinti, intensità di fluorescenza e yield di fluorescenza (resa quantica). L'intensità di fluorescenza indica un valore assoluto che è influenzato di valori d'illuminazione e può variare di molti ordini di grandezza.

32 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p.44

Lo yield di fluorescenza, invece, è meno variabile in quanto esprime il rapporto tra il numero di fotoni assorbiti e il numero di fotoni emessi dalla fluorescenza ³³.

4.1 Fluorescenza modulata (PAM: Pulse Amplitude Modulated)

Negli strumenti che utilizzano la tecnica della fluorescenza modulata, conosciuta anche come PAM, per indurre la fluorescenza si utilizza una sorgente di luce modulata, a supplemento della luce solare (luce attinica). La luce viene somministrata con impulsi ad alta frequenza ad intervalli di tempo per brevi periodi (1-3 μs) e la misurazione viene effettuata solo sulla parte di fluorescenza che è generata dagli impulsi modulati. Questo permette di misurare, anche in condizioni di luce solare, lo yield (o resa quantica) che esprime il rapporto tra fotoni assorbiti e fotoni riemessi. La tecnica PAM permette di misurare 3 tipi di segnali: la luce ambiente che agisce come attinica, il segnale di fluorescenza indotto dalla luce attinica e il segnale di fluorescenza indotto dagli impulsi di luce modulata. La fig.16 mostra il tracciato di analisi di un campione analizzato con la tecnica PAM ³⁴.

L'intensità degli impulsi luminosi è la PPF (Photosynthetic photon Flux Density) espressa in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

L'analisi della fluorescenza modulata avviene con la somministrazione di un impulso di luce modulata (ML) di intensità 0,1-10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in grado di generare la fluorescenza della clorofilla, tale impulso viene prodotto da un sistema di LED che emette radiazioni

³³ BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p.34

³⁴ BLAZZARA - SAGGIOMO - FANI - MANGONI - SANTARPIA 2010, pp. 345-346

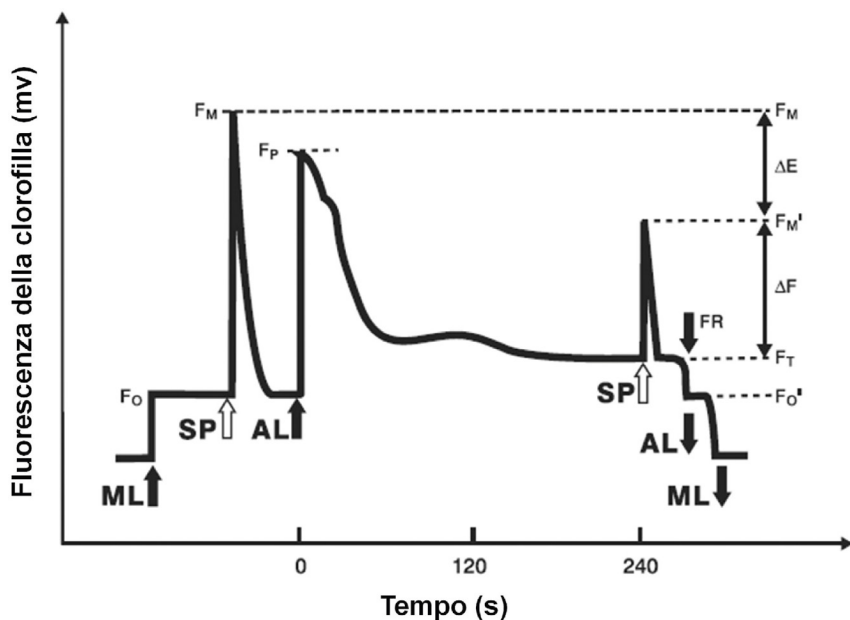


FIG.16: Grafico che illustra il tracciato di analisi della tecnica PAM. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, *Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla*, Firenze, 2012, p. 49

nello spettro del rosso (lung. d'onda max = 650 nm). La radiazione così prodotta non è sufficientemente potente per attivare il processo fotosintetico e la fluorescenza della clorofilla viene generata in particolare dalla perdita di energia dell'antenna, quindi il suo valore può essere assunta come F_0 . A seguire viene somministrato un impulso di saturazione (SP) di intensità molto forte di $16.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per un tempo di 0,8 s utilizzando dei LED con lunghezza d'onda max = 665 nm. Questo causa un aumento vertiginoso del valore di fluorescenza che permette di registrare il suo valore massimo F_m . Quando l'intensità della fluorescenza raggiunge nuovamente il valore F_0 si procede con la somministrazione di una luce attinica (AL) di intensità $200 - 500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ prodotta da un sistema di LED con

lunghezza d'onda max = 665 nm. La luce attinica aumenta l'intensità della fluorescenza fino al picco F_p che successivamente decresce e nell'arco di circa 240 secondi raggiunge il livello costante di F_s (o F_T). Una volta raggiunto F_S viene somministrato il secondo impulso SP ($16.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ per un tempo di 0,8s) che produce un aumento di fluorescenza fino a F_m' , che risulta sempre inferiore a F_m . Da questi due valori si può ottenere ΔE che rappresenta l'estinzione non fotochimica di energia. Un impulso di luce nel rosso lontano (FR) di intensità $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con lunghezza d'onda = 720-730 nm viene successivamente somministrato in assenza di luce attinica permettendo di misurare F_o' che rappresenta il livello minimo di fluorescenza quando i centri di reazione del PSII sono aperti in una foglia adattata alla luce³⁵.

4.2 Fluorescenza diretta

Questa tecnica si applica a campioni che sono stati precedentemente adattati al buio rendendo possibile la misura della crescita iniziale della fluorescenza permette una misura diretta durante l'applicazione di una luce saturante continua. Questa fase di crescita iniziale della fluorescenza prende il nome di "transient fluorescente" in quanto si tratta di una risposta momentanea e non stabile.

Una delle peculiarità di questa tecnica è la velocità con la quale viene effettuata la misura (per una misura si impiega meno di 1s) questo rende possibile l'analisi di un gran numero di campioni in poco tempo.

Dopo che il campione è stato adattato al buio viene somministrata una luce attinica continua con un'intensità di $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con

35 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p.48

lunghezza d'onda inferiore a 650 nm, il segnale emesso dalla fluorescenza viene catturato da un fotorilevatore dotato di un filtro che permette il solo passaggio di lunghezze d'onda superiori a 680 nm, questo fa registrare l'emissione della fluorescenza della clorofilla nell'intervallo di lunghezze d'onda da 680 nm a 760 nm. Il segnale viene poi inviato ad un microprocessore che calcola l'intensità della fluorescenza durante il periodo di illuminazione (fig.17).

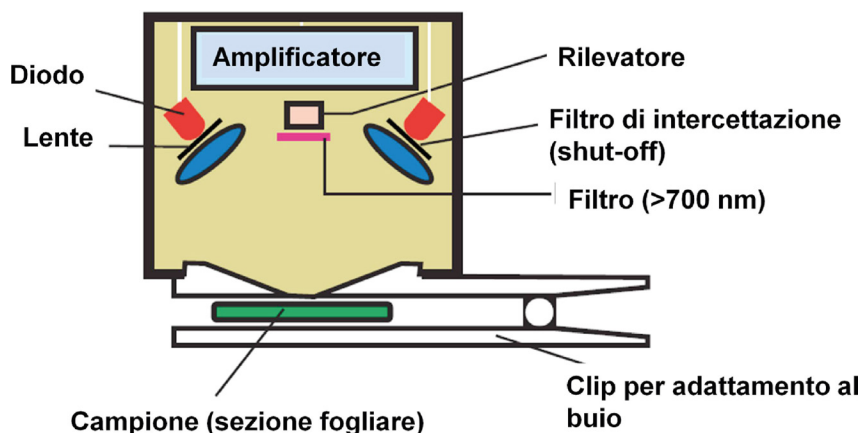


FIG.17: Esempio di struttura interna di un fluorimetro. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, *Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla*, Firenze, 2012, p. 56

Tramite questa tecnica si ottiene una curva composta dai punti O-J-I-P che identifica l'intensità della fluorescenza in determinati intervalli di tempo. L'analisi della curva OJIP permette di valutare rapidamente la vitalità delle piante e comprendere lo stato del processo fotosintetico di un determinato campione.

Durante la prima fase di illuminazione, tra i 400 - 800 ms, la fluorescenza sale da un livelli basale O ad un livello massimo P.

Dal grafico in fig.18. è possibile osservare i punti di flesso principali della curva.

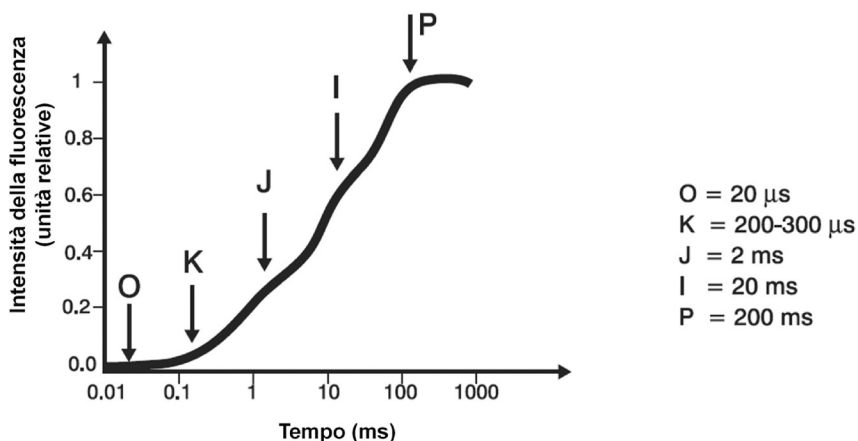


FIG.18: Andamento della curva OJIP. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla, Firenze, 2012, p. 56

Il primo flesso appare a 2-3 ms dall'inizio dell'illuminazione e viene indicato con la lettera J; il secondo compare a 20 - 30 ms ed è indicato con la lettera I. La sequenza dei punti O-J-I-P dà il nome a questo test (J-I-P test) e rappresenta l'andamento degli eventi fotochimici degli accettori di elettroni. L'intensità della fluorescenza viene calcolata, con frequenza decrescente, tra il punto O e il punto P.

Lo studio della curva O-J-I-P permette di comprendere il rapporto

tra struttura e funzione degli apparati fotosintetici e permette una rapida valutazione dello stato di salute delle piante. In fig.19 si evidenziano le differenze nelle curve OJIP di diversi campioni vegetali. Nel riquadro A vengono paragonate le curve OJIP di 3 campioni vegetali con diversi stati fisiologici il campione C è il campione sano mentre A e B sono stati trattati con diserbanti. I trattamenti inducono un aumento del valore F_0 e una diminuzione del valore F_m che comporta quindi una diminuzione del rapporto F_v/F_m ³⁶.

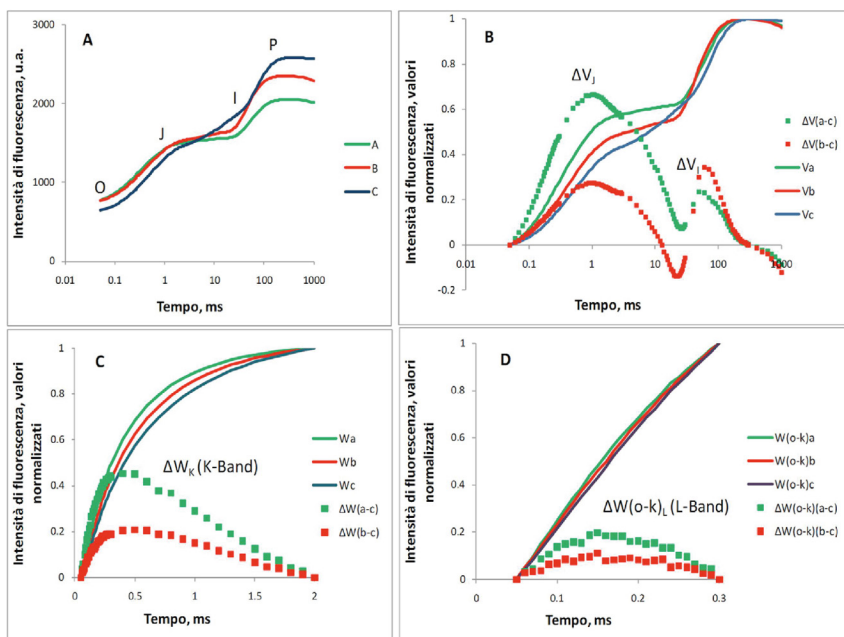


FIG. 19: Andamento della curva OJIP. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla, Firenze, 2012, p. 60

4.3 Chlorophyll Fluorescence Imaging

La tecnica CFI (Chlorophyll Fluorescence Imaging) utilizza telecamere dotate di sensori in grado di catturare l'emissione di fluorescenza in campioni vegetali. Questi sistemi CFI sono sviluppati per essere usati sia a livello microscopico sia a livello della singola foglia o dell'intera pianta.

Una delle peculiarità di questi sistemi è la possibilità di avere informazioni sullo stato di stress delle piante in maniera visiva, veloce, precisa e intuitiva. L'interpretazione delle misure CFI è basata sugli stessi parametri fondamentali della fluorescenza modulata convenzionale. La fluorescenza della clorofilla viene indotta illuminando il campione vegetale con laser a luce blu saturante o con laser UV-A (fig.20), questa genera due tipi di fluorescenza: la fluorescenza della clorofilla nel rosso e la fluorescenza verde-azzurra.

Sia nel primo che nel secondo caso gli strumenti professionali fanno uso di telecamere dotate di sensore CCD (Charge Coupled Device) per produrre le immagini³⁷. L'utilizzo di laser UV (Laser-Induced Fluorescence Imaging System) permette di catturare simultaneamente l'emissione della fluorescenza da quattro bande spettrali utilizzando una sola lunghezza d'onda: blu (F440), verde (F520), rosso (F690), rosso lontano (F740)³⁸. L'emissione della fluorescenza nel rosso e nel rosso lontano è causata dalla clorofilla a, mentre quella del blu e del verde da composti fenolici e acidi cinnamici. I rapporti blu/rosso (F440 / F690) e blu/rosso lontano (F440 / F740) sono indicatori di stress delle piante, F690 / F740 è un indicatore del contenuto di clorofilla³⁹.

³⁷ CHAERLE - VAN DER STRAETEN 2001, pp. 154

³⁸ BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p.78

³⁹ BUSCHMANN - LICHTENTHALER 1998, p. 299

Flashlight-induced Fluorescence Imaging System (FL-FIS)

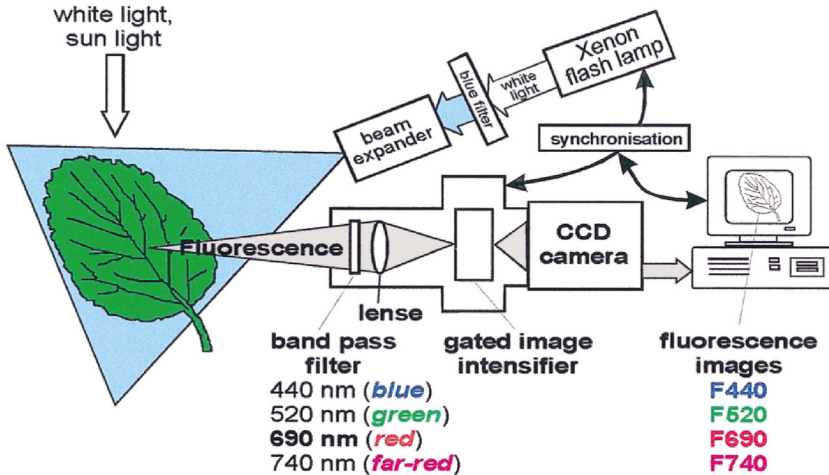


FIG.20: Andamento della curva OJIP. Immagine tratta da: F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, *Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla*, Firenze, 2012, p. 60

L'interpretazione delle misure ottenute da questa tecnica si basa sui medesimi parametri della fluorescenza modulata PAM⁴⁰, quindi risulta utile a questo punto identificare questi parametri.

