



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico  
A.A. 2019/2020  
Tesi di Laurea Magistrale

# ACCROCCCHIO

Accessibilità e scalabilità di pratiche  
agroecologiche alla micro scala.

Candidati

Alessio Rum

Tommaso Scarpa

Relatore

Prof Fabrizio Valpreda

Correlatore

PhD. Marco Cataffo

In collaborazione con

Centro Interdipartimentale

per la robotica di Servizio del

Politecnico di Torino (PIC4SeR)



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Politecnico di Torino  
Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico  
A.A. 2019/2020  
Tesi di Laurea Magistrale

Candidati Alessio Rum, Tommaso Scarpa  
Relatore Prof Fabrizio Valpreda  
Correlatore PhD. Marco Cataffo

In collaborazione con Centro Interdipartimentale per la robotica  
di Servizio del Politecnico di Torino (PIC4SeR)

Titolo della tesi

*Accrocchio:  
accessibilità e scalabilità di pratiche agroecologiche alla micro-scala.*

Abstract

*Il progetto, realizzato nell'ambito delle attività del Centro Interdipartimentale per la robotica di Servizio del Politecnico di Torino (PIC4SeR), si inserisce nel settore della robotica in ambito agricolo, dove si vogliono individuare attraverso un approccio interdisciplinare, tecnologie, considerazioni e prospettive al fine di proporre una nuova configurazione dei sistemi di coltivazione partendo da pratiche bottom-up. In particolare si propone il concept di un sistema cyber-fisico, basato su filosofia Open Source, e su tecnologie IoT, la cui missione è abilitare gli utenti ai processi decisionali nel contesto individuato, evolvendo, acquisendo e distribuendo conoscenze. Si è quindi documentata la realizzazione di due prototipi funzionali in qualità di modelli di studio e precursori per lo sviluppo futuro del progetto; uno permette il monitoraggio ambientale e l'altro è destinato al controllo di un sistema di coltivazione su micro-scala. Inoltre si propone un framework della piattaforma collaborativa necessaria per gli scopi sopra indicati.*

# Sommario

<b>0 Introduzione</b>	<b>10</b>		
<b>1 Premesse</b>	<b>14</b>		
1.1 Paradigmi sociali	15		
1.2 Sistemi complessi	19		
1.3 Sistemi agricoli come sistemi socio-ecologici	24		
<b>2 Regno delle piante</b>	<b>28</b>		
2.1 Le origini delle piante	29		
2.2 "Vegetale"	30		
2.3 Addomesticazione	33		
2.4 Servizi ecosistemici delle piante	35		
2.5 Benefici dell'interazione uomo - pianta	36		
<b>3 Contestualizzazione dei sistemi agricoli</b>	<b>38</b>		
3.1 Agricoltura industriale	45		
3.2 Agroecologia	49		
3.2.1 Resilienza	53		
3.2.2 Biodiversità	54		
3.2.3 Sinergia	55		
3.3 Agricoltura 4.0 & 5.0	58		
3.4 Agricoltura urbana	61		
3.5 Agricoltura in ambiente controllato	64		
3.5.1 Idroponica e aeroponica	65		
3.5.2 Acquaponica	67		
3.6 Microfarms	72		
<b>4 Transizione</b>	<b>74</b>		
4.1 Elettronica accessibile	75		
4.1.1 Open Source	76		
4.1.2 Arduino & Arduino compatibili	77		
4.1.3 Raspberry Pi	80		
4.1.4 Sensoristica	81		
4.1.5 Attuatori	82		
4.2 Commons collaborativo	83		
		4.3 Community	83
		4.4 Prosumer	84
		4.5 IoT - Internet delle Cose	84
		4.6 Verso un'agroecologia spontanea	86
		<b>5 Monitoraggio ambientale dei sistemi di coltivazione</b>	<b>88</b>
		5.1 Scala della conoscenza	89
		5.2 Sviluppo e crescita vegetale	90
		5.2.1 Fenofasi	91
		5.2.2 Fattori endogeni di sviluppo vegetale	93
		5.2.3 Fattori esogeni di sviluppo vegetale	93
		5.2.4 Fattori esogeni di crescita vegetale	102
		5.3 Sensori virtuali	105
		5.4 Monitoraggio nei sistemi idroponici e aeroponici	105
		5.5 Monitoraggio nei sistemi acquaponici	106
		<b>6 Controllo del sistema</b>	<b>108</b>
		6.1 Controllo automatico	109
		6.2 Controllo dei fattori ambientali	110
		6.2.1 Irrigazione	110
		6.2.2 Illuminazione	111
		6.2.3 Regolazione della temperatura	112
		6.2.4 Ventilazione	114
		<b>7 Scenario</b>	<b>116</b>
		7.1 Vision	117
		7.1.1 Ambito progettuale	117
		7.1.2 Auto-riproducibilità	120
		7.1.3 Adattabilità, espansione e integrazione	120
		7.1.4 Community di sviluppo e crescita	121
		7.1.5 Apprendimento	122
		7.2 Indagini sociologiche	123
		7.2.1 Indagine interazione uomo-pianta A	123
		7.2.2 Indagine interazione uomo-pianta B	124
		7.3 Casi studio	130
		7.3.1 Apps	146

7.3.2 Considerazioni sui casi studio	146
7.4 Concept	147
7.5 Linee guida	149
<b>8 Progettazione</b>	<b>150</b>
8.1 Mappatura dei flussi dei sistemi di coltivazione su micro-scala	151
8.1.1 Coltivazione su suolo	152
8.1.2 Idroponica	156
8.1.3 Aeroponica	160
8.1.4 Acquaponica	164
8.2 Stato dell'arte dei sensori compatibili Open Source	168
8.3 A - Accrocchio	170
8.3.1 Identificazione dei moduli	170
8.3.2 Tecnologie abilitanti	174
8.3.3 Modulo Ambiente	184
8.3.4 Modulo Irrigazione	220
8.3.5 Back-end	250
8.3.6 Front-end	266
8.3.7 Brand Identity	272
8.4 B - Piattaforma	276
8.4.1 Use Case	278
8.4.2 Use Journey	286
8.4.3 Esempi di mappature di sistemi di coltivazione	348
8.5 Successione degli sviluppi	354
8.5.1 Sviluppi hardware	354
8.5.2 Sviluppi back-end matematico	356
8.5.3 Sviluppi del back-end informatico	360
<b>9 Conclusioni</b>	<b>364</b>
9.1 Adesione alle linee guida	366
9.2 Outcomes	370
9.3 Ricadute	370
<b>10 Fonti</b>	<b>374</b>
10.1 Consulenti	375
10.2 Bibliografia	375
10.3 Sitografia	385

# 0 Introduzione

Il tema che ha definito il nostro percorso progettuale si inserisce nel settore della robotica in ambito agricolo; è un ambito guidato da numerosi fattori di tipo sociale, economico, culturale e ambientale, perciò è stato necessario approcciarsi ad esso attraverso uno sguardo olistico e interdisciplinare. Con il seguente elaborato ci si prefigge di far interagire diversi ambiti e discipline, tecnologie, considerazioni e prospettive, con il fine di definire un sistema d'uso che possa abilitare una nuova configurazione delle relazioni del sistema: una nuova infrastruttura, quindi, per trasformare la pratica in modo che essa possa rispondere a esigenze che affrontate puntualmente sono in conflitto, come per esempio la tensione tra produzione e sostenibilità.

Il ruolo del designer sistemico a tal proposito è necessario: "i designer sono i custodi di una visione"<sup>1</sup> che, includendo nella progettazione framework psicologici, stato dell'arte tecnologica e leggi naturali, sono in grado di tradurre in istruzioni esplicite per l'azione. L'ambientalista e filosofo David Orr sostiene che l'ecodesign "è l'accurata mescolanza degli intenti umani con i più ampi pattern e flussi del mondo naturale, e lo studio di tali pattern e flussi per orientare l'azione umana"<sup>2</sup>. Il nostro scopo è quindi creare un ponte tra lo status quo e una riconfigurazione del sistema: sfruttare affordances<sup>3</sup> che permettano l'individuo e la società di coevolvere con gli ecosistemi su varie scale.

Parliamo quindi di distribuire uno strumento grazie al quale si possano avere dei benefici immediati e che permetta allo stesso tempo una transizione del paradigma culturale e quindi ad una riorganizzazione del sistema più in linea con i principi ecologici.

Emerge da queste considerazioni il concetto di transizione; transizione da un sistema ad un altro, da un paradigma ad un altro; il cui sistema di valori possa portare ad: "una visione costruttiva e rigenerativa del futuro"<sup>4</sup>.

---

1] Paola Antonelli. (2020, March 24). Il ruolo del design in tempi d'ansia e cambiamento - Domus. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.domusweb.it/it/design/2020/03/23/il-ruolo-del-design-in-tempi-dansia-e-cambiamento.html>

2] Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). The Systems View of Life. In *The Systems View of Life*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895555>

3] In questa tesi si utilizza il termine "*affordance*" nell'accezione di James J. Gibson, contrapposta quindi a quella di Donald Arthur Norman, il quale fa riferimento più all'usabilità. Secondo Gibson, "le *affordance* dell'ambiente sono ciò che offre all'animale, ciò che provvede o fornisce, nel bene o nel male. Il verbo *to afford* ("permettere", in italiano) si trova nel dizionario, il sostantivo no. L'ho inventato io. Con ciò intendo qualcosa che si riferisce sia all'ambiente che all'animale in un modo che nessun termine esistente fa. Implica la complementarità tra animale e ambiente".

4] Paola Antonelli. (2020, March 24). Il ruolo del design in tempi d'ansia e cambiamento - Domus. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.domusweb.it/it/design/2020/03/23/il-ruolo-del-design-in-tempi-dansia-e-cambiamento.html>

Ecco quindi che sarebbe arrogante da parte nostra pretendere di risolvere problemi quali la produzione di cibo in grado di sostenere un numero crescente di persone, il come produrre cibo non impattando sull'ambiente, ecc... con un approccio top-down; considerando il fatto che questi esempi di "problemi" implicano domande anche etiche e un grado di complessità che va ben oltre le nostre capacità.

Attraverso questo elaborato di tesi di ricerca, piuttosto, abbiamo cercato non di risolvere problemi (applicando quindi la metodologia del problem solving), ma di abilitare opportunità permettendo al sistema preso in considerazione di autoregolarsi per il bene collettivo.

Il proverbio popolare cinese "dai un pesce a un uomo e lo nutrirai per un giorno. Insegnagli a pescare e lo nutrirai per tutta la vita." vogliamo che diventi "dai un pesce a un uomo e lo nutrirai per un giorno. Insegna gli uomini ad insegnare a pescare e li nutrirai per sempre."

# 1 Premesse

In questo capitolo si cerca di stabilire, a partire da un approccio interdisciplinare, un quadro di riferimento atto a comprendere le basi teoriche del progetto che si vuole realizzare.

## 1.1 Paradigmi sociali

Nella prima metà del XX sec. le teorie ed i modelli scientifici venivano continuamente perfezionati e sostituiti da versioni sempre più precise. Thomas Kuhn, fisico e filosofo, nella seconda metà del '900 mise radicalmente in dubbio questa visione di un continuo progresso scientifico: lunghi periodi di "scienza normale" in cui ogni scoperta aggiungeva "un tassello" alla conoscenza, ogni talvolta vengono interrotti da altri periodi di "scienza rivoluzionaria", in cui tutta la visione della realtà è sottoposta a un cambiamento radicale<sup>1</sup>.

I mutamenti di paradigma si verificano attraverso delle rotture discontinue e rivoluzionarie chiamate cambiamenti paradigmatici. La definizione di paradigma di Kuhn include non solo concetti e tecniche ma anche valori. I fatti scientifici emergono infatti da una vera e propria costellazione di percezioni, azioni e valori umani.

Molte caratteristiche dei cambiamenti paradigmatici possono essere osservate anche nei contesti sociali. Fritjof Capra (1996) ha esteso questa definizione a quella di paradigma sociale: "un costellazione di concetti, valori, percezioni e comportamenti condivisi da una comunità, che dà forma ad una visione particolare della realtà come base del mondo in cui la comunità si organizza."<sup>2</sup>

Un paradigma sociale è quindi un modello della realtà condivisa, costituito da un insieme di valori, opinioni, costumi, percezioni, comportamenti e norme che formano la struttura di riferimento di una società, orientandone i comportamenti.

Una volta che un paradigma viene accettato, diventa molto difficile metterlo in questione<sup>3</sup>; ciò implica una resistenza al cambiamento, quindi il perdurare di stati indesiderati.

Un fattore importante da considerare, correlato ai paradigmi, è il rapporto

---

1| Kuhn, T. S., & Hawkins, D. (1963). The Structure of Scientific Revolutions. American Journal of Physics. <https://doi.org/10.1119/1.1969660>

2| Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). The Systems View of Life. In The Systems View of Life. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895555>

3| Jeremy Rifkin. (2014). La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo.

tra uomo e ambiente, in particolare come la società considera se stessa in rapporto alla Natura.

Secondo l'etnoantropologo Vittorio Lanternari possiamo individuare nella storia svariati paradigmi culturali correlati al rapporto tra uomo e ambiente naturale. In particolare ne evidenzia cinque<sup>4</sup>:

- Ierocentrismo (dal greco hieros, "sacro"): natura contiene il sacro e il divino;
- Teocentrismo: mondo come un dono di Dio per l'uomo;
- Antropocentrismo: la terra è una risorsa dell'uomo;
- Biocentrismo: l'ambiente naturale è l'habitat di tutta la Vita;
- Ecocentrismo: Vita e Natura si con-fondono; porre al centro dell'interpretazione del reale la naturale relazione tra la vita e l'ambiente<sup>5</sup>.

Premettendo che questi paradigmi non sono assoluti di una cultura o epoca, e che quindi possono coesistere più paradigmi individuali e sociali in una società, identifichiamo la civiltà occidentale contemporanea come essenzialmente antropocentrica<sup>6</sup>: questo dominante sistema di valori caratterizzato da un tipo di visione meccanicista del mondo, trae le proprie origini con la diffusione del pensiero di Descartes, Bacon, Locke, e con il completamento della Rivoluzione Scientifica nella seconda metà del XVII secolo a opera di Newton<sup>7</sup>, e successivamente consolidato con la corrente dell'Illuminismo e con la Teoria Economica che si affermò nella sua classica formulazione durante la Rivoluzione Industriale<sup>8</sup>.

L'antropocentrismo consiste essenzialmente in una visione di relazione privilegiata dell'uomo rispetto gli oggetti del mondo, contribuendo ad un inasprimento della scissione ontologica nel campo dell'esistenza tra l'umano e il non umano<sup>9</sup>.

Valori quali superiorità, competizione, utilitarismo, dominio giustificano il "culto" per la crescita e per il progresso ad ogni costo, portando all'adozione

4] Andreozzi, M. (2011). Verso una prospettiva ecocentrica. *Ecologia profonda e pensiero a rete* (LED Edizioni Universitarie, Ed.). Retrieved from <https://www.ledonline.it/laboratorioteorico/allegati/482-ecologia-profonda-pensiero-rete.pdf>

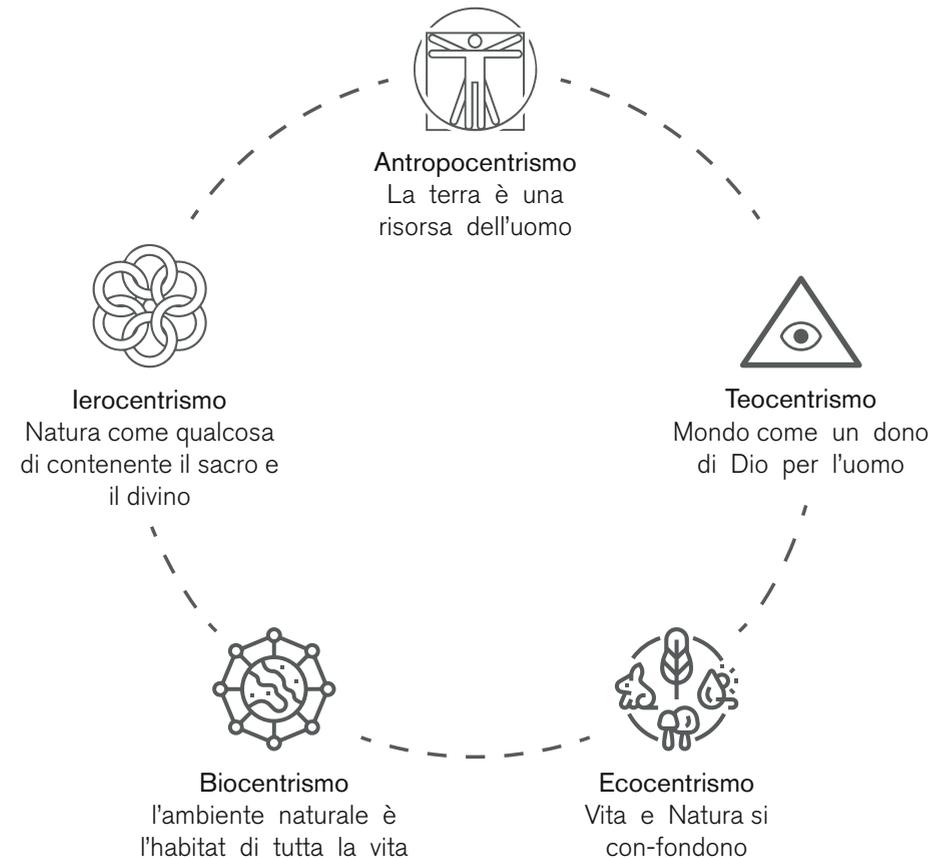
5] Ibidem

6] Ibidem

7] Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). The Systems View of Life. In *The Systems View of Life*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895555>

8] Ibidem

9] Andreozzi, M. (2011). Verso una prospettiva ecocentrica. *Ecologia profonda e pensiero a rete* (LED Edizioni Universitarie, Ed.). Retrieved from <https://www.ledonline.it/laboratorioteorico/allegati/482-ecologia-profonda-pensiero-rete.pdf>



di modelli socio-economici incuranti delle leggi naturali e dello squilibrio provocato agli ecosistemi.

Infatti Gregory Bateson, cibernetico, antropologo, sociologo e psicologo britannico, considerato uno dei fondatori del pensiero sistemico, scrive che, a partire dalla Rivoluzione Industriale, l'evoluzione è stata concepita in Occidente come "la storia di come gli organismi apprendevano stratagemmi sempre più numerosi per controllare l'ambiente, e gli stratagemmi dell'uomo erano migliori di quelli di qualsiasi altra creatura<sup>10</sup>".

Mentre Jeremy Rifkin, economista, sociologo, attivista e saggista statunitense, asserisce che "nella Teoria Economica classica e neoclassica le di-

10] Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind* [trad. it. *Verso un'ecologia della mente*, Adelphi, Milano, 2007 (XXIV° ed.)]. In *Chandler publications for health sciences*.

namiche che regolano la biosfera del pianeta terra sono mere esternalità, piccoli fattori regolabili privi di grande impatto sul funzionamento del sistema capitalistico nel suo complesso. La teoria economica convenzionale non è in grado di riconoscere che ogni attività economica è governata dalle leggi della termodinamica.<sup>11</sup>

Le conseguenze di tale paradigma, tra cui il modello di urbanizzazione a cui si è assistito finora e l'agricoltura industriale (temi che verranno approfonditi in seguito), hanno portato a squilibri negli ecosistemi e nelle relazioni tra uomo e natura.

Possiamo, quindi, suddividere il fenomeno dello squilibrio, denominato frattura metabolica, in tre tipi di fratture (o spaccature) che operano su più scale<sup>12</sup>:

- Frattura ecologica: la trasformazione materiale dell'ambiente biofisico ai soli fini della riproduzione sociale che porta ad uno spostamento fuori dall'equilibrio dinamico dei sistemi ecologici (come la mancata chiusura del ciclo dei nutrienti);
- Frattura sociale, derivante dalla mercificazione della terra, del lavoro e del cibo a varie scale;
- Frattura individuale: si può definire come una dimensione interiorizzata della spaccatura metabolica: l'alienazione individuale dalla natura e dai prodotti del nostro lavoro.



Frattura ecologica



Frattura sociale



Frattura individuale

11| Jeremy Rifkin. (2014). La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo.

12| McClintock, N. (2010). Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(2), 191–207. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsq005>

## 1.2 Sistemi complessi

Per comprendere lo stato dell'arte della nostra epoca e per progettare in modo critico, poiché i problemi riguardanti energia, ambiente, cambiamento climatico, sicurezza alimentare e finanziaria sono fenomeni interconnessi e interdipendenti, è necessario avvalersi di uno sguardo sistemico.