- **Fm' - Fluorescenza massima in un campione adattato alla luce.**

Indica il valore di fluorescenza massima che viene indotta da un lampo di luce saturante su un campione adattato ad una luce attinica che presenta un'intensità costante. Paragonando il valore Fm' con il valore Fm (campione adattato al buio) si può notare come Fm' risulta inferiore a Fm in quanto in condizioni di adattamento alla

40 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p.77

luce gli accettori del PSII sono in parte ridotti⁴¹. Con il valore F_m' è possibile ottenere altri valori:

- $\Delta F_m = F_m - F_m'$ (Perdita di fluorescenza dovuta a eventi non fotochimici)
- $\Delta F = F_m' - F_s = F_q'$ (Fluorescenza variabile indotta da reazioni fotochimiche)

• **Fo' - fluorescenza iniziale in un campione adattato alla luce.**

Indica il livello di fluorescenza di un campione vegetale quando viene sottoposto a luce attinica che poi viene rimossa e sostituita con un impulso di luce nel rosso lontano. Fo' presenta un valore più basso rispetto al valore che viene calcolato per un campione adattato al buio (Fo)⁴².

• **Fv' = Fm' - Fo' - fluorescenza variabile di un campione adattato alla luce**

Fv' indica l'effettiva efficienza quantica del fotosistema 2 (PSII) in un campione adattato alla luce attinica.

• **Rfd = (Fm - Fs) / Fs - Indice di funzionalità del PSII.**

Valori di Rfd di 2,5 o superiori indicano un'elevata attività fotosintetica, mentre valori inferiori a 1 indicano danni al processo di assimilazione della CO₂⁴³. L'azione di diversi fattori di stress genera un aumento del valore di fluorescenza stazionaria Fs, ciò significa che anche con un valore Fm relativamente costante la differenza Fm-

41 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p. 50

42 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, P. 50

43 LICHTENTHALER - BABANI 2000, p. 892

F_s si riduce e di conseguenza anche l'indice di funzionalità del PSII ovvero R_{Fd}⁴⁴.

- **Ap = 1 - (1 + R_{Fd730}) / (1+ R_{Fd 690}) - Stress Adaption Index**

Permette di individuare in che modo le foglie di un campione vegetale riorganizzano l'apparato fotosintetico durante lo stress. Si calcola mediante la misura di R_{Fd} simultaneamente a due lunghezze d'onda, 690 e 730 nm. Ap risulta alto in foglie sane con una buona attività fotosintetica, mentre con valori di 0.1 - 0.2 significa che il campione vegetale è soggetto all'influenza di stress⁴⁵.

- **ΦPSII = (F_m' - F_s)/F_m' = ΔF/F_m' = F_q'/F_m' - effective quantum yield.** Chiamato anche Y_{eld}, consente di valutare la resa quantica effettiva delle reazioni fotochimiche nel PSII, in foglie adattate alla luce. Il ΦPSII decresce quando la concentrazione di CO₂ è bassa come nel caso di stress idrico⁴⁶.

- **NPQ = (F_m - F_m') / F_m' - Quencing non fotochimico**

Indica l'estinzione della fluorescenza attraverso processi non fotochimici ovvero la dissipazione dell'energia sotto forma di calore. L'eccessiva esposizione ad elevate intensità luminose o basse concentrazioni di CO₂ causate dall'aridità o da basse temperature possono causare un aumento di NPQ⁴⁷.

44 BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, pp. 50-51

45 LICHTENTHALER - RINDERLE 1988, (cit. in BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012, p.51)

46 LAZZARA - SAGGIOMO - FANI - MANGONI - SANTARPIA 2010, p. 347

47 LAZZARA - SAGGIOMO - FANI - MANGONI - SANTARPIA 2010, pp. 346-347



5. Processo di design

Ai fini della realizzazione del dispositivo si è iniziato il processo di progettazione che tiene in considerazione le problematiche che gli utenti incontrano quando si prendono cura delle piante. Grazie ai dati raccolti dal questionario è stato possibile raccogliere informazioni che hanno permesso di direzionare il processo di design in maniera conforme alle esigenze dell'utenza in questione.

5.1 Primo approccio alla cura delle piante

Per molte persone la cura delle piante risulta essere un'attività molto complessa in quanto non si riescono a cogliere i segnali che la pianta manifesta a causa della mancata esperienza dell'utente e soprattutto per l'estrema difficoltà nel percepire dei cambiamenti nel loro stato di salute. I dati ottenuti dal questionario sull'interazione uomo-pianta (vedi capitolo 2 domanda 14) hanno permesso di confermare tale assunto con dati numerici, infatti l'80% dei 216 intervistati (chi ha assegnato voto 4 e 5) ha ammesso di aver avuto difficoltà nel primo approccio alla cura delle piante.

5.2 Interazione uomo-pianta

Le informazioni che l'uomo ottiene dall'osservazione delle piante sono preziose per comprendere che tipo di trattamento svolgere nei confronti delle stesse, infatti dall'osservazione e dall'interpretazione di quello che si osserva dipenderanno le successive azioni che l'uomo svolgerà (fig.21).

Risulta quindi evidente come una buona conoscenza delle piante e una buona competenza delle tecniche e pratiche botaniche siano fondamentali per far sì che la pianta possa prosperare. Con mol-

ta frequenza capita che l'uomo compia degli errori di valutazione quando esamina la pianta svolgendo azioni sbagliate che influiscono negativamente sulla salute della stessa.

Questi errori non sono sempre dovuti all'inesperienza dell'utente, ma dipendono anche dall'impossibilità dell'occhio umano di poter percepire determinati campanelli d'allarme che le piante manifestano. Come già discusso nei precedenti capitoli, le piante assorbono la radiazione solare in diversi intervalli di frequenza e lunghezze d'onda, e ne riemettono una percentuale differente in ciascuna di esse. La percentuale di radiazione riemessa ci permette di comprenderne lo stato di salute. Quindi è possibile definire un secondo livello di interazione tra uomo e pianta, nel quale vengono inviati dei segnali che l'uomo non è in grado di percepire (fig.22).

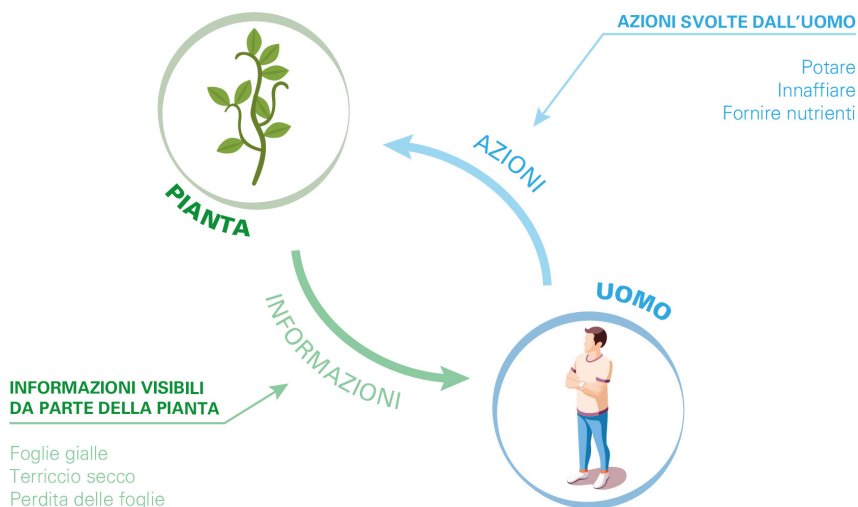


FIG.21: Interazione uomo-pianta.

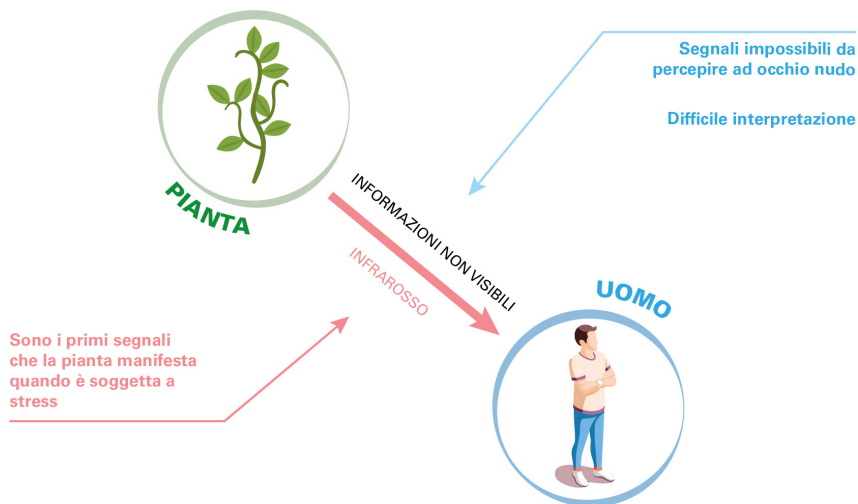


FIG.22: Secondo livello di interazione uomo-pianta.

5.3 Studio delle attività

Studiare le attività che l'uomo svolge per prendersi cura delle piante rende possibile differenziarle in base al grado di importanza. Sulla base delle informazioni raccolte dal questionario è stato possibile comprendere il grado di fatica, di difficoltà e la frequenza con cui l'utente le svolge tali attività.

Fra tutte le attività di cura delle piante si è scelto di focalizzare l'attenzione sulle modalità di verifica del loro stato di salute. Esaminare le piante è un'attività che viene svolta con molta frequenza e da questa dipendono le successive azioni che verranno svolte dall'utente. Da ciò si evince come una corretta interpretazione delle informazioni in questa fase sia cruciale per garantire la sopravvivenza della pianta.

Per questo motivo tale attività dovrebbe essere implementata e supportata dall'uso della tecnologia. Avere delle corrette informazioni



FIG.23: Analisi delle attività svolte dagli utenti

sullo stato di salute della pianta e individuare possibili problemi prima che si manifestino permette di risparmiare risorse ed evitare che la pianta possa perire per un'errata interpretazione o un ritardo nell'intervento.

5.4 Analisi dell'utenza

Per realizzare un prodotto che soddisfi le aspettative dell'utenza e ne risolva i problemi è importante studiare i comportamenti delle persone e i luoghi in cui solitamente svolgono quest'attività. L'analisi svolta di seguito permette di avere un quadro generale del tipo di utenza e degli ambienti nei quali opera. Lo scopo del progetto non è quello di fornire un dispositivo che soddisfi le necessità di una realtà industriale, ovvero delle grandi industrie agricole, ma di valorizzare le piccole realtà locali che non sono in grado di competere con le grandi industrie che utilizzano dispositivi all'avanguardia e molto costosi per il controllo delle coltivazioni. Di conseguenza l'analisi svolta prende in considerazione i bisogni di un'utenza slegata dalla produzione industriale. Da questo studio sono emerse tre principali

Hobbista

- Non necessita di esaminare un numero elevato di piante
- Svolge azioni di volontariato per la cura delle piante
- Usa strumenti essenziali
- Utilizza sensori e attuatori per controllare le condizioni ambientali



Coltivatore

- Esamina un grande numero di piante
- Utilizza sensori e attuatori per controllare le condizioni ambientali
- Lavora all'aperto
- Utilizza altri dispositivi per analisi sul campo (rover e droni)



Ricercatore

- Esamina i campioni vegetali con grande frequenza
- Utilizza sensori e attuatori per controllare le condizioni ambientali
- Utilizza altri dispositivi per analisi sul campo (rover e droni)



FIG.24: Analisi dell'utenza

tipologie di utenti che, anche se con bisogni diversi, ne condividono uno generale, ovvero conoscere lo stato di salute delle piante.

Per quanto riguarda la necessità di esaminare le piante le tre tipologie di utenti presentano bisogni diversi, ad esempio l'hobbista esamina un numero di piante non molto elevato. Diverso è invece il caso del coltivatore che, lavorando in campo ed essendo questo per lui un lavoro e non un hobby, sicuramente avrà un maggior numero di campioni da esaminare. Diverso ancora è il caso del ricercatore che si differenzia dalle due precedenti tipologie di utenza non per la quantità di piante da esaminare, quanto per la frequenza con la quale svolge questa attività.

5.5 Analisi degli ambienti

La progettazione del dispositivo in questione, oltre a prendere in considerazione le necessità dell'utenza, deve anche tenere in considerazione gli ambienti nei quali si svolgono tali attività. Dunque

Casa

- Spazi ristretti
- Area di lavoro improvvisata (tavolo, balcone)
- Ambienti condivisi (raramente hanno un ambiente dedicato alla sola cura delle piante)



Campo

- Agenti atmosferici
- Grandi spazi
- Presenza di altre attrezzature per la cura delle piante.
- Difficoltà di approvvigionamento di energia elettrica



Serra

- Condizioni ambientali controllate
- Molta luce
- Spazi ristretti per il movimento



Laboratorio

- Spazi ristretti
- Condizioni ambientali controllate
- Attrezzature per il controllo della qualità



FIG.24: Analisi degli ambienti dove l'utenza svolge le attività

lo studio fino a qui svolto non si è focalizzato solamente sull'interazione tra uomo e pianta, bensì sull'interazione tra uomo, pianta e ambiente.

Analizzando in primis l'ambiente domestico si può affermare che una caratteristica che lo differenzia dagli altri è quella della condivisione degli spazi.

Raramente in casa si ha un unico ambiente nel quale si svolgono le attività di cura delle piante, spesso invece queste vengono svolte in ambienti adibiti ad altre funzioni, come ad esempio il salotto dove è possibile trovare piante ornamentali, la cucina dove si possono trovare piante per uso alimentare come erbe aromatiche, o il balcone luogo ideale per piante che necessitano di molta luce. Da ciò ne deriva che la cura delle piante all'interno delle mura domestiche può avvenire in ambienti diversi.

Un altro ambiente, destinato alla coltivazione delle specie vegetali, è il campo. Essendo questo un ambiente aperto, tutte le attrezzature e le stesse piante sono soggette ad agenti atmosferici e gli spazi risultano molto più ampi rispetto a quelli dell'ambiente domestico.

Altro ambiente molto utilizzato in ambito agricolo e botanico è la serra, un luogo costruito artificialmente per contenere piante e fiori in condizioni ambientali simili a quelle del loro habitat naturale. L'utilizzo della serra permette di coltivare diverse tipologie di piante anche nel caso in cui le condizioni ambientali esterne siano sfavorevoli per alcune specie. In questo modo è possibile coltivare anche in ambienti chiusi, come nel caso dei laboratori di ricerca, all'interno dei quali vengono realizzate serre specifiche per determinati tipi di campioni vegetali.

Dall'analisi fin qui svolta si possono delineare le caratteristiche del prodotto, che dovrà:

- essere utilizzato sia in ambienti chiusi che in ambienti aperti
- essere facilmente trasportabile da un luogo ad un altro
- implementare le capacità dell'utente e permettergli di migliorare la qualità del suo lavoro
- rilevare precocemente i fattori di stress



6. FLUOSS

Il progetto prevede la realizzazione di un dispositivo in grado di proporre un nuovo tipo di interazione tra uomo e pianta potenziando la qualità delle informazioni che i due soggetti si scambiano. Questo potrà permettere di salvaguardare la salute delle piante, ridurre il consumo di risorse utilizzate per la loro cura e rilevare precocemente i fattori di stress prima che sia troppo tardi per intervenire.

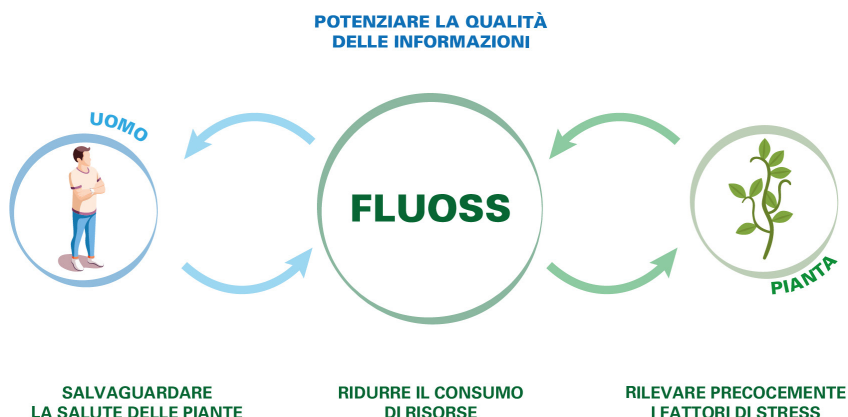


FIG.25: Obiettivi del progetto

Dall'analisi dell'utenza e degli ambienti nei quali si svolgono le attività è stato possibile delineare le caratteristiche principali del dispositivo.

Trattandosi di una tipologia di utenza disomogenea con necessità diverse fra di loro e modi di svolgere le attività di cura delle piante altrettanto dissimili, il dispositivo deve essere progettato tenendo in

considerazione le necessità di ogni tipologia di utente.

Ad esempio l'hobbista può svolgere le sue attività in casa ma potrebbe anche possedere un campo o una serra nel quale coltiva le piante, inoltre potrebbe svolgere attività di volontariato presso orti botanici e quindi avere la necessità di spostarsi.

Stesso discorso può essere fatto per il coltivatore o per il ricercatore i quali non sempre svolgono le loro attività in un unico ambiente.

Quindi si è scelto di progettare un dispositivo che tenga conto di tale necessità, evitando di realizzare strutture fisse che potrebbero limitare le attività dell'utenza.

Per questo motivo il device dovrà essere portatile, ovvero permettere all'utente di muoversi liberamente in diversi ambienti avendo sempre con sé il dispositivo.

Il dispositivo è progettato per permettere all'utente un facile utilizzo, lo scopo è quello di far percepire il dispositivo come un'estensione del corpo. La scelta di mostrare i risultati della scansione attraverso immagini è dettato dalla volontà progettuale di fornire informazioni sullo stato di salute delle piante in maniera rapida ed intuitiva.

6.1 NDVI

Considerando gli attuali avanzamenti tecnologici e gli studi svolti in materia, la tecnica scientifica idonea per questo tipo di applicazione è quella della lettura dell'indice NDVI. Tale scelta è dettata dalla fattibilità nella realizzazione sia dal punto di vista tecnico che dal punto di vista economico in quanto utilizza componenti facilmente reperibili sul mercato.

Come discusso nei precedenti capitoli, le piante assorbono la radiazione solare che viene utilizzata come fonte di energia nel processo di fotosintesi, un eccessivo assorbimento di tale energia potrebbe però causare danni alla pianta. Per evitare ciò le cellule delle foglie disperdono la radiazione solare in eccesso nel vicino infrarosso. L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) permette di identificare lo stato di salute di una pianta calcolando il rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse nel vicino infrarosso e nel rosso, ossia come $(NIR-RED)/(NIR+RED)^{48}$.

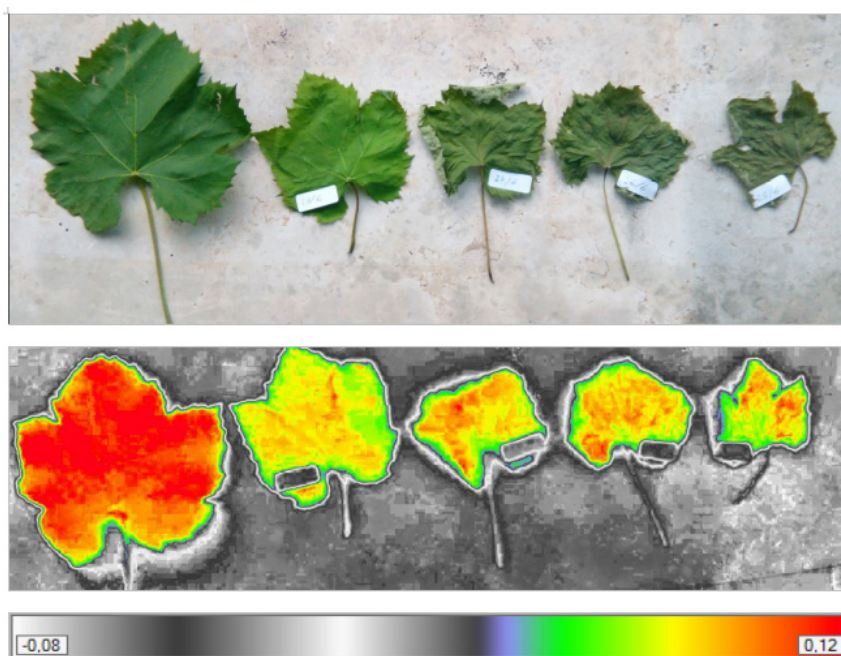


FIG.28: Esempio di lettura dell'indice NDVI su campioni vegetali in diverse condizioni di salute. Immagine tratta da: www.physicsopenlab.org/2017/01/30/indice-ndvi/

Il valore dell'indice NDVI è in stretta relazione con lo stato dell'attività fotosintetica: valori bassi di NDVI si hanno in caso di vegetazione

sofferente, al contrario, valori alti indicano una forte attività fotosintetica e quindi un buono stato di salute della pianta. I valori che l'indice NDVI può assumere sono numeri adimensionali teoricamente compresi tra -1 e +1.⁴⁹

6.2 Funzionamento

Il cuore del dispositivo è costituito da un box all'interno del quale sono contenuti:

- fotocamera
- raspberry
- display

Per rilevare l'indice NDVI in maniera economica è possibile utiliz-

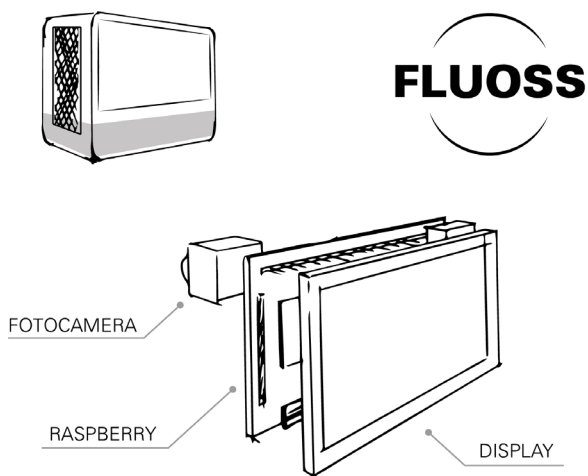
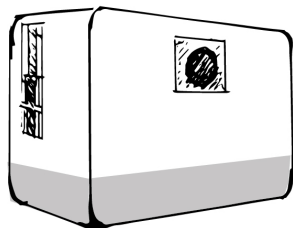


FIG.26: Schizzi progettuali che illustrano le componenti interne di FLUOSS

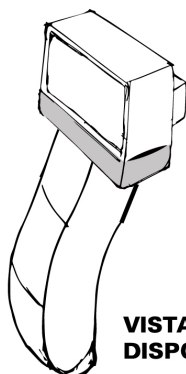
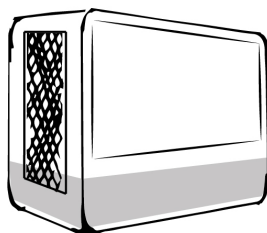
49 MARTIRANO - GAGLIARDI - COSCARELLI 2007, pp. 144-145

**VISTA PROSPETTICA
FRONTALE**



FLUOSS

**VISTA PROSPETTICA
POSTERIORE**



**VISTA DELL'INTERO
DISPOSITIVO**

FIG.26: Schizzi progettuali di FLUOSS

zare delle fotocamere tradizionali, infatti il sensore presente al loro interno risulta essere molto sensibile anche sulle lunghezze d'onda infrarosse. I sensori delle macchine fotografiche possono essere di due tipi: CCD o CMOS.

I sensori CCD vengono utilizzati in ambito fotografico, scientifico, applicazioni industriali che richiedono la massima qualità dell'immagine possibile, anche a discapito delle dimensioni del sistema. I sensori CMOS offrono più integrazione minore dissipazione di energia e la possibilità di realizzare un sistema di minori dimensioni - per questo motivo li troviamo sulle piccole fotocamere o nelle fotoca-

mere dei cellulari⁵⁰.

Per la realizzazione del nostro dispositivo bisogna permettere alla luce infrarossa di entrare in quanto è estremamente utile per il calcolo dell'indice NDVI.

Entrambi i sensori risultano essere sensibili anche alla radiazione infrarossa ma nella fotografia tradizionale tale radiazione non viene utilizzata e quindi viene eliminata grazie all'utilizzo di un filtro IR cut (Infrared cut-off) senza il quale l'immagine risulterebbe con un'evidente dominante rossa. Una volta rimosso il filtro IR cut bisogna sostituire un colore RGB con l'infrarosso montando un filtro esterno alla macchina come ad esempio un filtro blu (fig.27).

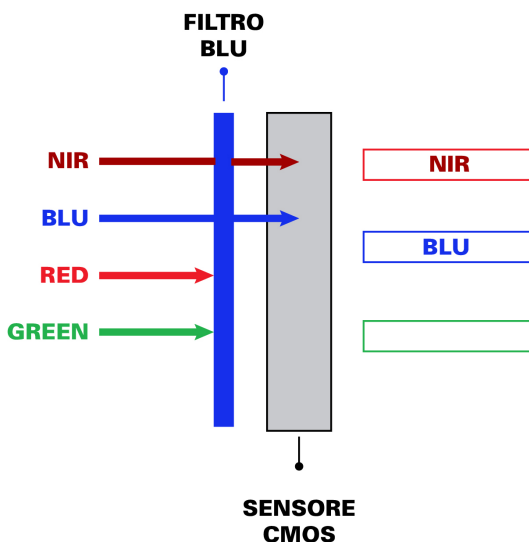


FIG.27: Schema di funzionamento del filtro blu

Il filtro blu impedisce il passaggio del verde e del rosso e consente invece il passaggio del blu e dell'infrarosso, quindi il blu viene registrato nella componente blu e l'infrarosso nella componente rossa⁵¹.

Una volta catturata, l'immagine contenente i dati della radiazione infrarossa viene inviata al raspberry il quale la elabora.

All'interno del raspberry è installato un software di elaborazione che converte le immagini che contengono il blu/rosso e l'infrarosso, in immagini a falsi colori, che visualizzano l'indice NDVI e mostrano sul display lo stato di salute della pianta.

6.3 Ergonomia

Arrivati a questo punto del lavoro occorre focalizzarsi sul modo in cui l'uomo e il dispositivo entrano in relazione, con lo scopo di agevolarne l'uso.

Il primo passo è quello di concentrare l'attenzione sull'utente e sul compito che dovrà svolgere, nel nostro caso esaminare lo stato di salute delle piante.

Durante questo primo momento vengono valutate tutte le possibili variabili che definiscono l'interazione utente-prodotto interpretando passo dopo passo le necessità degli utenti. L'approccio teorico e metodologico che si applica è quello dello Human-Centred Design ovvero "guidare l'intero processo di concezione, sviluppo e realizzazione dell'idea progettuale ponendo al centro dell'attenzione i bisogni e le aspettative delle persone che utilizzeranno e/o entreranno in rapporto con il prodotto, ambiente o servizio e, parallelamente,

51 A. Giusti, <http://physicsopenlab.org/2017/01/30/indice-ndvi/>, 2017

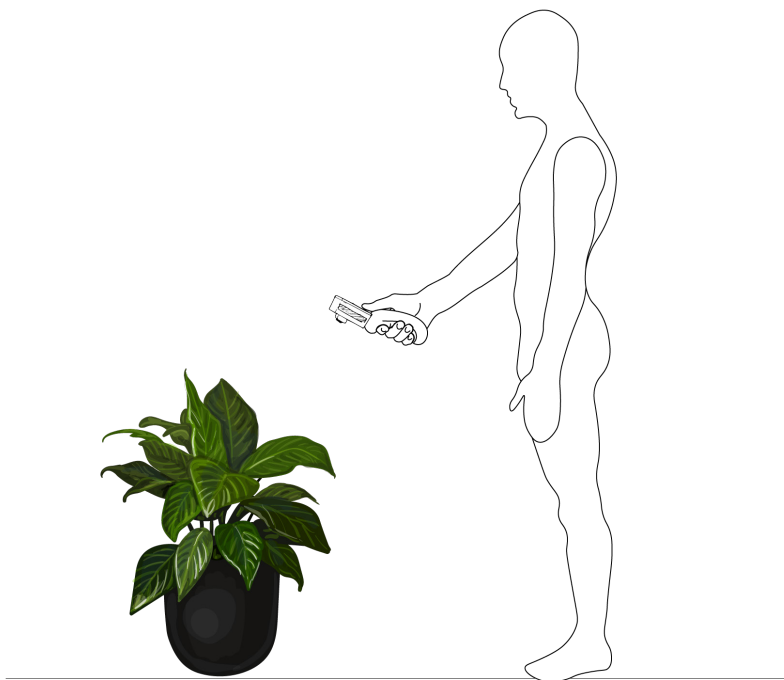


FIG.29: Disegno che illustra la posizione assunta dall'utente mentre utilizza FLUOSS

la performance complessiva del sistema nel quale tale relazione si attua (o potrà attuarsi)⁵².

Lo studio sull'utenza fin qui svolto, rafforzato dai dati ottenuti dal questionario sull'interazione uomo-pianta, ha permesso di comprendere i comportamenti delle persone direttamente coinvolte nell'uso del dispositivo.

Per facilitare l'interazione tra uomo e dispositivo si è scelto di pro-

⁵² TOSI - RINALDI - BRISCHETTO 2016, pp. 36-37

gettare un'impugnatura che ne faciliti la fruizione da parte dell'utente. L'impugnatura dovrà garantire una presa comoda e solida del dispositivo.

Prima di definire la forma dell'impugnatura è opportuno definire con precisione l'azione che l'utente dovrà compiere, nel nostro caso, dovrà in primo luogo puntare il dispositivo verso la pianta e successivamente scattare la fotografia.

Di seguito è possibile osservare alcuni esempi di impugnature realizzate sulla base delle azioni che gli utenti dovranno compiere. Ad esempio, il calcio della pistola è progettato per impugnare l'arma, indirizzarla verso il bersaglio e permettere una corretta esecuzione del tiro.



FIG.30: Tipologie di impugnature in base alle azioni da svolgere. Immagini tratte da: <https://unsplash.com/>

Nel nostro caso l'impugnatura del dispositivo dovrà svolgere la medesima funzione, ovvero quella di indirizzare la fotocamera verso la pianta.

Si è quindi iniziata una ricerca focalizzando l'attenzione su questa tipologia di impugnatura.

Si sono analizzate diverse tipologie di impugnature permettendo di individuare la posizione che la mano dell'utente deve assumere. La corretta scelta dell'impugnatura è essenziale in quanto un'impugnatura troppo piccola potrebbe causare una presa scomoda e di conseguenza rendere l'utilizzo del dispositivo difficoltoso, al contrario una forma eccessivamente grande causerebbe un peso eccessivo e un'evidente difficoltà nell'utilizzo con una sola mano.



FIG.31: Tipologie di impugnature in base alle azioni da svolgere

Di seguito si presentano le immagini e i disegni relativi al dispositivo progettato.



FIG.31: Modello in materiale plastico dell'impugnatura

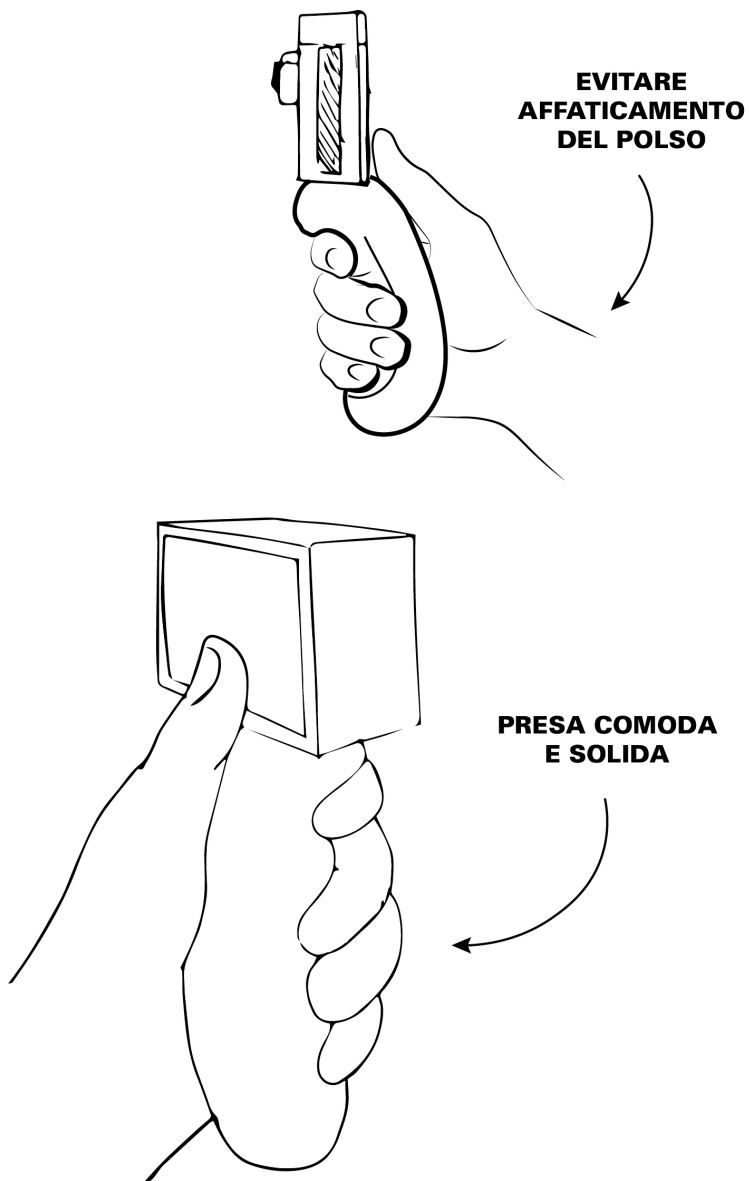


FIG.32: Schizzi progettuali di FLUOSS con impugnatura



FIG.33: Primi test sull'ergonomia dell'impugnatura con modello stampato in 3D



FIG.33b: Impugnatura forma finale.