La Teoria Generale dei Sistemi, di cui Ludwig von Bertalanffy è stato uno dei fondatori, è un ambito interdisciplinare che si occupa dello studio dei sistemi; essa ha reso possibile unificare aspetti delle teorie non riduzioniste che vari ambiti di ricerca come le scienze sociali, quelle ambientali e l'ingegneria, avevano proposto, organizzando i punti in comune in isomorfismi formali<sup>13</sup>: “sussistono certi aspetti per cui è possibile applicare a fenomeni diversi gli stessi modelli concettuali”<sup>14</sup>.

Si definì un sistema come “un complesso di elementi interconnessi tra loro, organizzato con coerenza al fine di perseguire qualcosa”<sup>15</sup>; “un insieme di oggetti e di relazioni tra gli oggetti e tra i loro attributi”<sup>16</sup>, in cui gli oggetti sono componenti o parti del sistema, gli attributi sono le proprietà degli oggetti, e le relazioni sono interconnessioni tra gli oggetti che “tengono unito il sistema”. Queste ultime possono essere flussi fisici di materia o energia o flussi informativi; segnali che portano a momenti decisionali<sup>17</sup>.

L'auto-organizzazione è un processo tale per cui quando un sistema complesso cresce, non diventa soltanto più grande, ma anche più complesso, e questa complessità deriva dalla crescente specializzazione e connessione nel tempo delle parti del sistema in modo che ogni parte, facendo ciò che permette di sostenersi, crea le condizioni che sostengono l'intero sistema. Come risultato questo sistema auto-organizzato cresce aumentando resilienza, stabilità ed efficienza<sup>18</sup>.

Le proprietà emergenti sorgono quando si raggiunge un certo livello di

13| Watzlawick, Paul, J. H. Beavin, D. D. J. (1978). *Pragmatica della comunicazione umana. Studio dei modelli interattivi, delle patologie e dei paradossi* (trad. M. Ferretti) (Astrolabio, Ed.). Roma.

14| Lopreato, J., & von Bertalanffy, L. (1970). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. *American Sociological Review*. <https://doi.org/10.2307/2093003>

15| Meadows, D. H. (2019). *Pensare per sistemi. Interpretare il presente, orientare il futuro verso uno sviluppo sostenibile* (Guerini Next, Ed.). Milano.

16| Hall, A. D., & Fagen, R. E. (2017). *Definition of system*. In *Systems Research for Behavioral Science: A Sourcebook*.

17| Meadows, D. H. (2019). *Pensare per sistemi. Interpretare il presente, orientare il futuro verso uno sviluppo sostenibile* (Guerini Next, Ed.). Milano.

18| *Simply Complex Systems | Tom Wessels | TEDxWindham - YouTube*. (n.d.). Retrieved July 6, 2020, from [https://www.youtube.com/watch?v=Vr\\_4VHQFbr0&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=Vr_4VHQFbr0&feature=youtu.be)

complessità riunendo componenti di complessità inferiori: sono le proprietà di un sistema che non sono proprie di una o più parti costituenti del sistema stesso; bensì emergono da specifiche relazioni e interazioni tra le parti<sup>19</sup>.

Possiamo ammirare un esempio di tali proprietà nel comportamento di uno stormo. Due regole sono alla base di esso: ogni individuo deve ridurre la distanza dall'altro qualora fosse troppo lontano e aumentarla qualora fosse troppo vicino. La complessa rete di connessioni locali basate su queste regole comporta l'emergere a livello macroscopico della forma dinamica degli stormi; tanto ordinata quanto non prevedibile, caotica.



Photo by Rhys Kentish on Unsplash

19| Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). The Systems View of Life. In *The Systems View of Life*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895555>

Al fine di comprendere le dinamiche nel tempo dei sistemi complessi sono stati sviluppati due modelli: il primo, denominato "lazy eight" per la sua forma "ad infinito", spiega le dinamiche di adattamento di questi sistemi in relazione all'ambiente; il secondo, "panarchia", fa capire come nessun sistema possa essere compreso riferimento ad un'unica scala.

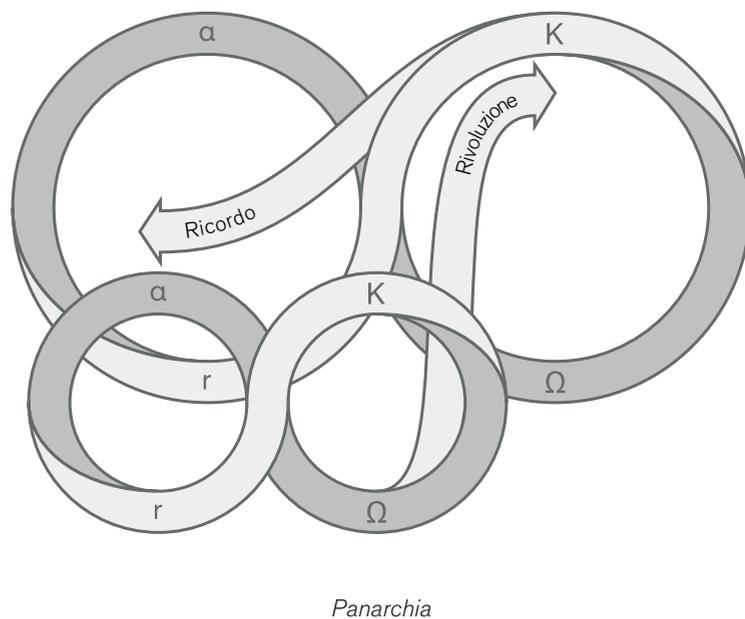
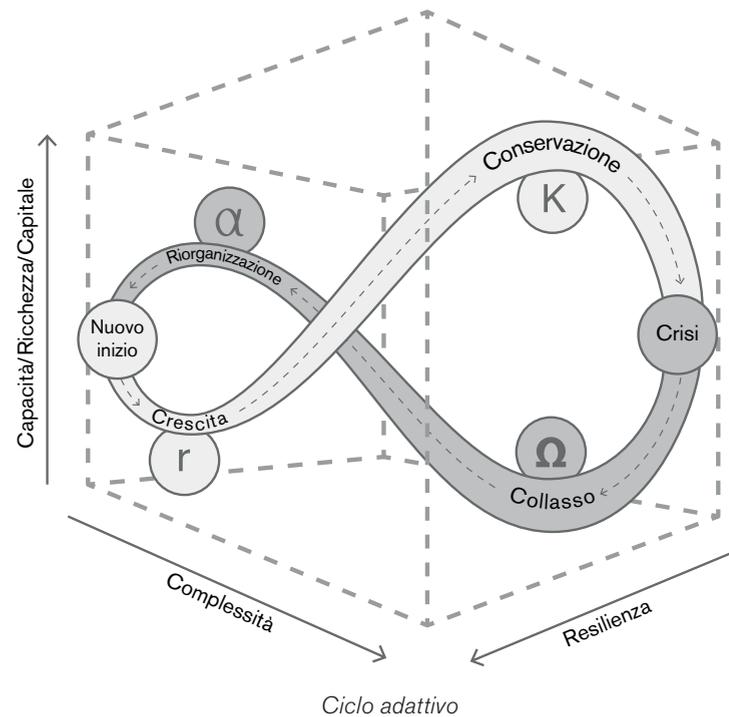
È importante quindi definire il termine ambiente: "L'ambiente di un dato sistema è costituito dall'insieme di tutti gli oggetti tali per cui un cambiamento nei loro attributi influenza il sistema e anche di questi oggetti i cui attributi sono cambiati dal comportamento del sistema"<sup>20</sup>. È chiaro che nei sistemi aperti, essendo tutto interconnesso da feedback più o meno forti o lontani, la suddivisione tra ambiente e sistema, e quindi l'individuazione e categorizzazione / differenziazione di un sistema rispetto ciò che non appartiene al sistema di riferimento è del tutto arbitrario: dipende dal punto di vista dall'osservatore; nel caso degli esseri umani, perciò, dal bias e dal paradigma.

Il ciclo adattivo ("lazy eight") è un modello euristico che spiega i pattern strutturali di evoluzione dei suddetti sistemi; consiste in quattro fasi:

- "Crescita o sfruttamento" (r): fase di espansione, potenzialità e incremento di complessità; dominata da feedback positivi e auto-organizzazione.
- "Conservazione" (K) di modelli consolidati e distribuzione delle risorse. Questa fase è caratterizzata da un alto livello di complessità e connessioni nelle parti del sistema. Il regime è ottimale e presenta una forte stabilità (equilibrio dinamico). Ciò, però, implica un continuo incremento di rigidità di connessioni e una diminuzione di diversità di agenti, che rende il sistema fragile e inflessibile, quindi sempre più incapace di adattarsi efficacemente a perturbazioni esterne.
- "Collasso o release" (Ω): fase di crisi dovuta a disturbi esterni. La scomposizione del vecchio ordine avvicina il sistema al "limite del caos", il quale deve cercare di mantenere le funzioni vitali per evitare il breakdown.
- "Riorganizzazione" (α): fase in cui il sistema si riprende. È un periodo creativo in cui il sistema ha numerose possibilità da percorrere per riorganizzarsi, riconnettendo e aggiungendo elementi al fine di ritrovare una nuova stabilità. Esso può tornare al regime precedente, cambiare regime oppure trasformarsi in un nuovo regime<sup>21</sup>.

20| Hall, A. D., & Fagen, R. E. (2017). Definition of system. In *Systems Research for Behavioral Science: A Sourcebook*.

21| Adaptive Cycle - YouTube. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=jkp5tNGPl6M&feature=youtu.be>



Le interazioni su più scale sono fondamentali nel comprendere le dinamiche dei sistemi complessi adattivi. Il modello in figura viene definito “panarchia”. Esso rappresenta l’insieme interagente di scale strutturate gerarchicamente<sup>22</sup> e ha l’obiettivo di razionalizzare l’interazione tra cambiamento e persistenza.

La struttura della panarchia collega i cicli adattivi in una gerarchia nidificata attraverso principalmente due connessioni (bensì possano essercene di più, potenzialmente): rivoluzione e ricordo.

I livelli più piccoli – “esploratori” – essendo più veloci, inventano, sperimentano e testano per rispondere alle opportunità e ai cambiamenti, mentre i livelli più grandi e lenti – “guardiani” – stabilizzano e conservano la memoria accumulata delle dinamiche del sistema, stabilendo le condizioni che rendono possibili le innovazioni evolutive dei primi.

Conseguentemente al perpetuo comportamento di distruzione e riorganizzazione espresso dal modello del ciclo adattivo, la struttura e i processi del sistema in toto possono essere riorganizzati<sup>23</sup>.

La panarchia suggerisce quindi che l’innovazione e la sperimentazione al fine di trovare soluzioni che portano ad una transizione verso l’abbondanza e rigenerazione sono più praticabili su piccola scala, e successivamente possono diffondersi grazie alla collaborazione con i sistemi di scala maggiore: ciò richiede, dunque, l’emergenza di pratiche non solo top-down, ma soprattutto bottom-up<sup>24</sup>.

È importante comprendere le dinamiche evolutive di questi sistemi per imparare a lavorare con piuttosto che combattere contro questi cicli.

22| Resilience Alliance - Panarchy. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.resalliance.org/panarchy>

23| ibidem

24| Panarchy: a scale-linking perspective of systemic transformation. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://medium.com/age-of-awareness/panarchy-a-scale-linking-perspective-of-systemic-transformation-a836c8b3e2e6>

## 1.3 Sistemi agricoli come sistemi socio-ecologici

I sistemi socio-ecologici sono sistemi complessi adattivi nei quali vengono considerate le interrelazioni che esistono tra l'ambiente (la sfera ecologico-ambientale) e le attività antropiche (la sfera socio-economica<sup>25</sup>): i processi biogeofisici e socioculturali sono integrati.

Il concetto chiave è che l'uomo dipende dagli ecosistemi per la sua sopravvivenza e, reciprocamente, ha un impatto continuo sugli ecosistemi sia su scala locale che globale<sup>26</sup>.

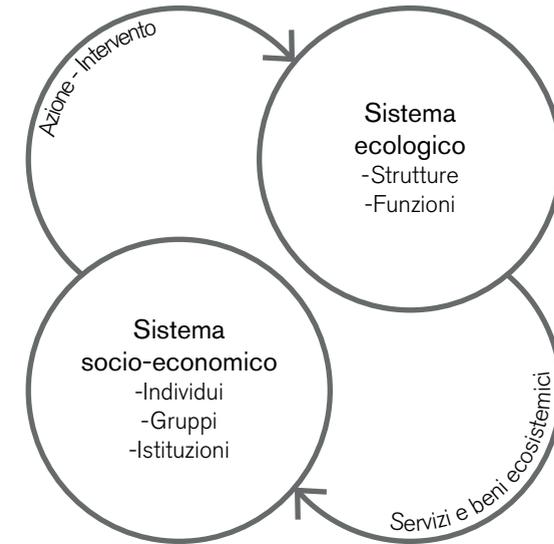
In tal senso, l'agricoltura sia su larga scala, che su media e piccola scala (luoghi di produzione alimentare come aziende agricole, orti urbani e orti domestici, ecc), devono essere interpretati come sistemi socio-ecologici: i sistemi agricoli, essenziali per il benessere umano poiché ci forniscono cibo, foraggio, bioenergia e prodotti farmaceutici, infatti, si basano su servizi ecosistemici forniti da ecosistemi naturali, come l'impollinazione, il controllo biologico dei parassiti, il mantenimento della struttura e della fertilità del suolo, il ciclo dei nutrienti e i servizi idrologici<sup>27</sup>.

Come vedremo in seguito, nella storia è emerso e si è affermato il fenomeno per cui chi fa agricoltura si pone nei confronti della natura in maniera dominante, in linea con il paradigma antropocentrico, non considerando la necessità di non disestare gli stati di equilibrio degli ecosistemi: l'umanità sta portando sempre più i sistemi naturali fuori dall'equilibrio dinamico. Questa situazione ci porta a dover intervenire sempre di più sugli ecosistemi per mantenerli nell'equilibrio che interessa a all'uomo; si cerca di creare un equilibrio statico, lineare e fortemente dipendente dagli input; sussidi mate-

25] Si considera, in questo elaborato, il concetto di economia strettamente connesso con la sfera sociale. Il termine "economia" deriva dall'unione delle parole greche *oikos* (*oikos*), "casa" e *vóμος* (*nomos*), "norma" o "legge", letteralmente significa quindi "gestione della casa". L'obiettivo quindi dell'economia è quello di soddisfare i bisogni dei membri della comunità attraverso l'uso di beni, che per natura sono limitati e non facilmente accessibili. L'economia quindi è da considerarsi un comportamento umano. Ludwig von Mises, economista, considerato decano della scuola economica austriaca, definì infatti l'economia come *praxeologia* ("agire umano") in condizioni di scarsità. (Rory Sutherland: Perspective is everything | TED Talk. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://www.ted.com/talks/rory\\_sutherland\\_perspective\\_is\\_everything?language=en](https://www.ted.com/talks/rory_sutherland_perspective_is_everything?language=en)). La natura dei modelli economici è perciò artificiosa: essi sono costrutti umani, non naturali e perciò modificabili.

26] Resilience Alliance - Resilience. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.resalliance.org/resilience>

27] Power, A. G. (2010, September 27). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 365, pp. 2959–2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>



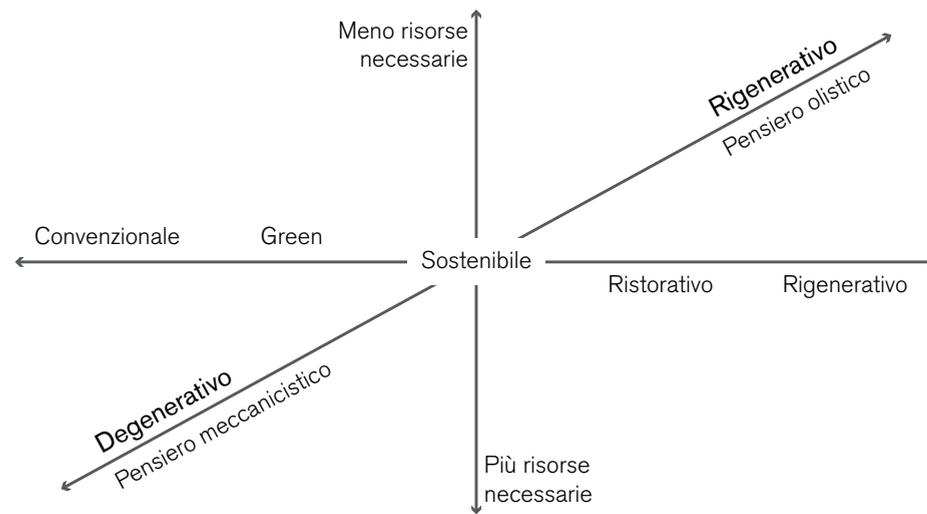
riali e di energia. Ciò è costoso sotto molti parametri, compresi alcuni che non riusciamo ancora a percepire, ed è costoso a lungo termine.

Ma perché si protrae l'applicazione di alcune pratiche derivanti da prese di decisione soggette a errori di valutazione che portano alla perdita di capacità rigenerativa degli ecosistemi?

Quando l'uomo ha cominciato ad applicare tecnologie e metodologie al sistema naturale per controllarlo e per massimizzare la produzione, la conoscenza a disposizione e la conseguente capacità di predizione era limitata. La pratica ha reso l'agricoltura strutturata, cristallizzata, tendente a mantenersi inalterata; si tratta di un fenomeno di *path-dependence*, ovvero l'insieme di decisioni che si prendono per affrontare una determinata circostanza è influenzato e limitato dalle decisioni prese in passato, anche se le circostanze passate potrebbero non essere più pertinenti. È perciò più facile replicare una strategia piuttosto che inventarne una nuova anche a fronte di un aumento della conoscenza. Possiamo identificare il fenomeno appena descritto con il processo del "ricordo" descritto precedentemente in merito al comportamento su più scale dei sistemi complessi.

È necessario che l'essere umano, tramite nuovi paradigmi, sviluppi nuove strategie per adattarsi, coevolvere e permettere agli ecosistemi di rigenerarsi, altrimenti sarà la natura che, secondo Maturana e Bateson, dovrà cercare un nuovo equilibrio anche a scapito dell'uomo.

Oggi giorno l'obiettivo principale di enti governativi e istituzioni è il raggiungimento della "sostenibilità", concetto per cui l'umanità dovrebbe evitare l'esaurimento delle risorse naturali. È evidente che ciò debba essere un passo da compiere, ma non può costituire il punto d'arrivo. È necessario infatti puntare, in quanto attori principali di questo pianeta, con grosse capacità trasformative, alla rigeneratività dei sistemi ecologici da cui dipendiamo.



## 2 Regno delle piante

Prima di procedere con il capitolo riguardante l'agricoltura, ci sembra doveroso fare un breve insight sul mondo delle piante tentando di sfatare il pensiero dominante per cui esse vengono ritenute “[...] come l'arredamento muto e immobile del nostro mondo, abbastanza utile e generalmente attraente, ma ovviamente cittadini di seconda classe nella repubblica della vita sulla Terra”<sup>1</sup>.

### 2.1 Le origini delle piante

Il regno vegetale si è sviluppato biologicamente nel corso della storia con delle caratteristiche distinte da quello animale. Alcuni organismi, infatti, cinquecento milioni di anni fa, optarono per uno stile di vita stanziale, mentre altri, nomade. Questa scelta evolutiva<sup>2</sup> comportò che gli esseri sessili (ossia non in grado di spostarsi; le piante) dovettero imparare a sintetizzare le proprie molecole organiche a partire da sostanze inorganiche ricavate dall'ambiente circostante (autotrofia), con una conseguente evoluzione della struttura del corpo sviluppata su moduli, in grado di assolvere a più funzioni; contrariamente agli animali, i quali hanno organi preposti a funzioni specifiche.

Secondo Stefano Mancuso, neurobiologo vegetale di fama mondiale, questa differenziazione è la ragione originaria per cui l'essere umano non è in grado di comunicare direttamente con il regno vegetale: poiché ci siamo divisi come tipi di organismi talmente tanto tempo fa, abbiamo sviluppato delle caratteristiche comunicative completamente diverse<sup>3</sup>.

Perciò non siamo in grado di comprendere tutte le relazioni di scambio possibili con le piante. Nel nostro bias cognitivo e paradigma, infatti, cogliamo solo alcuni loro segnali direttamente. Una mela matura, per esempio: i frutti sono il risultato di un processo coevolutivo tra piante e animali tale per cui le prime hanno imparato a sviluppare come strategia di adattamento, spendendo molta energia nella creazione di un sottoprodotto<sup>4</sup> avente affordances adeguate (simmetria, rotondità, piacevolezza al tatto, colore, sapore, profumo, nutrimento) per incontrare le esigenze dei primati e ad altri animali. Così facendo si garantisce, in cambio, il servizio di propagazione e fertilizzazione dei

1] Michael Pollan. (2013). Presentazione a Verde brillante di S.Mancuso, A.Viola (Giunti, Ed.). Firenze.