6.4 Componenti stampate in 3D

In questo paragrafo vengono illustrate tutte le componenti stampate che sono servite per la realizzazione del dispositivo.

Il materiale scelto per la realizzazione di FLUOSS è il PETG, in quanto possiede un basso tasso di restringimento che permette di produrre pezzi dimensionalmente più precisi rispetto al normale PLA. Il PETG, inoltre, possiede ottime caratteristiche meccaniche e chimiche, elevata resistenza agli urti ed un'eccellente flessibilità, quest'ultimo aspetto risulta molto utile per la realizzazione di incastri a scatto. A differenza dell'ABS, il PETG risulta più semplice da stampare e non necessita di stampanti con piatto di stampa chiuso a temperatura controllata.

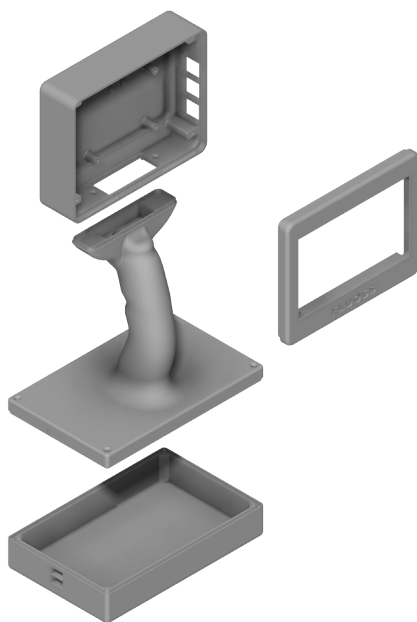
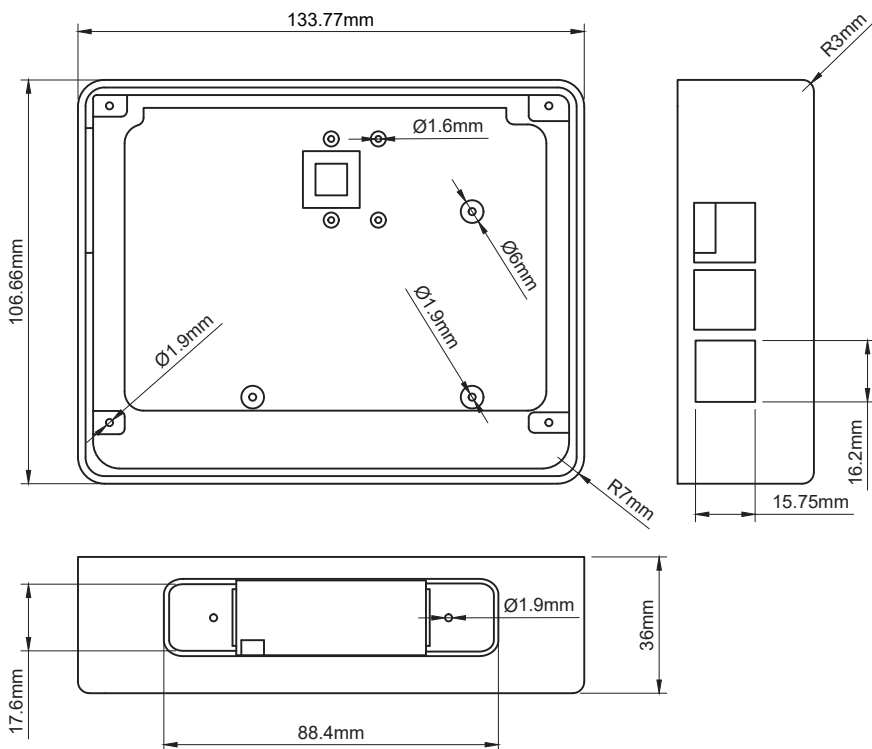
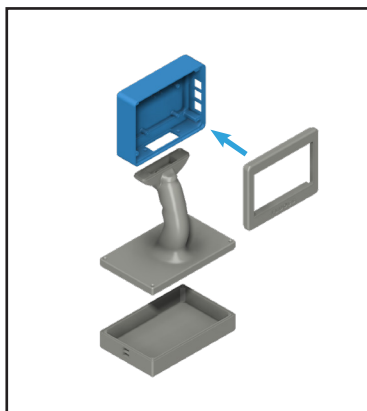


FIG.34: Esplosione isometrica con componenti stampate in 3D

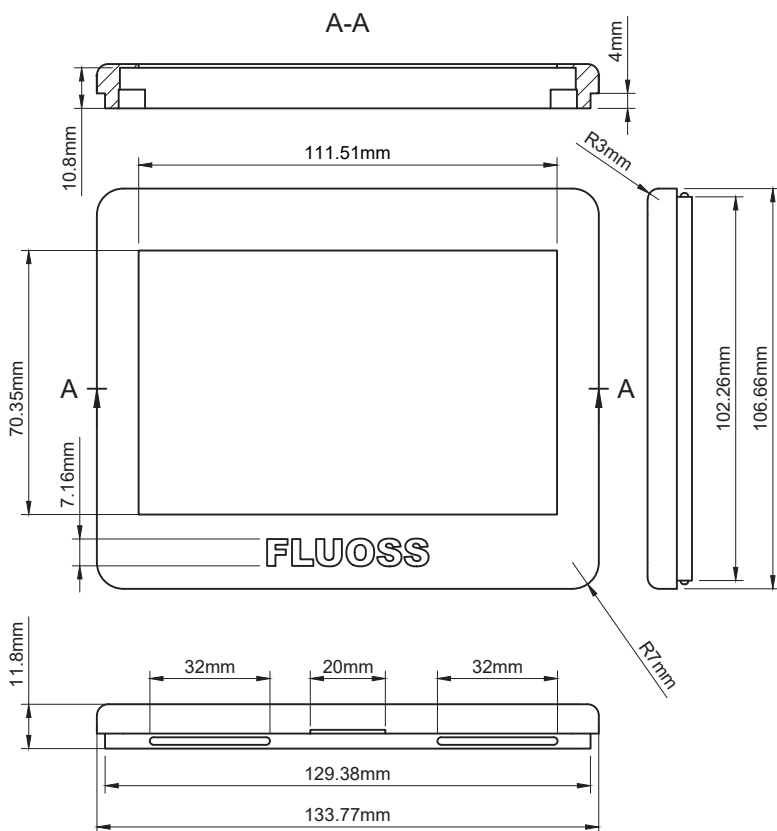
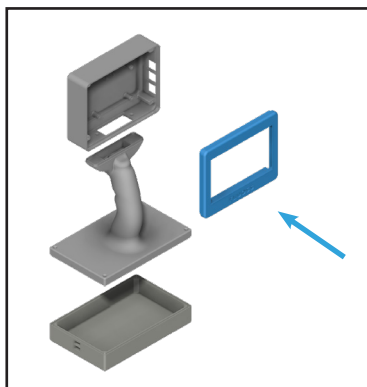
Case

Disegno in scala 1:2



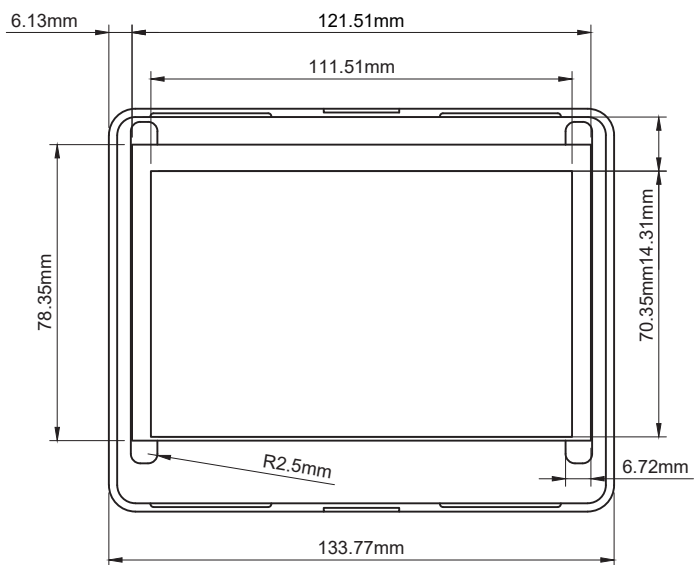
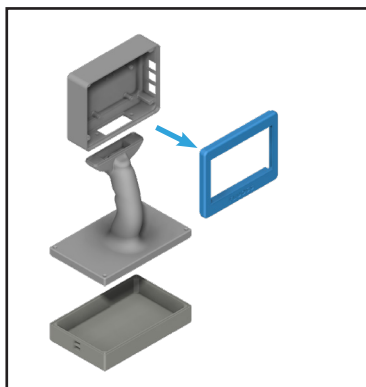
Cover display

Disegno in scala 1:2



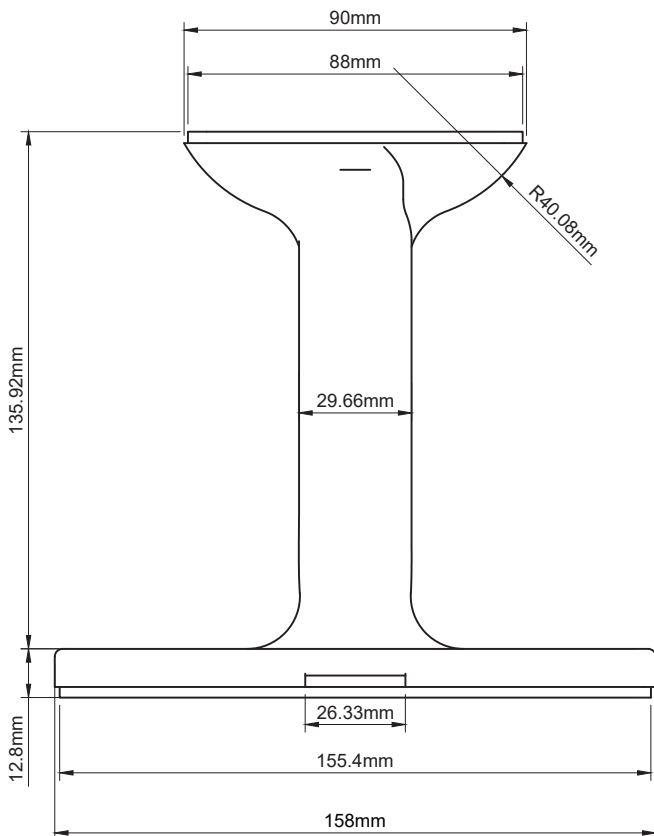
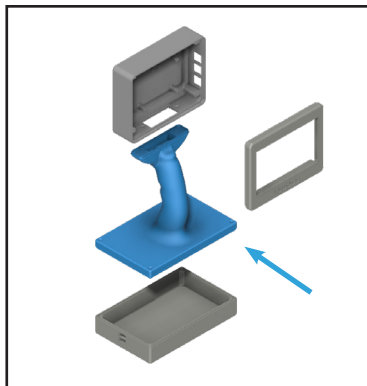
Cover display retro

Disegno in scala 1:2



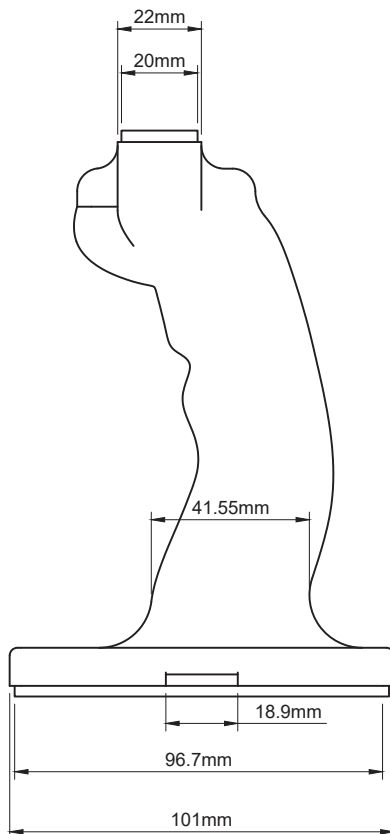
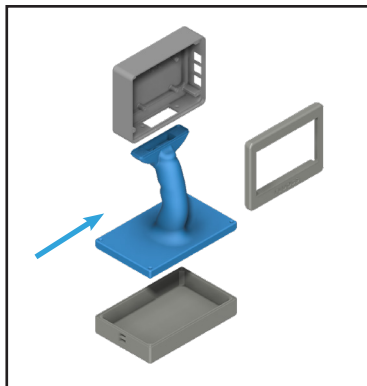
Impugnatura

Disegno in scala 1:2



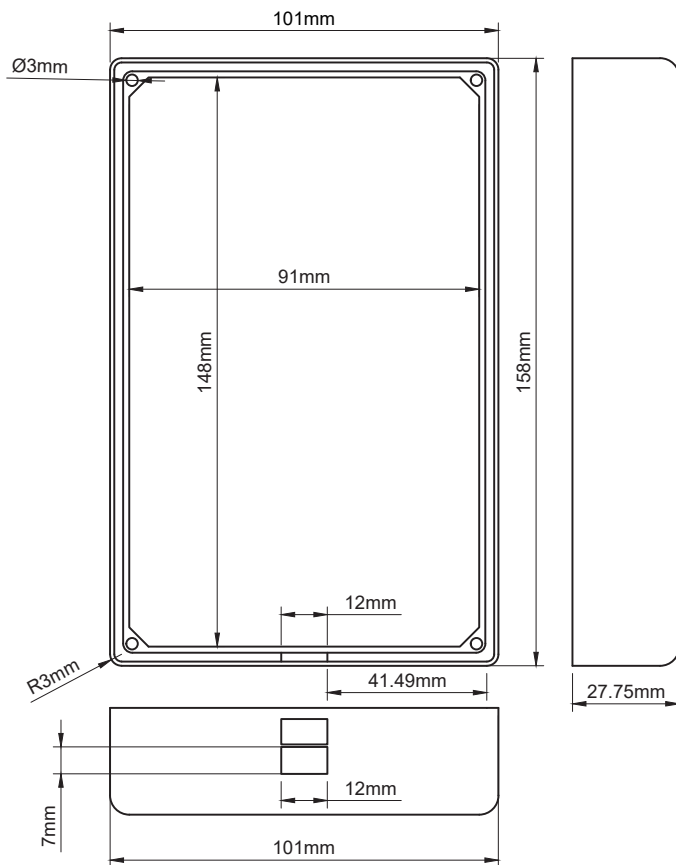
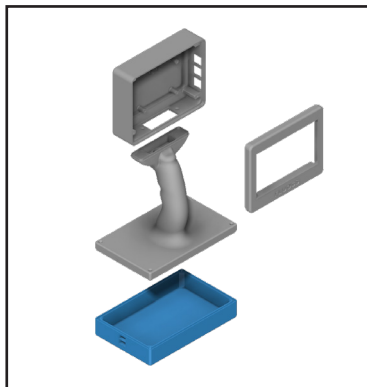
Impugnatura vista laterale.