2] Anche se sarebbe più corretto affermare che i sistemi viventi co-evolvono insieme al complesso sistema di relazioni bios-oikos (caratterizzato da creazione, distruzione e adattamento reciproci).

3] Mancuso, S., & Viola, A. (2013). Verde Brillante (Giunti, Ed.). Firenze.

4] Si vuole sottolineare che per la pianta, il frutto è un sottoprodotto. Il suo scopo principale, infatti, in quanto essere vivente è la sopravvivenza e la riproduzione. Il prodotto industriale, in confronto non è un sottoprodotto, ma la fine della catena di montaggio. Ciò è importante da tenere a mente perché spesso a causa di questa associazione, in ambito agricolo, si considera il valore di una pianta solo per il fattore di produzione.

propri semi<sup>5</sup>.

Mentre, altri segnali, poiché si propagano attraverso canali differenti (chimici ed elettrici), o perché non costituiscono un affordance per noi, bensì per altri vegetali, insetti, batteri e via dicendo, non sono interpretabili dall'uomo. Questo mondo sommerso di informazioni fino a qualche decennio fa era solo intuito da grandi filosofi e scienziati, mentre ora, con gli sviluppi tecnici e scientifici, siamo in grado di comprendere le narrative del mondo vegetale e ridurre le distanze di comunicazione tra le piante e noi.

## 2.2 “Vegetale”

Si è scoperto infatti che le piante hanno capacità diverse, ma non per forza secondarie, inferiori a quelle animali (o per meglio dire, dell'uomo).

Alcune sono facilmente osservabili, come per esempio che esse, grazie alla modularità del loro corpo, possono essere mangiate anche per il 95% senza che ciò costituisca un problema vitale, poiché possono rigenerarsi a partire dal rimanente.

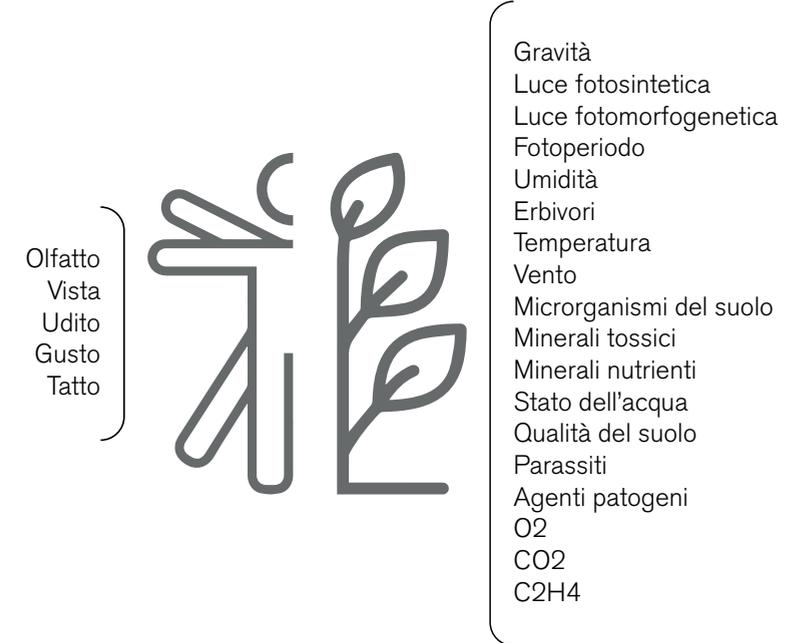
Oppure che sono in grado di direzionarsi verso la fonte luminosa (ciò confuta l'idea di Platone, che nel Timeo espresse paradossalmente un'affermazione partendo da un'osservazione errata: «Gli alberi, le piante e i semi... questa natura è sempre in uno stato passivo, privo di movimento esterno e interno, e quindi del potere di osservare e riflettere»), idea che persevera nel paradigma dominante.

Altre sorprendenti e non intuitive caratteristiche del mondo vegetale che sono emerse solo negli ultimi decenni sono in grado di farci cambiare prospettiva riguardo la nostra relazione con questi esseri.

Si è dimostrato, infatti, che le piante non solo hanno capacità sensoriali simili alle nostre - vista, tatto, olfatto, udito, gusto - ma sono molto più sensibili degli animali, poiché possiedono altri 15 sensi, come la capacità di misurare l'umidità, sentire la gravità, i campi magnetici e moltissimi gradienti chimici. L'unica differenza è che i loro organi sensoriali sono presenti in modo distribuito in tutta la pianta (ed è anche per la mancanza di organi sensoriali di riferimento che è più semplice per noi creare empatia con un cane, per esempio, piuttosto che con una pianta.).

In aggiunta, si è dimostrato che sono in grado di immagazzinare ed elaborare le informazioni acquisite. Per citare uno studio, Stefano Mancuso assieme ad alcuni ricercatori della University of Western Australia hanno sotto-

5] Norman, D. (2003). Emotional design. Perché amiamo (o odiamo) gli oggetti della vita quotidiana (Apogeo, Ed.). Milano.



*Sensi delle piante<sup>6</sup>*

posto ad alcuni test di caduta delle piante di Mimosa pudica, una pianta che attua una reazione peculiare ed immediata alle sollecitazioni. Essa dimostrò l'abilità di distinguere tra i diversi stimoli (cadute dannose o innocue) e di memorizzare le informazioni per lunghi periodi di tempo<sup>7</sup>.

Non c'è da stupirsi, quindi, che le piante abbiano l'abilità di risolvere problemi, di apprendere, di decidere e anche di comunicare, sia con altre parti del loro corpo (così come il nostro cervello comunica con la nostra mano), sia con altre piante, animali, e persino con i batteri, attuando spesso rapporti simbiotici.

Le piante mirmecofile, per esempio, sono vegetali che hanno sviluppato

6] Gruijssen, W., Buchanan, B., & Jones, R. (2000). Biochemistry and Molecular Biology of Plants (ASPP (ed.)).

7] Le piante hanno la memoria: apprendono e ricordano, la scoperta è italiana - Repubblica.it. (2014, January 15). Retrieved July 5, 2020, from [https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/15/news/le\\_piante\\_hanno\\_la\\_memoria\\_apprendono\\_e\\_ricordano\\_la\\_scoperta\\_italiana-76003291/](https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/15/news/le_piante_hanno_la_memoria_apprendono_e_ricordano_la_scoperta_italiana-76003291/)

un rapporto di associazione mutualistica con colonie di formiche, fornendo loro riparo e nutrimento, le quali ricambiano mantenendo pulita la superficie dell'albero, proteggendo dagli insetti fitofagi, concimando e contribuendo alla impollinazione e alla disseminazione dei semi<sup>8</sup>.



Colonia di *Pseudomyrmex ferrugineus* su *Acacia* sp. foto Di Ryan Somma, cropped. Fama Clamosa (talk) 13:14, 20 January 2010 (UTC) - From flickr (here), same as File:Pseudomyrmex ferruginea Ryan Somma.jpg, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9031974>

8| Piante mirmecofile - Wikipedia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Piante\\_mirmecofile](https://it.wikipedia.org/wiki/Piante_mirmecofile)

## 2.3 Addomesticazione

Per addomesticazione si intende una relazione mutualistica e multigenerazionale nella quale un organismo esercita un'influenza sulla riproduzione e la cura di un altro organismo con lo scopo di garantirsi un ritorno in termini di interesse, cedendogli in cambio dei vantaggi rispetto agli individui al di fuori di questo rapporto<sup>9</sup>.

Quasi tutte le specie vegetali relazionate con gli esseri umani sono addomesticate; dunque sono molto diverse dai loro antenati selvatici.

Ad esempio il teosinte, l'antenato del mais, era una pianta formata da una spiga delle dimensioni di 4-5 centimetri, all'interno della quale non si trovavano più di 8-10 semi, mentre una spiga di mais matura, oggi, arriva a misurare anche 40 centimetri; con al suo interno più di mille semi. Questo processo è stato possibile nel corso dei millenni attraverso la selezione delle piante a seconda di una gene che regola lo sviluppo delle ramificazioni secondarie: uno studio del 2004<sup>10</sup> ha suggerito che i coltivatori dell'America centrale (dove il mais è una pianta autoctona) abbiano usato questa caratteristica per trasformare selettivamente il teosinte nel mais.

Un caso analogo a quello del mais, è quello dell'anguria. Così come è stata ritratta infatti nella natura morta "Ghirlanda di fiori e farfalle" dal pittore Seicentesco Giovanni Stanchi tra il 1645 e il 1672, di proprietà della casa d'aste londinese Christie's, l'anguria presenta sei sezioni cave di forma triangolare, mentre la polpa, di un rosso meno intenso, è distribuita a spirali, con dei semi molto grandi. James Nienhuis, professore di orticoltura all'università del Wisconsin, usa questo quadro per spiegare la storia dell'addomesticazione delle colture: originaria dell'Africa e coltivata in seguito in Medio Oriente e nell'Europa del Sud, aveva già un ottimo sapore, ma con un aspetto diverso da quella attuale. La selezione delle piante in base al frutto ha permesso all'uomo di modificarle, aumentandone la polpa rossa a discapito del resto. Nienhuis sostiene inoltre che probabilmente la prossima evoluzione sarà la perdita dei semi<sup>11</sup>.

9| Mancuso, S. (2018). L'incredibile viaggio delle piante (7 edizione; Laterza, Ed.). Bari.

10| Gallavotti, A., Malcomber, S., Gaines, C., Stanfield, S., Whipple, C., Kellogg, E., & Schmidt, R. J. (2011). BARREN STALK FASTIGIATE1 Is an AT-Hook Protein Required for the Formation of Maize Ears. *The Plant Cell*, 23(5), 1756–1771. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.084590>

11| Il cocomero in un dipinto del Seicento | Artribune. (n.d.). Retrieved July 8, 2020, from <https://www.artribune.com/tribnews/2015/08/cocomero-prima-ogm-natura-morta-barocca-quando-storia-arte-aiuta-scienze-naturali/>



Foto sinistra in alto: teosinte<sup>1</sup>.

Foto destra in alto: pannocchia di mais.

Foto sinistra in basso: dettaglio di "Girlanda di fiori e farfalle" di Giovanni Stanchi (1645-1672).

Foto destra in basso: anguria senza semi.

1| Scattata da Matt Lavin, disponibile presso [https://www.flickr.com/photos/plant\\_diversity/4056260630/](https://www.flickr.com/photos/plant_diversity/4056260630/)

## 2.4 Servizi ecosistemici delle piante

Le piante sono elementi chiave nella biosfera: hanno una funzione universale per la vita; non a caso il 99,7% circa della biomassa del nostro pianeta appartiene al mondo vegetale<sup>12</sup>.

Esse infatti possono essere considerate come l'anello di congiunzione tra il sole (la nostra più grande fonte di energia) e tutti gli altri esseri viventi, grazie al processo della fotosintesi, il più importante processo biologico in grado di raccogliere e convertire in modo spendibile l'energia solare<sup>13</sup>. Esse sono quindi il motore della vita della biosfera.

I servizi ecosistemici vengono definiti come "le capacità dei processi e dei componenti naturali di fornire beni e servizi che soddisfino, direttamente o indirettamente, le necessità dell'uomo e garantiscano la vita di tutte le specie."<sup>14</sup>

Si possono classificare i servizi ecosistemici delle piante<sup>15</sup> in quattro categorie principali<sup>16,17</sup>:

- Supporto alla vita: tutti quei servizi necessari per la produzione di altri servizi ecosistemici, come la conservazione della biodiversità, dei processi evolutivi, la formazione del suolo e il mantenimento del ciclo dei nutrienti (azoto, fosforo e potassio indispensabili per lo sviluppo degli organismi); la riproduzione, l'alimentazione e il rifugio per gli animali. I loro impatti sull'uomo sono spesso indiretti o si manifestano nel corso di un tempo molto lungo.
- Servizi di regolazione:
  - Regolazione dei gas: il sequestro di CO<sub>2</sub> e il mantenimento dello strato di ozono consente di avere aria pulita e respirabile.
  - Regolazione del clima: sequestrando CO<sub>2</sub>, il principale responsabile dell'effetto serra, le piante attenuano il cambiamento climatico globale.

12| Mancuso, S., & Viola, A. (2013). Verde Brillante (Giunti, Ed.). Firenze.

13| Bryant, D. A., & Frigaard, N. U. (2006). Prokaryotic photosynthesis and phototrophy illuminated. Trends in Microbiology. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2006.09.001>

14| Che cosa sono i servizi ecosistemici. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.lifemgn-serviziosistemici.eu/IT/progetto/Pages/se.aspx>

15| Premettendo che ciò è una approssimazione, in quanto il ruolo delle piante non può essere considerato indipendentemente da altri fattori e regni dell'ecosistema poiché sono tutti interconnessi.

16| Che cosa sono i servizi ecosistemici. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.lifemgn-serviziosistemici.eu/IT/progetto/Pages/se.aspx>

17| Obaid, Khulood. (2018). Re: What is importance of plants and trees in our life?. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_importance\\_of\\_plants\\_and\\_trees\\_in\\_our\\_life/5b63e3085801f29e2d43bf58/citation/download](https://www.researchgate.net/post/What_is_importance_of_plants_and_trees_in_our_life/5b63e3085801f29e2d43bf58/citation/download).

- In più, localmente, evitano l'effetto isola di calore contribuendo all'ombra;
- Depurazione dell'acqua.
  - Regolazione dell'erosione: la copertura vegetale e il sistema delle radici attenuano l'erosione.
  - Protezione dai dissesti idrogeologici: contenimento del dissesto idrogeologico dovuta alle piogge e al vento.
  - Habitat per la biodiversità.
- Approvvigionamento: servizi di fornitura di risorse:
    - Ossigeno, sottoprodotto del processo chimico della fotosintesi, necessario per la respirazione degli esseri viventi.
    - Cibo: la fotosintesi permette di produrre glucosio, spendibile dalle piante stesse in primis e successivamente dal resto dei regni. Circa l'82% delle calorie nell'alimentazione umana sono fornite da piante terrestri, il 16% da animali terrestri e l'1% da animali e piante acquatiche<sup>18</sup>.
    - Medicinali.
  - Servizi culturali: le piante contribuiscono al mantenimento della salute umana offrendo spunti di riflessione, arricchimento spirituale, sviluppo cognitivo, esperienze ricreative ed estetiche.

## 2.5 Benefici dell'interazione uomo - pianta

L'uomo per milioni di anni ha vissuto in stretto contatto con la natura e la specie umana è il risultato dell'adattamento molto lento in risposta alle necessità imposte dall'ambiente, che ha influenzato la nostra biologia e psicologia. La storia della civiltà umana è troppo breve per cambiare questi adattamenti esistenti e perciò l'uomo è inevitabilmente attratto dall'influenza dell'habitat naturale che ha indirizzato la sua evoluzione<sup>19</sup>.

È stata ampiamente verificata infatti la tendenza a preferire ambienti naturali a quelli costruiti<sup>20</sup>, indipendentemente dall'età e dalla cultura delle

persone<sup>21</sup>.

Inoltre diversi studi hanno dimostrato il potenziale curativo e preventivo dell'interazione uomo-pianta, promuovendo il benessere fisico, mentale e sociale<sup>22</sup>:

- Benefici fisici:
  - un ambiente verde incoraggia l'attività motoria con i conseguenti benefici;
  - la presenza di vegetazione accelera il recupero dallo stress;
  - riduzione della pressione sanguigna e frequenza cardiaca;
  - attività come il giardinaggio riducono i fattori di rischio di malattie coronariche.
- Benefici mentali:
  - maggiore senso di autostima, consapevolezza e responsabilità, specialmente quando si lavora in gruppo;
  - sensazioni di relax, autonomia e competizione, e rende le persone aperte alla riflessione;
- Benefici sociali:
  - l'orticoltura e giardinaggio stimolano i processi di gruppo, promuovendo la coesione sociale e lo sviluppo di competenze sociali e di comunicazione.

18| Division of the Food and Agriculture Organization for the United Nations, 2013. (2013). FAOSTAT data. In FAO.

19| Righetto, C. (2015). Giardini per rivivere: orticoltura e giardinaggio a fini terapeutici in contesti sanitari (università di Bologna). Retrieved from [http://amsdottorato.unibo.it/7169/1/righetto\\_costantina\\_tesi.pdf](http://amsdottorato.unibo.it/7169/1/righetto_costantina_tesi.pdf)

20| Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201–230. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7)

21| Righetto, C. (2015). Giardini per rivivere: orticoltura e giardinaggio a fini terapeutici in contesti sanitari (università di Bologna). Retrieved from [http://amsdottorato.unibo.it/7169/1/righetto\\_costantina\\_tesi.pdf](http://amsdottorato.unibo.it/7169/1/righetto_costantina_tesi.pdf)

22| Marjolein Elings. (2006). People-plant interaction - The physiological, psychological and sociological effects of plants on people.

### 3 Contestualizzazione dei sistemi agricoli

Con il termine agricoltura [dal lat. agricultura, comp. di ager agri «campo» e cultura «coltivazione»] si intende l'arte e la pratica di coltivare il suolo allo scopo di ottenerne prodotti per l'alimentazione umana e animale, e anche altri prodotti utili; in senso lato include anche l'allevamento del bestiame<sup>1</sup>, il quale, ai fini della ricerca di tesi, non viene considerato ambito di studio.

La nascita dell'agricoltura avvenne circa 11.500 anni fa ed è ritenuta una delle più grandi rivoluzioni dell'uomo. Prima, l'approvvigionamento di cibo e materiale organico avveniva tramite raccolta e caccia. L'addomesticazione di piante e animali e le successive pratiche di coltivazione e allevamento hanno permesso alle popolazioni una fonte di sostentamento più sicura e quindi una maggiore possibilità di sopravvivenza. Ciò ha contribuito in maniera incisiva alla nascita di villaggi permanenti, del commercio<sup>2</sup> e al progresso sociale e culturale delle civiltà.

Si può constatare quindi che l'adozione dell'agricoltura è legata alla necessità di ritardare il beneficio di un'azione: il non perseguire il bisogno urgente, ha permesso all'uomo di avere un buffer di risorse grazie alle quali affrontare meglio le crisi.

Per grandissima parte della storia dell'umanità, foreste, praterie e arbusti dominavano il paesaggio del nostro pianeta. Durante l'ultimo secolo si è registrata un'impennata di conversione degli ambienti naturali in terra coltivabile. Il 50% delle terre abitabili (escludendo perciò ghiacciai e zone sterili) viene utilizzata per l'agricoltura (in generale), di cui il 23% per la coltivazione, equivalente a 11 milioni di km<sup>2</sup>.

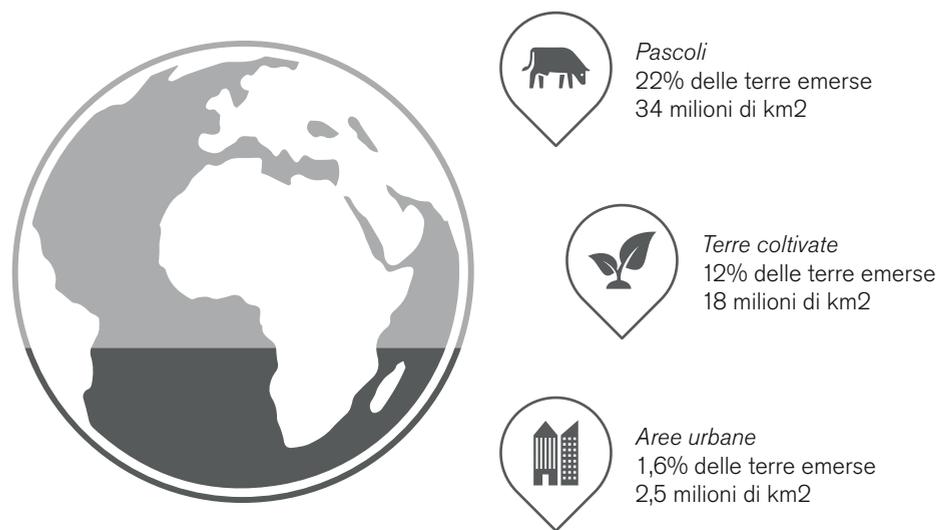
Dalla parte di ricerca relativa al numero delle aziende agricole su scala mondiale e delle dimensioni dei loro appezzamenti di terreno<sup>3</sup>, sono risultate circa 525 milioni di aziende agricole nel mondo: il 74% si trova in Asia (la Cina rappresenta da sola il 35% delle aziende agricole, mentre l'India il 24%), il 9% delle aziende agricole si trova nell'Africa subsahariana, e il 7% in Europa. L'America Latina e i Caraibi rappresentano il 4% del totale delle aziende agricole globali, mentre solo il 3% si trovano in Medio Oriente e Nord Africa, e solo il 3% si trovano in Nord America.