Disegno in scala 1:2



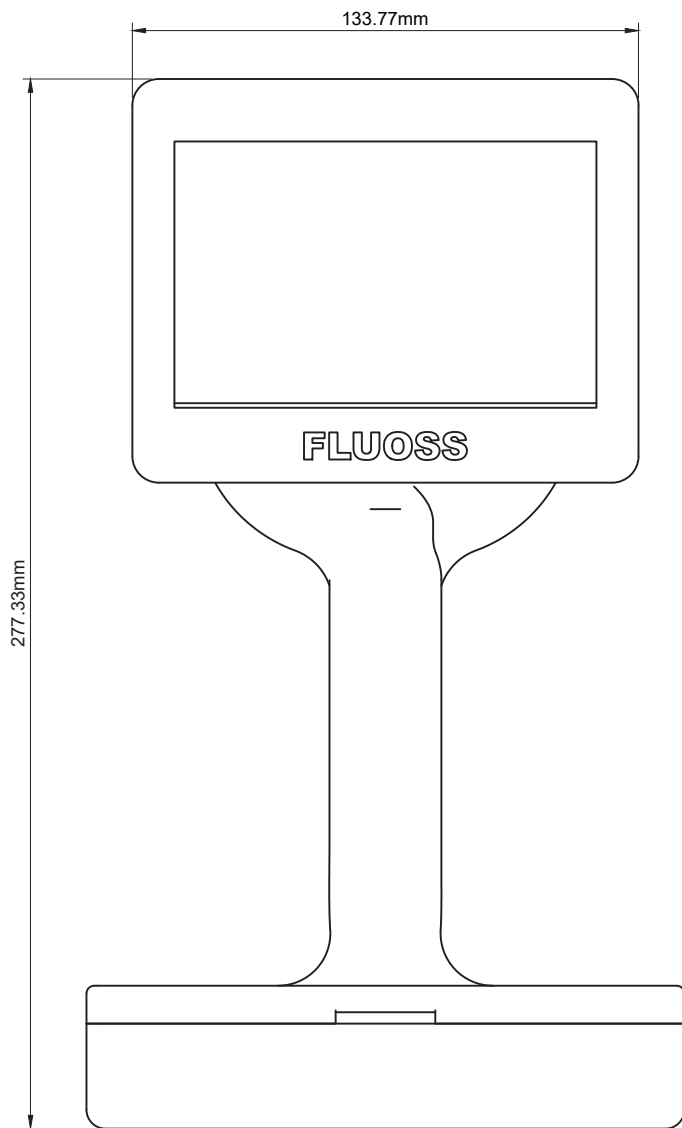
Base impugnatura

Disegno in scala 1:2

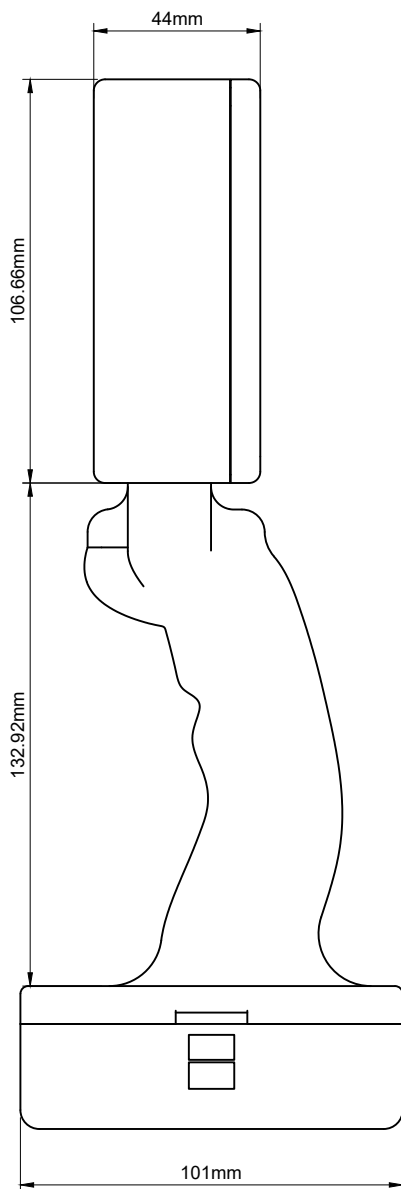


Misure generali

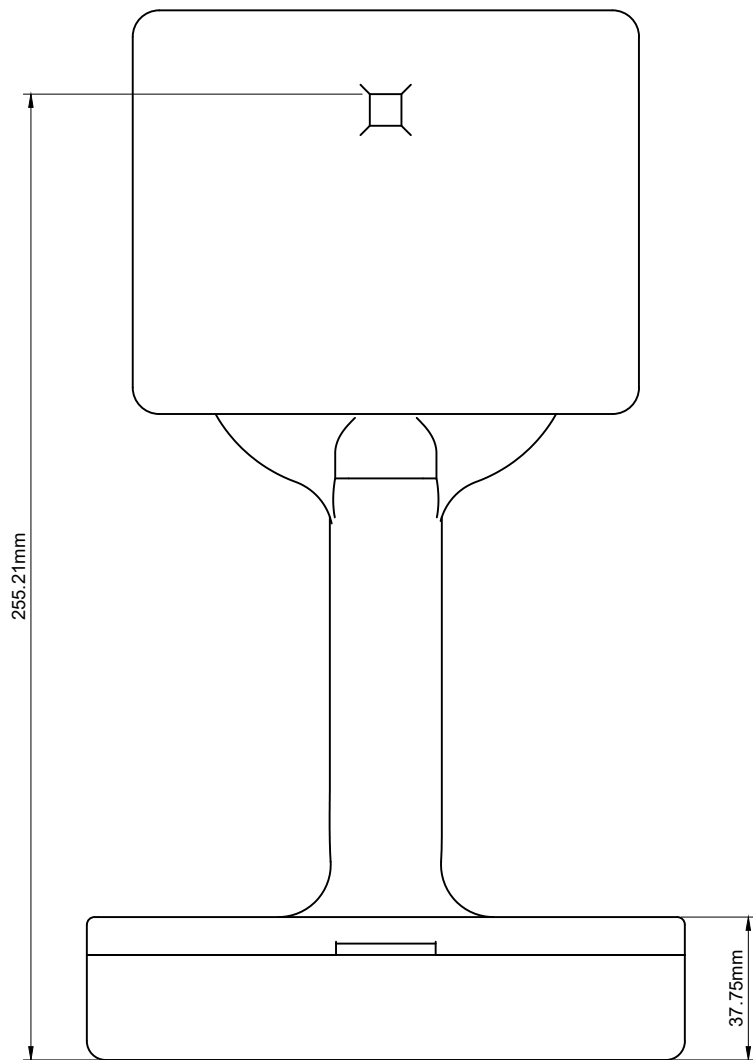
Vista frontale, disegno in scala 1:2



Vista laterale, disegno in scala 1:2



Vista posteriore, disegno in scala 1:2



6.5 Componenti elettroniche

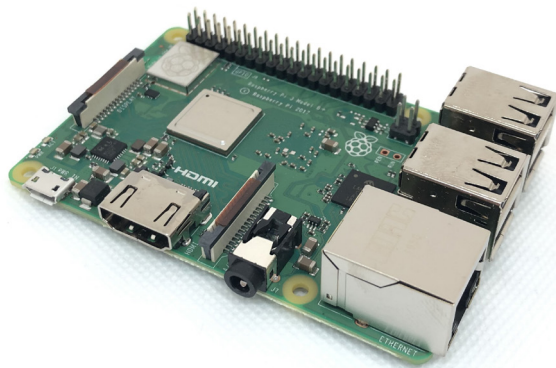


FIG.40: Raspberry Pi 3 Model B Scheda madre CPU 1.2 GHz Quad Core, 1 GB RAM

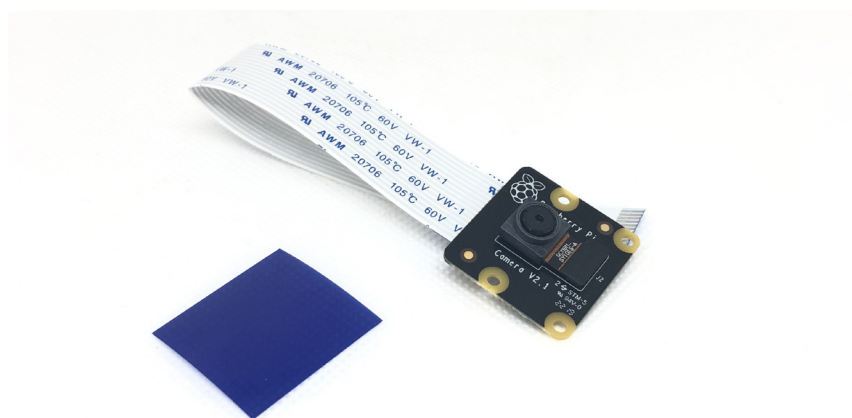


FIG.41: Raspberry Pi Camera NOIR da 8 mpx, 3280 x 2464 pixel (con filtro blu esterno)

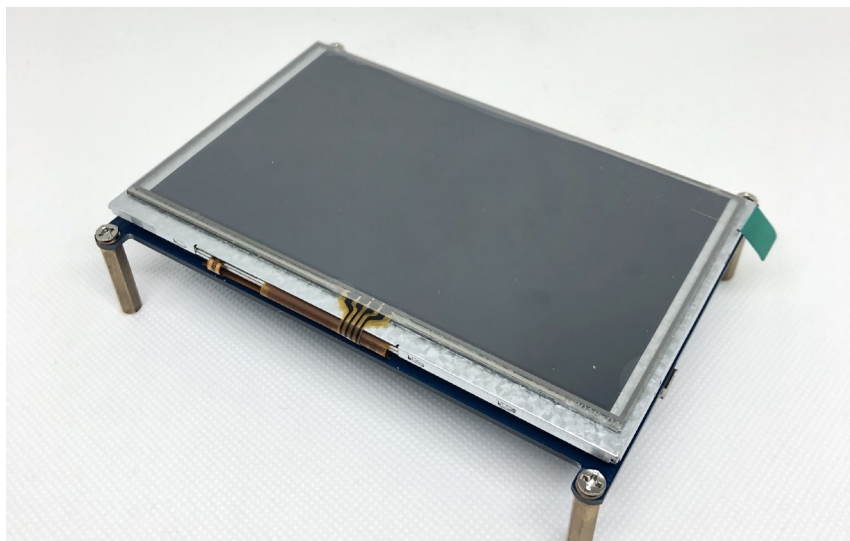


FIG.42: Display LCD touchscreen da 5 pollici, risoluzione 800x480

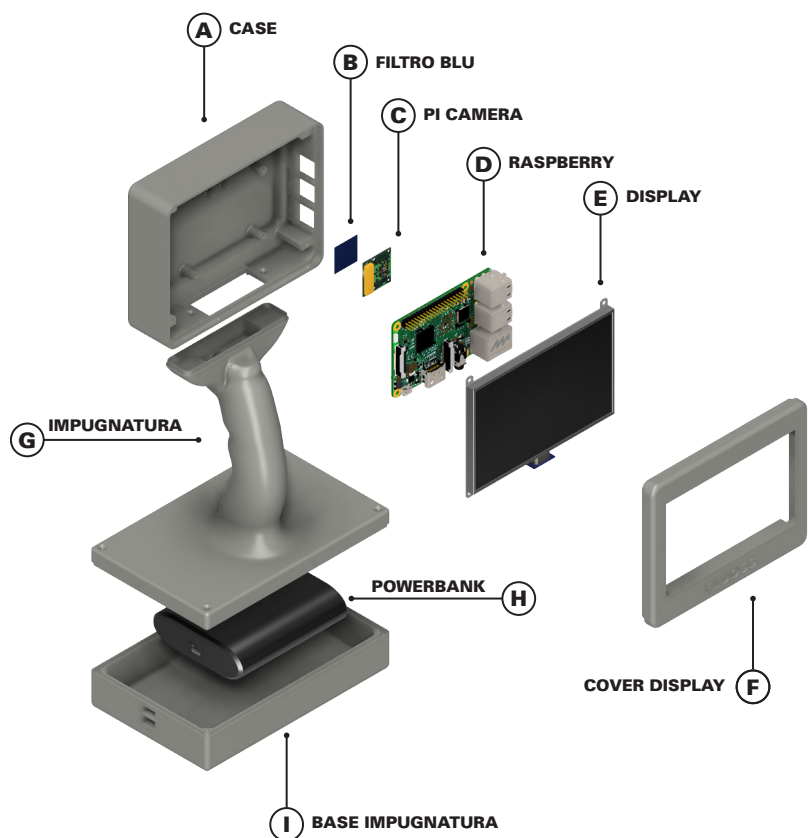


FIG.43: PowerBank da 10000 mAh con uscita OUTPUT 5V-3A



7. Assemblaggio

Di seguito vengono illustrati i passaggi per assemblare il dispositivo.

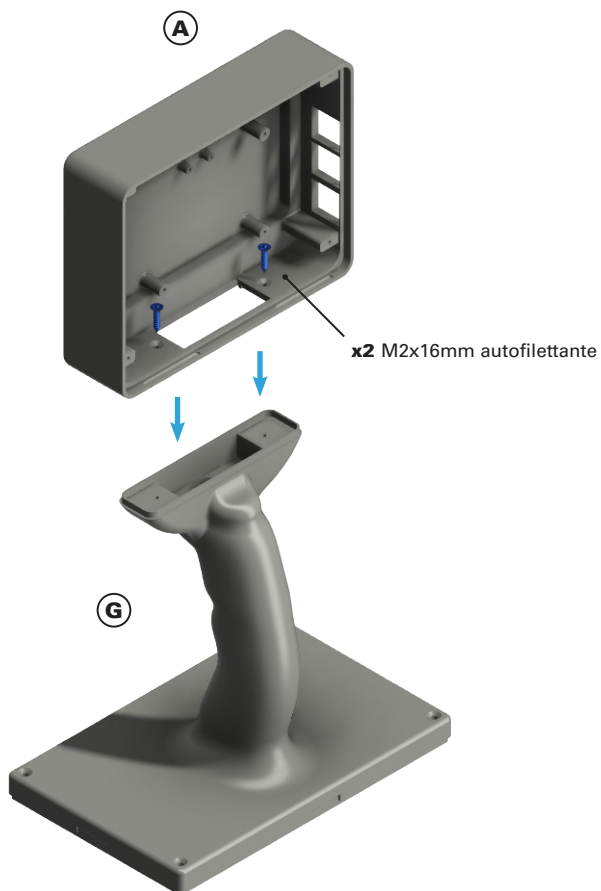


x4 M3x16mm

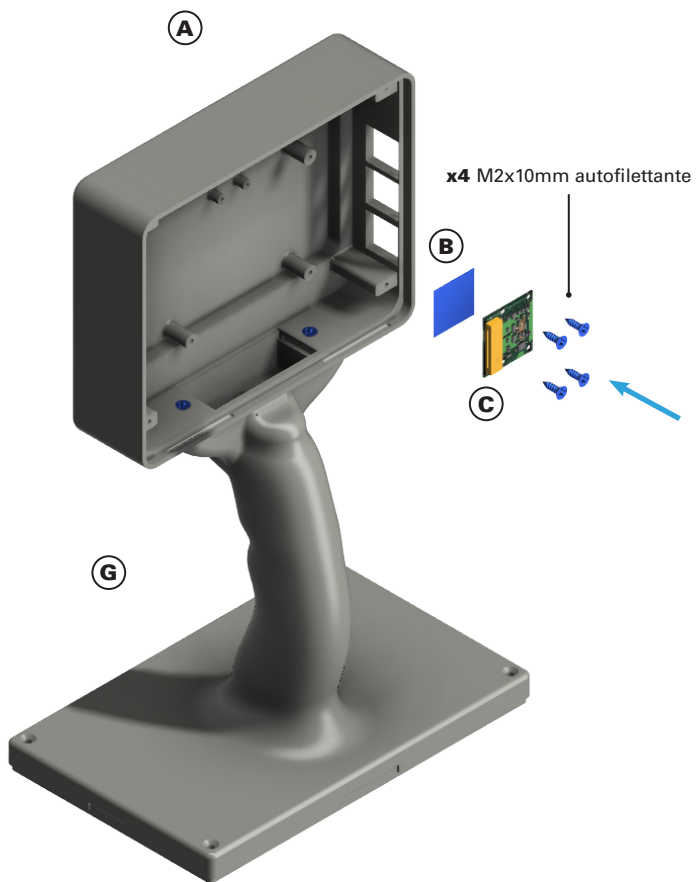
x6 M2x16mm autofilettante

x4 M2x10mm autofilettante

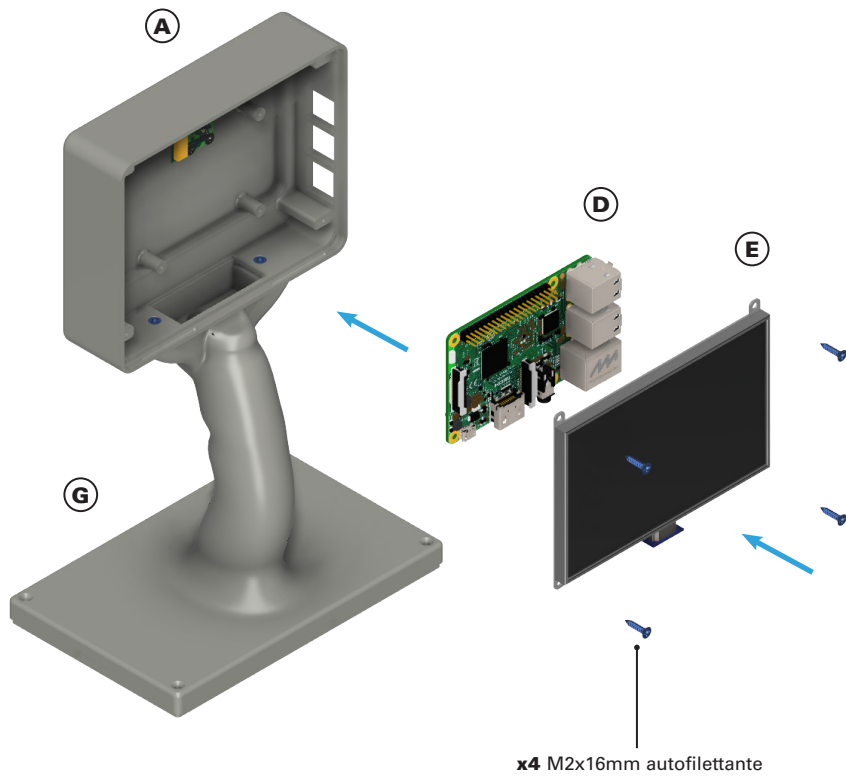
FIG.44: Esploso assometrico



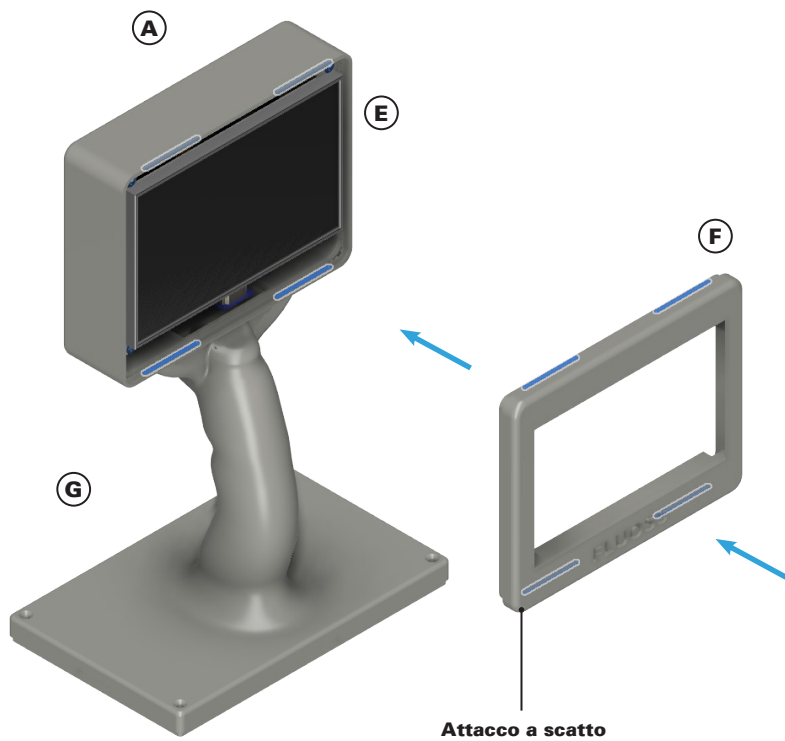
2



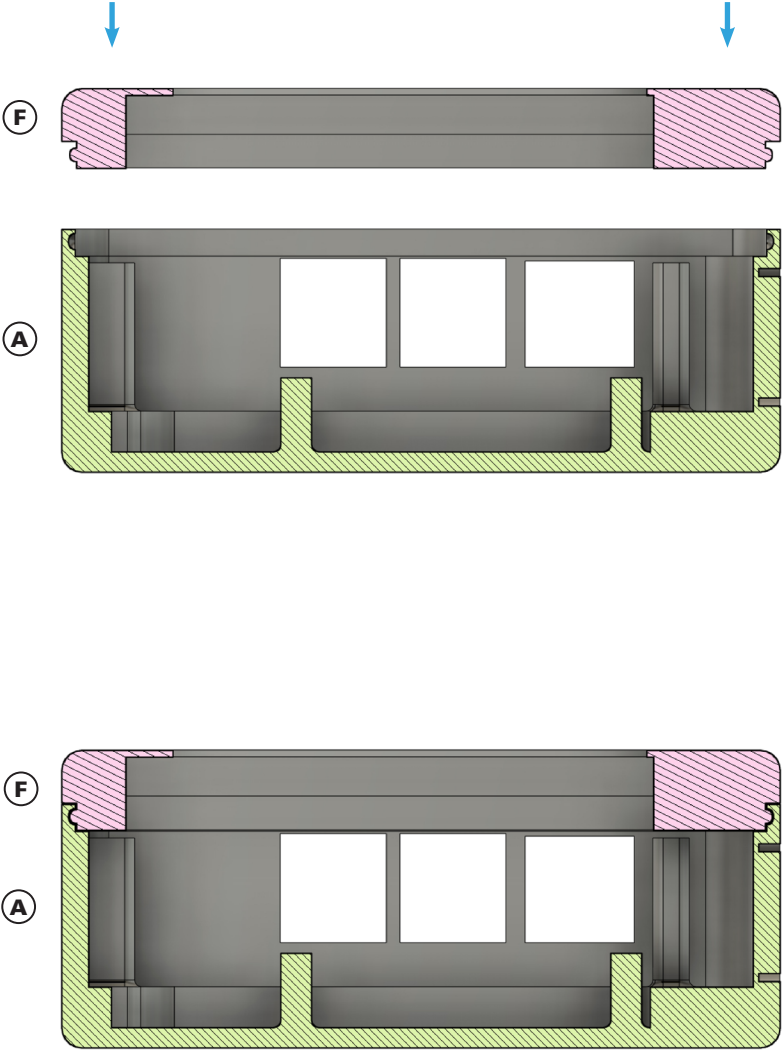
3



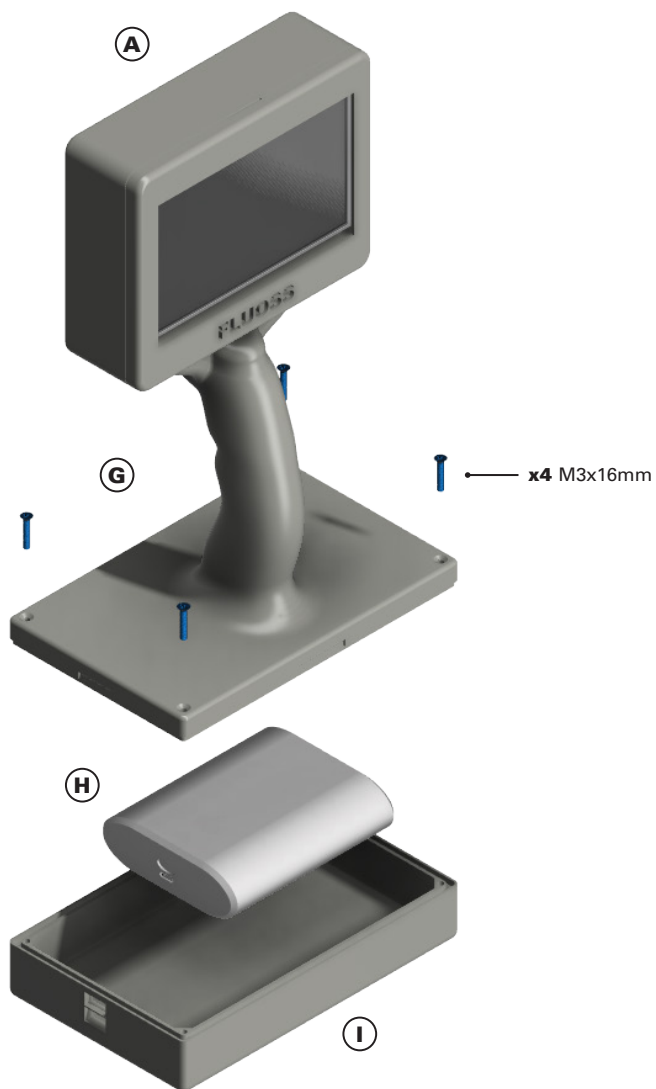
5



Dettaglio attacco a scatto

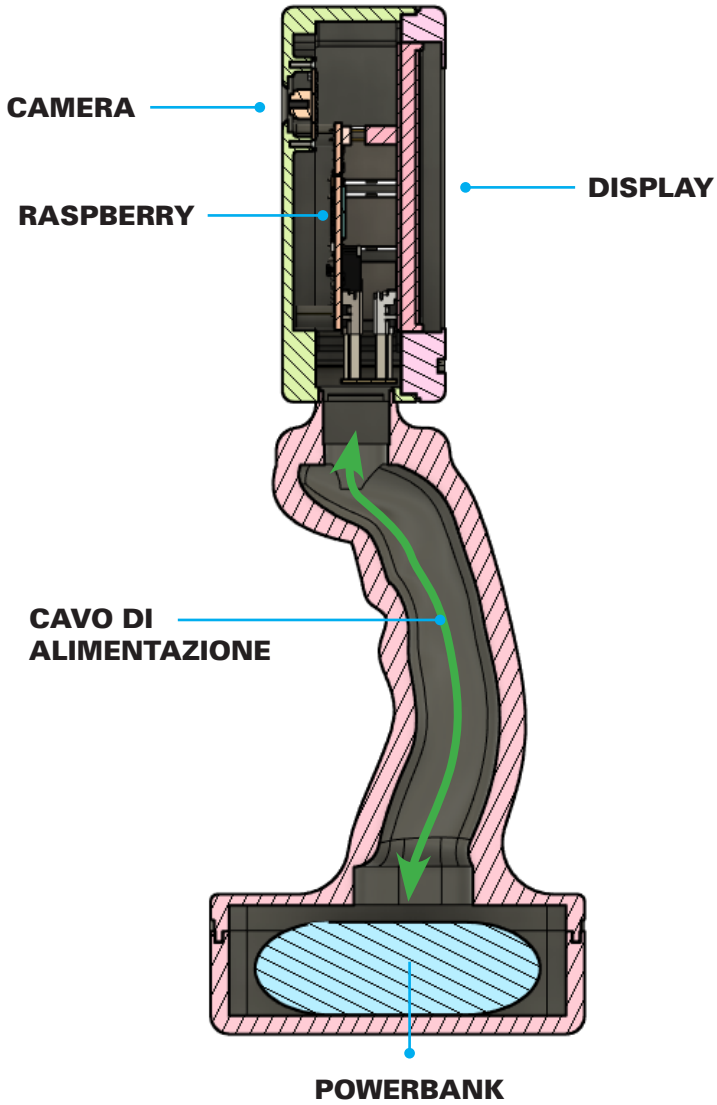


6





Sezione





FLUOSS

FLUOSS

Foto dispositivo









FLUOSS

FLUOSS





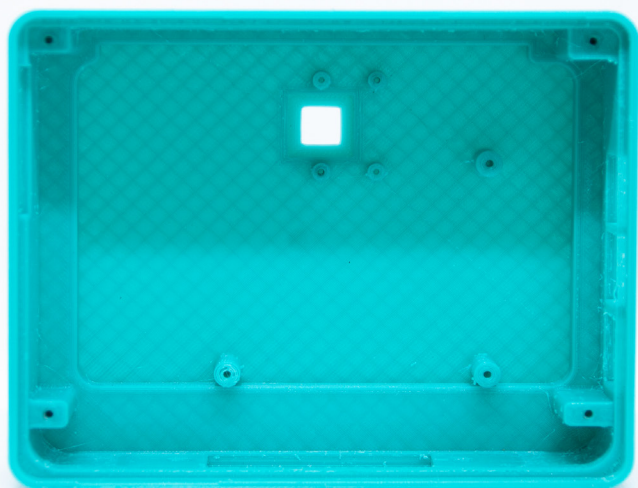
FLUOSS

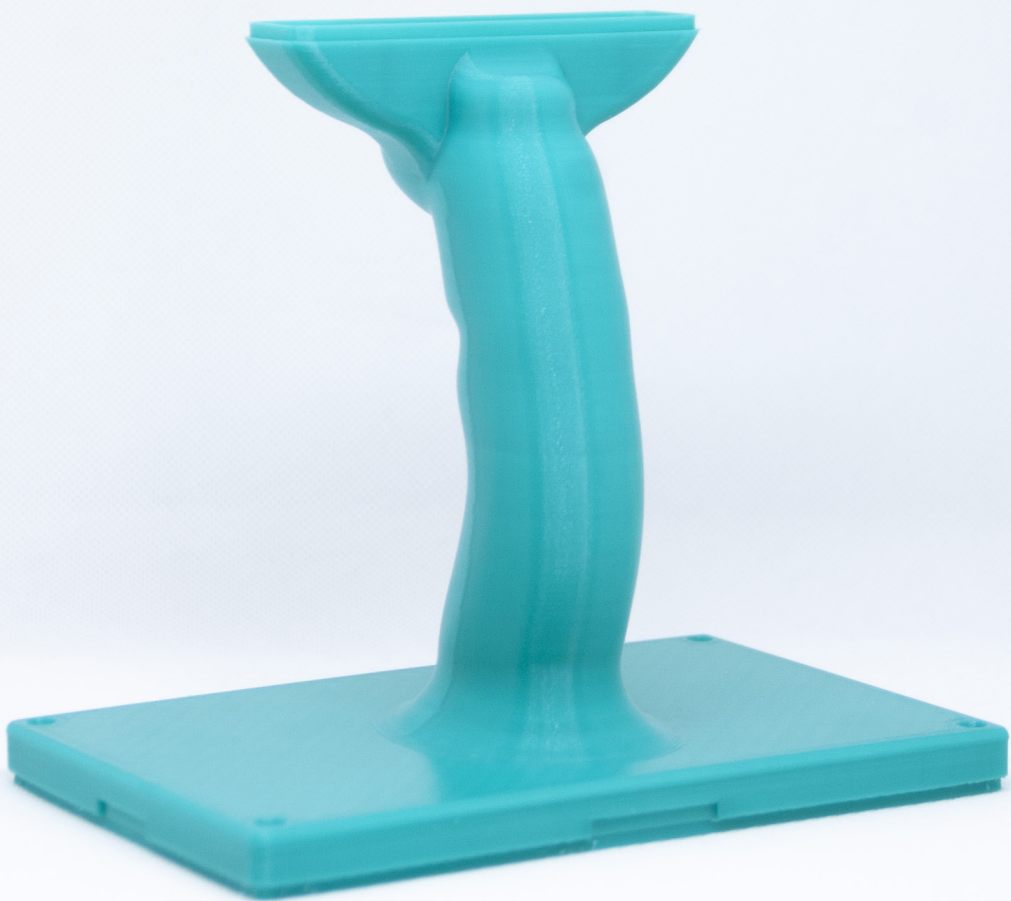
FLUOSS

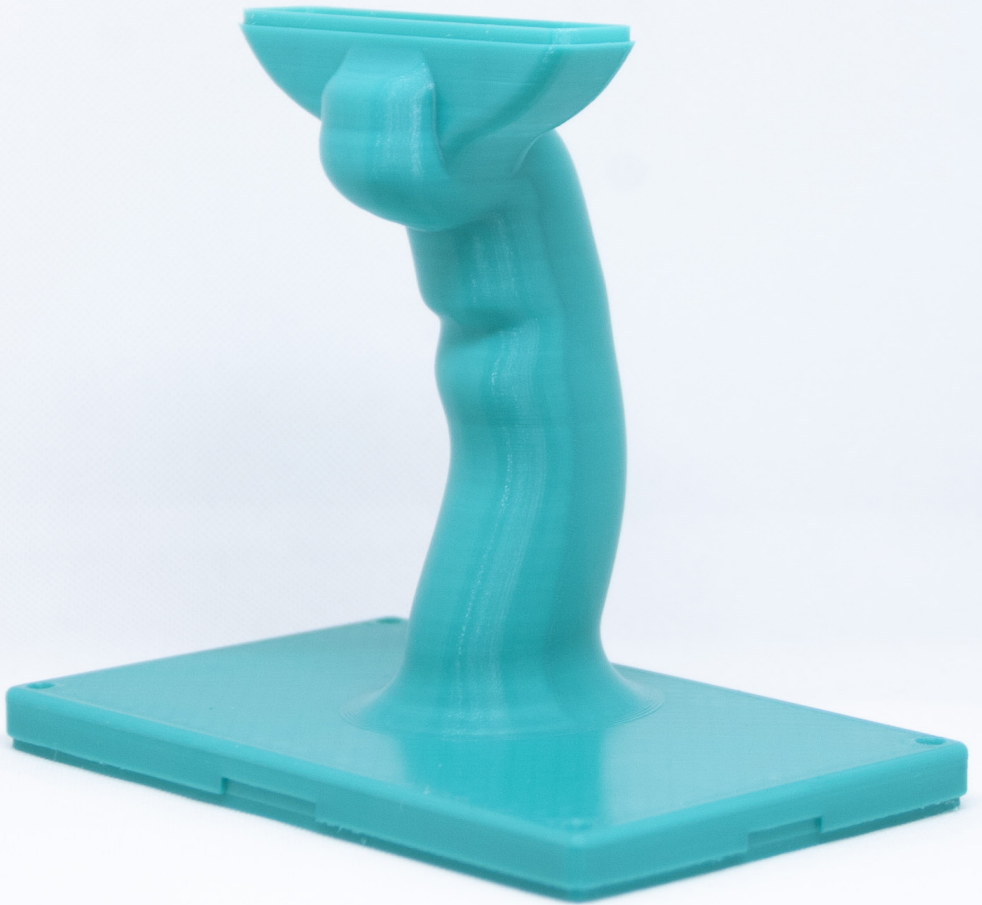


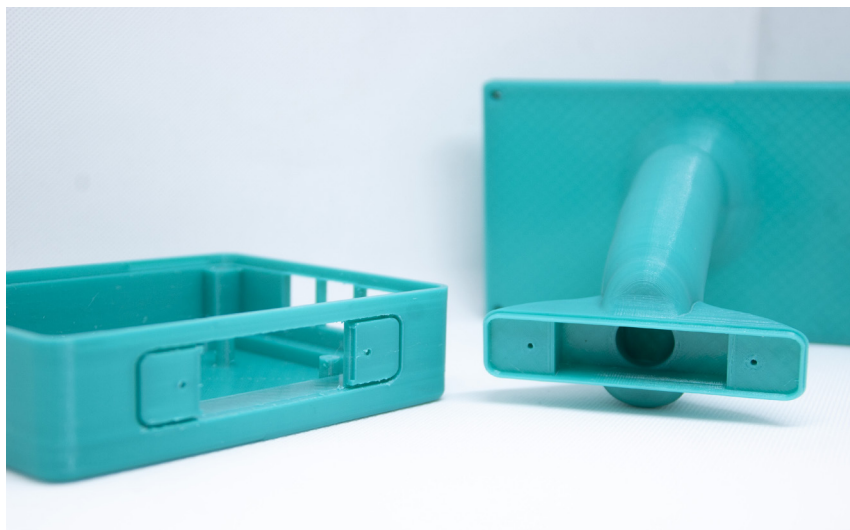


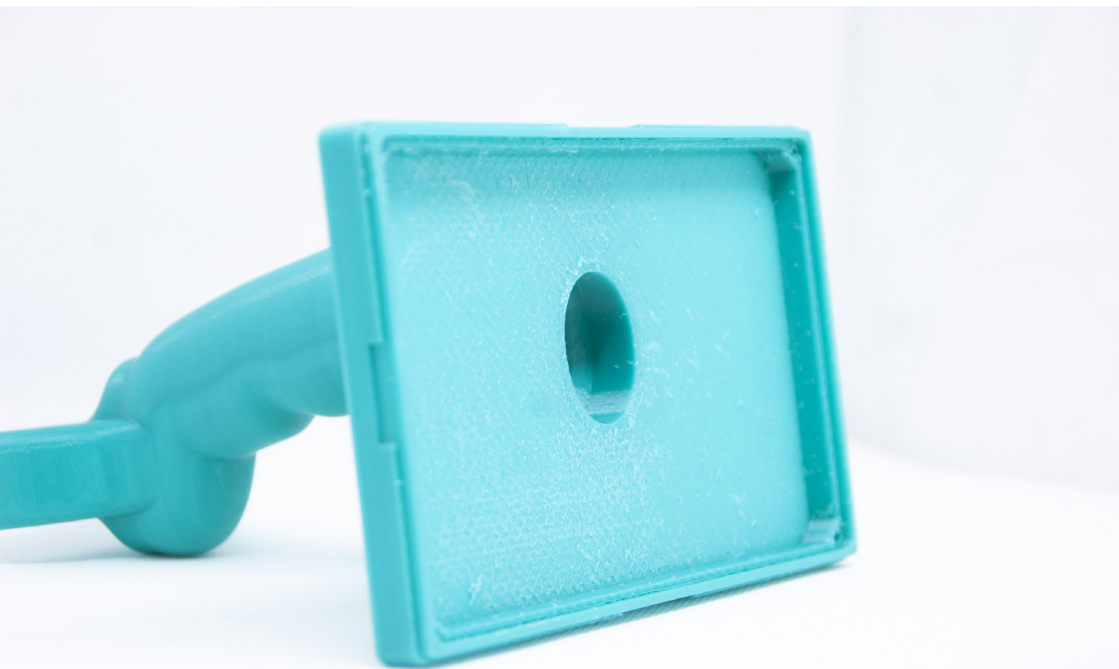


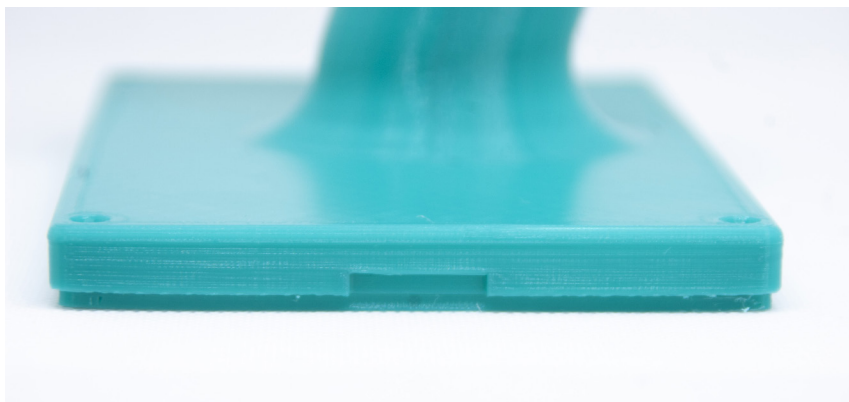








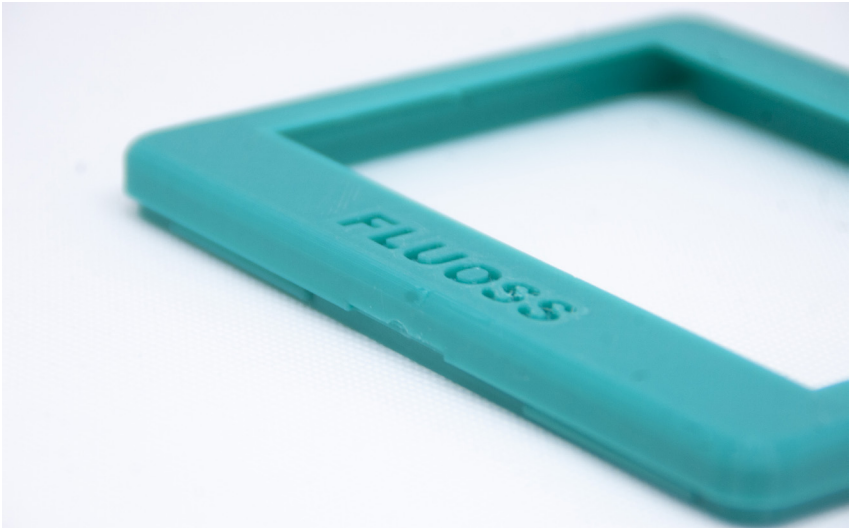
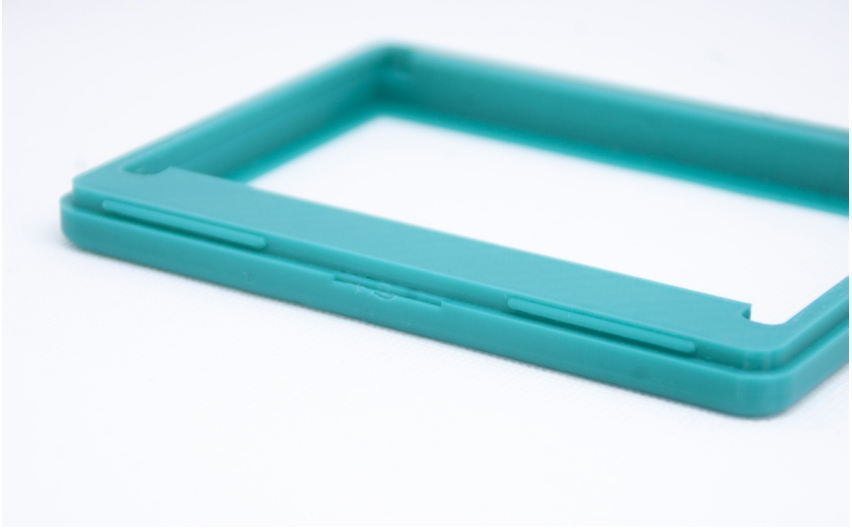






FLUOSS

































Test di funzionamento

Le foto che seguono hanno lo scopo di mostrare il dispositivo in funzione.

Sono state analizzate due foglie con differenti stati di salute in modo da comprendere come FLUOSS mostri le differenze tra i campioni.

Dal test si può notare come il campione vegetale in buono stato di salute venga visualizzato da FLUOSS in maniera diversa rispetto all'altro campione, in quanto la foglia sana riflette maggiormente l'infrarosso rispetto alla campione malato (vedi figura 45).

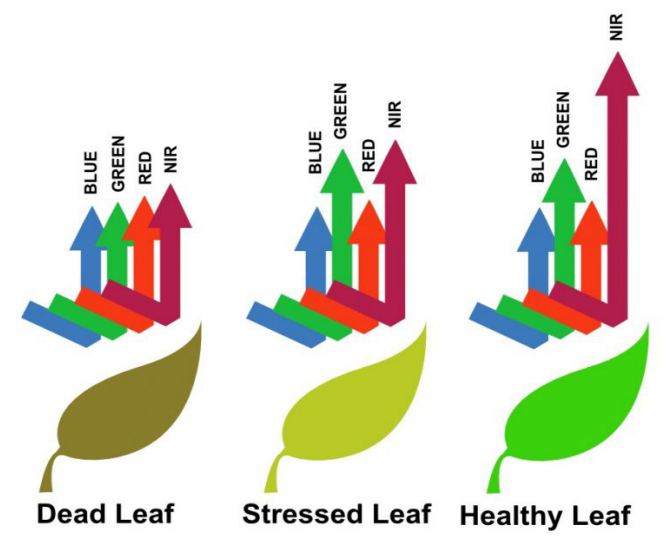
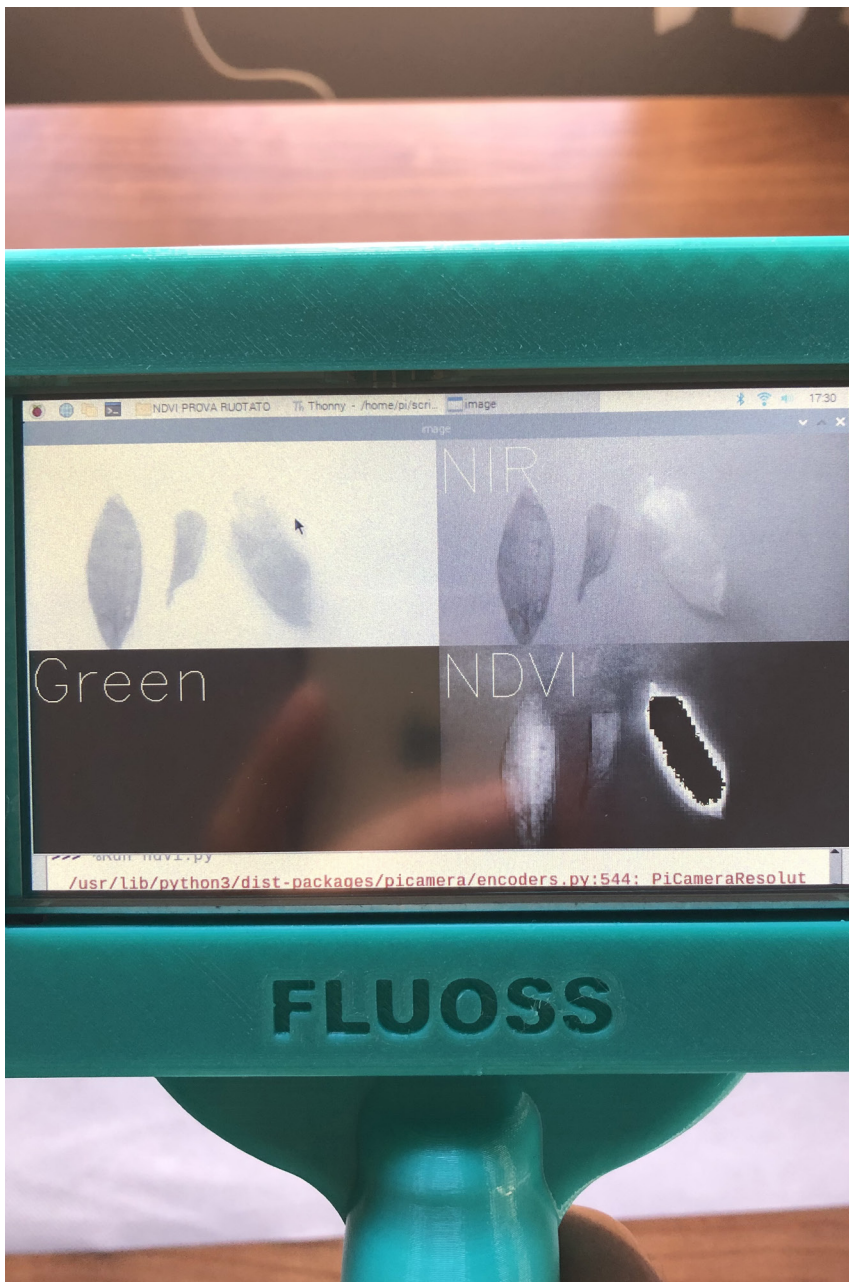


FIG.45: Riflessione delle lunghezze d'onda su campioni con stati di salute differenti. Immagine tratta da: <http://physicsopenlab.org/2017/01/30/indice-ndvi/>