Questi dati rappresentano una divisione delle aziende agricole, dove queste sono presenti in paesi a basso e basso-medio reddito (rappresentandone la quasi totalità), mentre sono poco presenti nei paesi a reddito me-

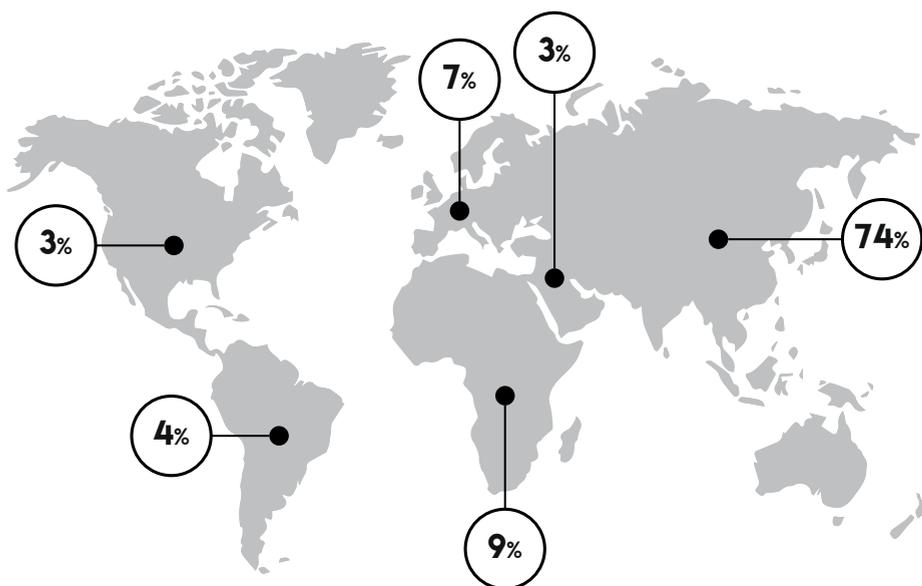
1| Treccani. (n.d.). Agricoltura. Retrieved from <http://www.treccani.it/vocabolario/agricoltura/>

2| agriculture | National Geographic Society. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/agriculture/>

3| Lowder, S. K., Skoet, J., & Raney, T. (2016). The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Development*, 87, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>



Al giorno d'oggi, oltre un terzo delle terre emerse è occupato da tre ecosistemi antropocentrici<sup>5</sup>.



Quantitativamente, ci sono circa 525 milioni di aziende agricole nel mondo (delle quali il 74% nei paesi asiatici), e la maggior parte delle aziende agricole sono microfarms minori di 1 ha<sup>5</sup>.

dio-alto, e dove sono ancor meno presenti nei paesi ad alto reddito.

Le dimensioni medie delle aziende agricole sono generalmente ritenute in aumento nei paesi sviluppati, probabilmente questo è dovuto all'acquisizione dei terreni delle piccole aziende agricole da parte delle grandi aziende produttrici che si occupano di monocultura per andare incontro alle esigenze di consumo del mercato, mentre le dimensioni delle aziende agricole dei paesi a basso-medio reddito sono invece andate a ridursi: questo probabilmente è dettato dal fatto che nei paesi africani ed asiatici i grandi proprietari terrieri dividono i terreni in appezzamenti più piccoli da dare in gestione ai singoli nuclei familiari, i quali coltivano la terra, danno i ricavati al proprietario, e in cambio ricevono uno stipendio.

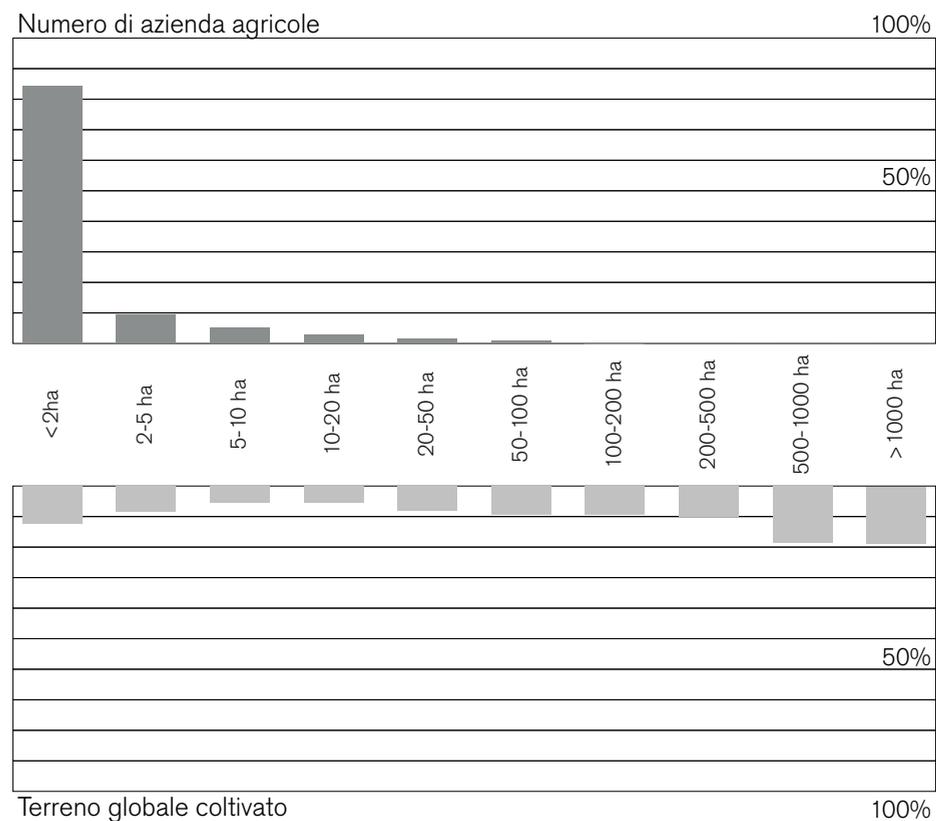
Dal punto di vista del rapporto tra gli ettari coltivabili complessivi e il numero delle aziende, le cifre vanno ad invertirsi: l'84% delle aziende agricole ha dimensioni inferiori a due ettari e gestisce circa il 12% dei terreni agricoli, mentre solo il 16% delle aziende agricole sono più grandi di 2 ettari, ma possiedono l'88% del totale dei terreni agricoli mondiali<sup>4</sup>.

Andando più nello specifico, nei paesi con i livelli di reddito minori, le aziende agricole più piccole gestiscono una quota molto maggiore dei terreni rispetto alle aziende più piccole dei paesi a più alto reddito: a livello globale, circa l'84% delle aziende agricole sono più piccole di 2 ettari e gestiscono circa il 12% dei terreni agricoli. Nei paesi a basso e medio-basso reddito, così come nei paesi dell'Asia Orientale e del Pacifico (esclusa la Cina), dell'Asia Meridionale e dell'Africa Subsahariana, un numero compreso tra il 70% e l'80% delle aziende agricole sono di dimensioni inferiori ai 2 ettari e gestiscono circa il 30-40% della terra. Nei paesi a reddito medio-alto (esclusa la Cina), i paesi ad alto reddito, l'America Latina e i Caraibi, il Medio Oriente e il Nord Africa, un'ampia quota di aziende agricole è anch'essa inferiore a 2 ha, ma gestisce meno del 10% dei terreni agricoli.

Per quanto riguarda la qualità del cibo prodotto su scala globale delle principali varietà di piante prodotte ad uso domestico, è risultata la distribuzione globale di 18 tipi di colture principali<sup>5</sup>. Lo studio è arrivato a contare 17 categorie principali di colture (orzo, manioca, cotone, arachidi, mais, miglio, palma da olio, patate, colza, riso, segale, sorgo, soia, canna da zucchero, barbabietole da zucchero, girasole e frumento), una categoria principale di gruppi di colture (legumi, che comprendono fagioli, piselli, lenticchie, ecc.), e altre 10 categorie di colture "minori" (fibre, frutta, frutta a guscio, colture

4| Ibidem

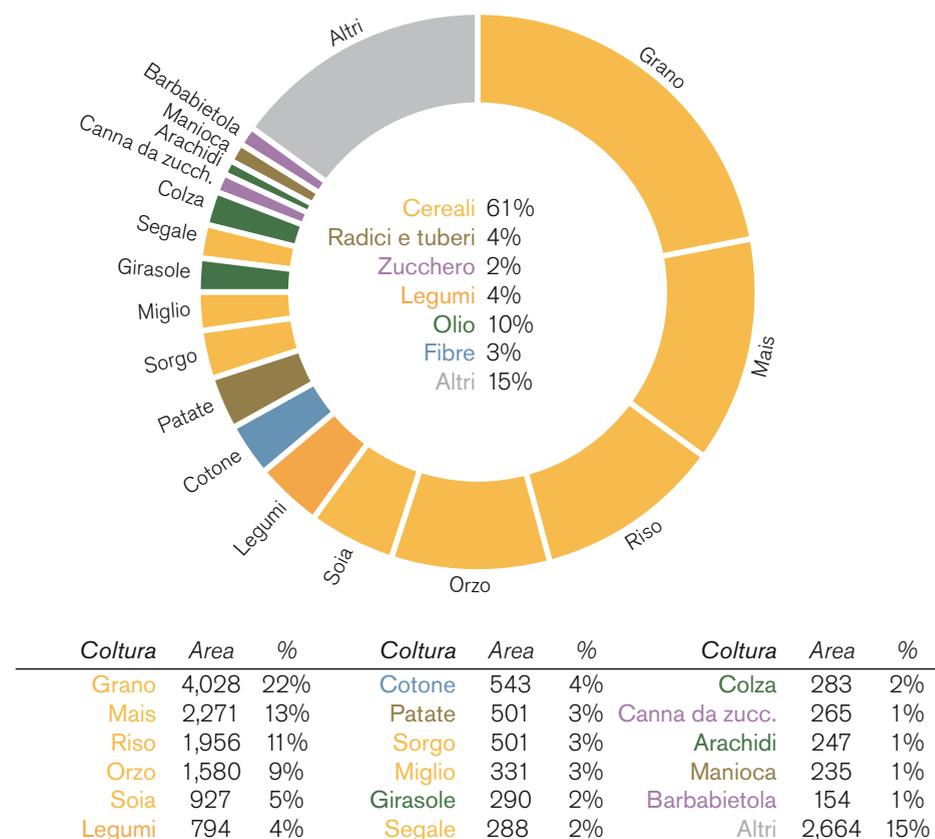
5| Lowder, S. K., Skoet, J., & Raney, T. (2016). The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Development*, 87, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>



oleaginose, altri cereali, altre radici e tuberi, altre, spezie e ortaggi).