Conclusioni

Giunti alla conclusione di questo lavoro risulta doveroso trarre delle conclusioni che permettano di comprendere lo stato di avanzamento del progetto e i possibili sviluppi futuri che lo potranno migliorare.

Il lavoro fin qui svolto è un chiaro esempio di come ad oggi il designer non sia soltanto colui che si occupa dell'estetica di un prodotto, ma è anche la figura professionale che, grazie all'attuazione di una nuova metodologia progettuale, riesce a sviluppare prodotti e strategie in grado di favorire innovazione sociale, tecnologica ed economica. Infatti, la metodologia progettuale su cui si è basata l'intera dissertazione è quella del Design sistemico, che "progetta le relazioni tra i componenti che generano il sistema, valorizza l'identità e le risorse locali e produce sviluppo e benessere per il singolo e la collettività"⁵³

Durante la fase progettuale le persone facenti parte del sistema, ovvero i piccoli coltivatori, l'hobbista e il ricercatore, sono state paragonate a delle vere e proprie risorse locali da preservare e valorizzare assegnandogli un ruolo di maggior valore.

A tal proposito il progetto FLUOSS è stato concepito per arricchire le conoscenze dell'utente e renderlo consapevole dei vantaggi che derivano dalla conoscenza dello stato di salute delle piante, in modo da generare atteggiamenti sostenibili ed eco-compatibili.

Il progetto FLUOSS non rappresenta un semplice dispositivo, ma un nuovo modo di vedere il mondo vegetale, una possibilità in più per

53 <http://www.systemicdesign.org/systemic-design/design-sistemico>

potenziare l'interazione uomo-pianta e facilitarla.

FLUOSS è stato progettato per fornire informazioni all'utente in maniera visiva, veloce e intuitiva utilizzando un sistema per l'analisi attraverso immagini, è realizzato con l'ausilio di tecnologie per la prototipazione rapida e con l'utilizzo di strumenti open source che oggi risultano di facile accesso. Per la realizzazione del corpo è stata usata una stampante FDM molto diffusa sul mercato e facilmente reperibile ad un costo inferiore ai 250 euro. Per la parte elettronica è stato utilizzato un Raspberry Pi3 in accoppiamento con una Raspberry pi camera NOIR e un display touch screen da 5 pollici. Per l'alimentazione è stato utilizzato un powerbank. Di seguito viene proposto un elenco delle componenti con le diverse caratteristiche e il loro costo.

COMPONENTE	NUMERO	COSTO
Raspberry Pi 3	1	44 €
Pi camera NOIR	1	30 €
Display LCD 5"	1	36 €
Powerbank da 10000 mAh con uscita OUTPUT 5V-3A	1	20 €
Case	1	1,80 €
Cover display	1	0,30 €
Impugnatura	1	2,80 €
Base impugnatura	1	1,80 €
Cavo alimentazione con uscita 3A (1mt)	1	9,90 €
	TOTALE	146 €

Sviluppi futuri

FLUOSS, in questa prima versione, non è in grado di definire il fattore di stress che affligge la pianta, ma definisce lo stato di salute generale. Per questo motivo uno degli sviluppi futuri consisterà nel rendere possibile l'identificazione delle problematiche riscontrate in modo da permettere un intervento più preciso.

Occorrerà quindi svolgere dei test sul campo e realizzare un database in modo da collegare determinati valori di fluorescenza a determinati fattori di stress.

L'attuale script utilizzato per la conversione delle immagini e l'elaborazione dell'indice NDVI è un codice informatico con licenza open source realizzato da Robin Wilson (<https://github.com/robintw/RPiNDV>), in futuro si prevede di ottimizzare il codice per rendere il dispositivo ancora più preciso.

Il progetto FLUOSS potrà inoltre essere aggiornato dal punto di vista hardware per permettere utilizzarlo in abbinamento con altri dispositivi Agritech ovvero droni e rover, dando la possibilità all'utente di ampliare i campi di utilizzo del dispositivo.

“Il designer è qualcuno che quando si guarda intorno vede “mondi possibili” e li disegna tutte le volte che prende la matita in mano, anche se gli è stato chiesto di progettare soltanto un tostapane” ⁵⁴

⁵⁴ MANGANO 2008, p.11

Bibliografia

Bibliografia citata

ALEXANDRATOS - BRUINSMA 2012 = N. Alexandratos, J. Bruinsma, *WORLD AGRICULTURE TOWARDS 2030/2050: the 2012 Revision*, Global Perspective Studies Team, ESA Working Paper No. 12-03, Rome, FAO, June 2012.

BARBERO - TAMBORRINI 2012 = S. Barbero, P. M. Tamborrini, *Il fare ecologico. Il prodotto industriale e i suoi requisiti ambientali*, Milano, 2012.

BISTAGNINO 2008a = L. Bistagnino, *Design per un nuovo umanesimo*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 9-18.

BISTAGNINO 2008b = L. Bistagnino, *Innovare: in che modo?*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 32-39.

BISTAGNINO 2008c = L. Bistagnino, *Complessità virtuale, banalità reale*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 71-85.

BUSCHMANN - LICHTENTHALER 1998 = C. Buschmann, H. K. Lichtenthaler, *Principles and characteristics of multicolour fluorescence imaging of plants*, in *Journal Plant Physiology*, 152, 1998, pp. 297-314.

BUSSOTTI - KALAJI - DESOTGIU - POLLASTRINI - LOBODA - BOSA 2012 = F. Bussotti, M. H. Kalaji, R. Desotgiu, M. Pollastrini, T. Loboda, K. Bosa, *Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla*, Firenze, 2012.

CELASCHI 2008a = F. Celaschi, *Il design come mediatore tra saperi*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 19-31.

CELASCHI 2008b = F. Celaschi, *Design mediatore tra bisogni*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 40-52.

CHAERLE - VAN DER STRAETEN 2000 = L. Chaerle, D. Van Der Straeten, *Imaging techniques and the early detection of plant stress*, in *Trends in Plant Science*, 5.11, 2000, pp. 495-501.

CHAERLE - VAN DER STRAETEN 2001 = L. Chaerle, D. Van Der Straeten, *Seeing Is Believing: Imaging Techniques to Monitor Plant Health*, in *BBA - Gene Structure and Expression*, 1519, 3, 2001, pp. 153-166.

GERMAK - DE GIORGI 2008 = C. Germak, C. De Giorgi, *Design dell'esplorazione (Exploring Design)*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 53-70.

GERMAK 2008 = C. Germak, *Esterni urbani contemporanei*, in C. Germak, L. Bistagnino, F. Celaschi, *Uomo al centro del progetto. Design per un nuovo umanesimo*, Torino, 2008, pp. 86-109.

LAZZARA - SAGGIOMO - FANI - MANGONI - SANTARPIA 2010 = L. Lazzara, V. Saggiomo, F. Fani, O. Mangoni, I. Santarpia, *Parametri fotosintetici da fluorescenza variabile modulata (PAM)*, in G. Socal, I. Buttino, M. Cabrini, O. Mangoni, A. Penna, C. Totti, *Metodologie di campionamento e di studio del plancton marino*, Roma, 2010, pp. 345-351

LICHTENTHALER - BABANI 2000 = H. K. Lichtenthaler, F. Babani, *Detection of Photosynthetic Activity and Water Stress by Imaging the Red Chlorophyll Fluorescence*, in *Plant Physiology and Biochemistry*, 38, 11, 2000, pp. 889-895.

MANCUSO - VIOLA 2013 = S. Mancuso, A. Viola, *Verde brillante: sensibilità e intelligenza del mondo vegetale*, Firenze; Milano, 2013.

MANGANO 2008 = D. Mangano, *Semiotica E Design*, Roma, Carocci, 2008, p.11

MARTIRANO - GAGLIARDI - COSCARELLI 2007 = G. Martirano, V. Gagliardi, R. Coscarelli, *Tecniche di telerilevamento satellitare per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale, in il progetto ISPARIDE. Identificazione e stima dei parametri per la valutazione del rischio di desertificazione*, 2007, pp. 141-162.

MEADOWS - MEADOWS - RANDERS - BEHRENS 1972 = D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens III, *I limiti dello sviluppo. Rapporto del system dynamics group Massachusetts Institute of Technology (MIT) per il progetto del club di Roma sui dilemmi dell'umanità*, Milano, 1972.

SCORTICHINI 2017= M. Scortichini, FABLAB FUTURETRENDS. *Verso nuove ibridazioni imprenditoriali*, Magistrale di Design Computazionale, Corso di Design per l'innovazione, Ascoli Piceno, 2017, docente Prof.ssa Lucia Pietroni.

SELLO 2010 = S. Sello, *Analisi ossigrafica dell'emissione fotosintetica di ossigeno in piante superiori*, tesi di laurea, Università degli studi di Padova, corso di laurea in biologia, A.A. 2009-2010, relat. Prof.ssa N. Rascio.

TOSI - RINALDI - BRISCHETTO 2016 = F. Tosi, A. Rinaldi, A. Brischetto, *L'Ergonomia e Design: metodi di valutazione e strumenti di intervento*, in *Rivista italiana di ergonomia*, n.11/12 , Milano, 2016, pp. 35-49.

Altre fonti:

F. Babani, H. K. Lichtenthaler, *Light-induced and Age-dependent Development Of Chloroplasts in Etiolated Barley Leaves as Visualized by Determination of Photosynthetic Pigments, CO₂ Assimilation Rates and Different Kinds of Chlorophyll Fluorescence Ratios*, in *Journal of Plant Physiology*, 148, 5, 1996, pp. 555-566.

N. R. Baker, E. Rosenqvist, *Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities*, in *Journal of Experimental Botany*, 55, 2004, pp.1607-1621.

P. Bankhead, *Analyzing fluorescence microscopy images with ImageJ*, Queen's University Belfast, 2014.

H. Bates, A. Zavafer, M. Szabó, P. J. Ralph, *A guide to Open-JIP, a low-cost open-source chlorophyll fluorometer*, in *Photosynthesis Research*, 142, 2019, pp. 361–368.

N. S. Beisel, J. B. Callahan, N. J. Sng, D. J. Taylor, A.-L. Paul, R. J. Ferl, *Utilization of single-image normalized difference vegetation index (SI-NDVI) for early plant stress detection*, in *Applications in Plant Sciences*, 6, 10, e1186, 2018.

S. Bertuzzi, *La fluorescenza clorofilliana quale strumento di indagine nel campo del biomonitoraggio ambientale e del restauro dei monumenti*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Trieste, A.A. 2011-2012, relat. A. Pallavicini, M. Tretiach.

M. Borek, R. Baczek-Kwinta, M. Rapacz, *Chlorophyll fluorescence imaging of cadmium-treated white cabbage plants*, in *E3S Web of Conferences*, 1, 39004, 2013.

M. Borek, R. Baczek-Kwinta, M. Rapacz, *Photosynthetic activity of variegated leaves of Coleus x hybridus hort. cultivars characterised by chlorophyll fluorescence techniques*, in *Photosynthetica*, 54, 2016, pp. 331-339.

M. A. Chagas, L.L. Prieto-Godino, A.B. Arrenberg, T. Baden, *The €100 lab: A 3D-printable open-source platform for fluorescence microscopy, optogenetics, and accurate temperature control during behaviour of zebrafish, Drosophila, and Caenorhabditis elegans*, in *PLOS Biology*, 15 (7) e2002702, 2017, pp. 1-21.

A. Dan & L.C. Bazavan, B. Florina-Luminita, R. Horatiu, B. Nicu, *Agriculture autonomous monitoring and decisional mechatronic system*, 2018, pp. 241-246.

A. J. Das, A. Wahi, I. Kothari, R. Raskar, *Ultra-portable, Wireless Smartphone Spectrometer for Rapid, Non-destructive Testing of Fruit Ripeness*, in *Scientific Reports*, 6.1, 2016, pp. 1-8.

E. Gottardini, F. Cristofolini, A. Cristofori, M. Pollastrini, M. Ferretti, *Misura della fluorescenza della clorofilla a, contenuto di clorofilla e tratti fogliari: campionamento, raccolta e misurazioni. Guida per studi in campo*, Documento del progetto *LIFE FutureForCoppiceS*, Azione B.2, 2016.

C. Gull, M. T. Minkov, E. G. Pereira, J. A. M. Nacif, *A Low-Cost Chlorophyll Fluorescence Sensor System*, in *VI Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, 2016, pp. 186-191.

S. Konanz, L. Kocsányi, C. Buschmann, *Advanced Multi-Color Fluorescence Imaging System for Detection of Biotic and Abiotic Stresses in Leaves, in Agriculture*, 4, 2014, pp. 79-95.

T. C. Kuo, T. J. Ding, J. H. Lin, S. H. Ma, *Optical Design of an LED Lighting Source for Fluorescence Microscopes, in Applied Sciences*, 9, 21, 4574, 2019.

H. K. Lichtenthaler, C. Buschmann, M. Knapp, *How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFD of leaves with the PAM fluorometer, in Photosynthetica*, 43, 2005, pp. 379–393.

H.K. Lichtenthaler, G. Langsdorf, S. Lenk, C. Buschmann, *Chlorophyll fluorescence imaging of photosynthetic activity with the flash-lamp fluorescence imaging system, in Photosynthetica*, 43, 3, 2005, pp. 355-369.

H. K Lichtenthaler, J. A. Miehe, *Fluorescence Imaging as a Diagnostic Tool for Plant Stress, in Trends in Plant Science*, 2.8, 1997, pp. 316-320.

H. Lichtenthaler, M. Lang, M. Sowinska, F. Heisel, J.A. Miehe, *Detection of vegetation stress via a new high resolution fluorescence imaging system, in Journal of Plant Physiology*, 148.5, 1996, pp. 599-612.

S. Lenk, L. Chaerle, E. E. Pfuëndel, G. Langsdorf, D. Hagenbeek, H. K. Lichtenthaler, D. Van Der Straeten, C. Buschmann, *Multispectral fluorescence and reflectance imaging at the leaf level and its possible applications, in Journal of Experimental Botany*, V. 58, Issue 4, 2007, pp. 807–814.

M.R. Lien, R.J. Barker, Z.Ye, et al. *A low-cost and open-source platform for automated imaging, in Plant Methods*, 15, 6, 2019.

G. Mauro, *Metodologie gis e remote sensing per l'analisi quali-quantitativa della vegetazione con l'utilizzo di immagini satellitari e fonti cartografiche non omogenee*, tesi di dottorato, Università degli studi di Trieste, 2003, relat. A. Favretto.

I. Nuñez, T. Matute, R.Herrera, J. Keymer, T. Marzullo, T. Rudge, F. Federici, *Low Cost and Open Source Multi-fluorescence Imaging System for Teaching and Research in Biology and Bioengineering*, in *PLoS ONE*, 12.11, 2017, pp. 1-21.

A. M. Peñalver, M. J. Reigosa, A. M. Sánchez-Moreiras, *Imaging Chlorophyll a Fluorescence Reveals Specific Spatial Distributions under Different Stress Conditions*, in *Flora*, 206.9, 2011, pp. 836-44.

R. Rose, D. Haase, *Chlorophyll fluorescence and variations in tissue cold hardiness in response to freezing stress in Douglas-fir seedlings*, in *New Forests* 23, 2002, pp. 81-96.

A. Sofo, *Analisi degli indici di fluorescenza e della fotoinibizione in due varietà di olivo sottoposte a diversi livelli di deficit idrico e luminoso*, tesi di laurea, Università degli Studi della Basilicata, A.A. 2006-2007, relat. B. Dichio

G. Sylvain, V. Kianzad, R. Ciocan, H. Soo Choi, C. Nelson, J. Thumm, R. J. Filkins, S. J. Lomnes, J. V Frangioni, et al, *A Low-cost Linear DC - 35 MHz High-power LED Driver for Continuous Wave (CW) and Fluorescence Lifetime Imaging (FLIM)*, in *Proceedings of SPIE*, 6848.1, 2008, San Jose, California, United States, pp. 684807-84807-8.

C. L. Tarver, M. Pusey, *A Low-cost Method for Visible Fluorescence Imaging*, in *Acta Crystallographica*, Section F, 73.12, 2017, pp. 657-63.

F. Valpreda, *Open design networking*, in L. Bistagnino, *Design sistemico. Progettare la sostenibilità produttiva e ambientale*, Seconda edizione, 2011.

Sitografia:

A. Giusti, <http://physicsopenlab.org/2017/01/30/indice-ndvi/>, 2017

A. L'Astorina, I. Tomasoni e A. Crema, <https://www.enterisi.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=17298&idArea=21981&idCat=21988&ID=21988&TipoElemento=categoria>, 2014

<http://www.fao.org/news/story/it/item/1253599/icode/>

<http://www.fao.org/news/story/it/item/35779/icode/>

https://www.arpae.it/dettaglio_generale.asp?id=2093&idlivello=1867

<https://www.enterisi.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=17298&idArea=21981&idCat=21988&ID=21988&TipoElemento=categoria>

<https://www.fablab.io/labs>

https://www.imageconsult.it/pagina.phtml?_id_articolo=98

P. Burgess, <https://learn.adafruit.com/diy-wifi-raspberry-pi-touch-cam>, 2018

<http://www.systemicdesign.org/systemic-design/design-sistemico>

Ringraziamenti

Arrivati alla fine di questo percorso vorrei spendere delle parole di ringraziamento nei confronti di tutte le persone che mi hanno sostenuto e aiutato durante questo periodo.

Un ringraziamento particolare va ai miei relatori, il professor Fabrizio Valpreda e il PhD Marco Cataffo per i loro preziosi consigli che mi hanno permesso di intraprendere la strada giusta e portare a compimento la mia tesi.

Vorrei inoltre ringraziare Daniel Klein, presidente della Società Felsinea di Orchidofilia, per avermi aiutato nella diffusione del questionario permettendomi di ottenere dati molto utili per il progetto.

Ringrazio il personale dell'orto botanico di Torino per i preziosi consigli e la grande disponibilità.

Ringrazio Giuseppe per i consigli e il supporto riguardo al codice informatico.

Ringrazio Irene, la persona a me più cara, per il supporto e l'amore che mi hanno permesso di portare a termine questo lavoro nel migliore dei modi.

Infine, un immenso grazie va ai miei genitori che per me sono da sempre un punto di riferimento e un esempio da seguire. Li ringrazio per avermi supportato sia moralmente che economicamente durante tutto il mio percorso universitario.

Spero che questo lavoro possa renderli orgogliosi.