I cereali sono l'unico gruppo di colture con una coltivazione che da sola raggiunge il 61% (10.955 km<sup>2</sup>) della superficie coltivata, composta principalmente da coltivazioni di frumento, mais, orzo, riso e miglio. Il frumento è la coltura più abbondante, e occupa il 22% della superficie totale coltivata a livello mondiale, mentre il mais è la coltura geograficamente più diffusa, con la seconda maggiore estensione al mondo (13%). L'orzo è la coltura con la terza area più grande al mondo, con il 9% delle terre coltivate, mentre la segale è coltivata in circa il 2%. Riso, sorgo e miglio occupano rispettivamente l'11%, il 3% e il 2% della superficie coltivata globale.

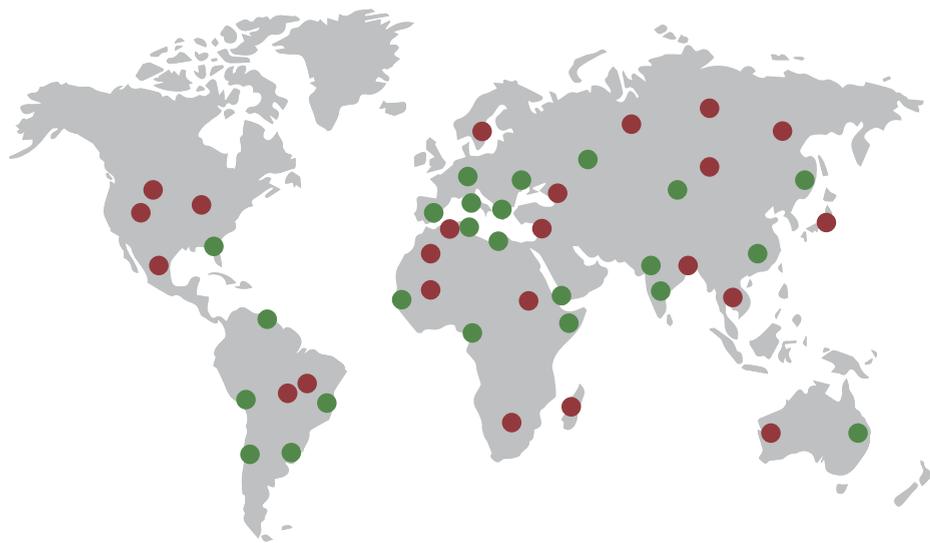
I tuberi, composti da coltivazioni di patate e manioca, coprono il 4% della superficie agricola totale.



Canna da zucchero e barbabietole da zucchero occupano insieme circa poco più del 2% delle terre coltivate nel mondo.

I legumi (composti da fagioli, fave, piselli, ceci, lenticchie, vecce, lupini, ...) occupano il 4% della superficie coltivata, mentre le colture oleaginose (soia, arachidi, colza, girasole e palma da olio) rappresentano oltre il 10% della superficie coltivata. I semi di soia occupano il 5%, mentre la colza e il girasole occupano assieme il 2% delle terre coltivate, le arachidi l'1% e la palma da olio meno dell'1%. Il cotone occupa oltre il 3% delle terre coltivate.

Tra i gruppi delle "colture minori", quelle dominanti sono la frutta (poco più del 3%), altre colture oleaginose come cocco, olive, cartamo, sesamo e semi di lino, altri cereali come avena e cereali misti, e altre colture come caffè, tabacco e cacao (tutte con poco meno del 3%). Ortaggi, altre radici e tuberi,



Localizzazione delle aree con maggiori e minori livelli di biodiversificazione delle colture<sup>6</sup>.

noci, altre fibre e spezie occupano ciascuno meno del 2% della superficie coltivata mondiale.

In seguito all'analisi di questi pattern di coltivazione, è necessario introdurre il concetto di biodiversità agricola: la diversità nelle colture è un fattore critico per la sicurezza alimentare, perché avere una varietà di colture permette di prevedere la possibilità che almeno alcune (o meglio, più di alcune) colture sopravviveranno nonostante un clima favorevole, focolai di insetti o altre calamità naturali, oltre alla questione strettamente legata alla diversità degli alimenti necessari al fabbisogno energetico necessario per la sopravvivenza di ciascun individuo.

Per una valutazione quantitativa della distribuzione globale della diversità delle principali tipologie di colture, lo studio<sup>6</sup> ha definito un indice di diversificazione delle materie prime agricole (ACDI, Agricultural Commodity Diversification Index).

I livelli più elevati di diversificazione delle principali colture nel mondo si trovano nella regione andina del Sud America, in Uruguay, nelle nazioni africane lungo il Golfo di Guinea, in parte della Rift Valley, nella Valle del Nilo,

6] Monfreda, C., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2008). Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1). <https://doi.org/10.1029/2007GB002947>

in parte della Penisola Iberica, in Ucraina, India, Pakistan, nella Pianura della Cina settentrionale e in Manciuria. Altre regioni con alti valori ACDI sono gli Stati Uniti sudorientali, parti della Grande Pianura settentrionale, il Venezuela, il Brasile orientale, la regione delle Pampas, il Cile, parti dell'Africa occidentale, gli altopiani etiopi, l'Africa orientale, gran parte dell'Europa, la Russia sudoccidentale, la Cina sudorientale e l'Australia orientale.

D'altra parte, tra i luoghi meno agricoli del mondo sono: gli Stati Uniti centro-occidentali, il Montana, l'Amazzonia occidentale, l'Algeria costiera, l'Africa meridionale semiarida, il Kazakistan settentrionale, la Mongolia, l'Indocina, la penisola malese e l'Australia occidentale. Valori di ACDI relativamente bassi si trovano anche nella maggior parte del Nord America, Messico, Brasile, parti del Nord Africa, Sudan, Madagascar, Europa settentrionale, Medio Oriente, Bangladesh, la maggior parte del Sud-Est asiatico, Giappone e gran parte della Russia.

### 3.1 Agricoltura industriale

La pratica dell'agricoltura, anche in epoche lontane, è sempre stata un atto di modificazione degli ambienti naturali; in alcuni casi questo processo ha portato al collasso dell'ecosistema locale; per esempio, la desertificazione della Mezzaluna Fertile per salinizzazione del suolo a causa di metodi di irrigazione sbagliati. Il disequilibrio causato dall'agricoltura oggi ha impatti globali ed è causato dalla persistenza nel nostro sistema agroalimentare<sup>7</sup> di tecniche, paradigmi e ideali introdotti dall'agricoltura industriale<sup>8</sup>.

Essa si sviluppò seguito all'applicazione dei principi meccanicistici / lineari al mondo naturale, coerente con il principio capitalista per cui un aumento della produzione avrebbe comportato un aumento del benessere<sup>9</sup>.

Si fa iniziare l'agricoltura moderna a partire dal 18° secolo, a seguito della Rivoluzione Agricola Britannica, sviluppatasi parallelamente alla Prima Rivoluzione Industriale; nuove metodologie e innovazioni come la rotazione delle colture a quattro campi con l'inserimento dell'allevamento, selezione di piante ad alta produttività, migliori strumenti aratori e la dissoluzione delle

7] Nel 2014 si registra un tasso medio globale di applicazione di fertilizzanti nel lungo periodo, di 138 kg/ha. Dato ricavato da: Hannah Ritchie, M. R. (n.d.). Fertilizers - Our World in Data. Retrieved July 5, 2020, from <https://ourworldindata.org/fertilizers>

8] Romano, F. (2018). *La rivoluzione verde e il mito dell'aumento della produttività* Perché più cibo non ha significato più benessere (Università Ca'Foscari Venezia). Retrieved from <http://dspace.unive.it/bitstream/handle/10579/13874/847781-1224078.pdf?sequence=2>

9] Ibidem

proprietà di villaggio sostituite dalla proprietà privata (per cui la terra diventa un'azienda capitalistica, orientata al profitto e affidata al lavoro salariato), aumentarono la resa produttiva<sup>10,11</sup>.

Queste pratiche in seguito furono adottate dagli altri Paesi definiti sviluppati.

La figura tradizionale del contadino, piccolo proprietario venne sostituita dalle nuove classi dei proprietari-imprenditori agrari e dei salariati. Inoltre, un minor numero di lavoratori necessari alla coltivazione accompagnato dall'implementazione di metodi e tecniche, agevolò l'urbanizzazione e la rivoluzione industriale. La rivoluzione agricola fu dunque anche una profonda ristrutturazione della società<sup>12,13</sup>.

Negli anni '30 del '900, in concomitanza di un aumento demografico globale, sempre al fine di perseguire la massimizzazione produttiva si cominciarono ad utilizzare pesticidi, fitofarmaci e fertilizzanti chimici, scoperti all'inizio del secolo scorso<sup>14</sup>.

Questa nuova pratica consentì lo sviluppo di monoculture, ovvero la coltivazione dell'appezzamento di riferimento di una sola varietà di pianta. Non c'era più, quindi, la necessità di applicare la rotazione delle colture per fissare l'azoto nel terreno.

Si venne a creare quindi il fenomeno del *chemical treadmill*<sup>15</sup>, un feedback loop autorinforzante per cui l'applicazione nei campi di soluzioni chimiche comporta una maggior resistenza da parte di agenti considerati dannosi, quali insetti ed erbacce, comportando un enorme aumento degli stessi, a cui gli agricoltori hanno risposto usando ancora più pesticidi e dando avvio ad un circolo vizioso di distruzione<sup>16</sup>.

Successivamente, negli anni sessanta, si è assistito ad un incremento degli input chimici nell'agricoltura, all'espansione dei terreni coltivati e alla normalizzazione dei metodi di coltivazione meccanizzati<sup>17</sup>.

10] S. Guarracino. (n.d.). Rivoluzione Agricola - Dizionario di storia moderna e contemporanea. Retrieved July 5, 2020, from <https://keynes.scuole.bo.it/sitididattici/forestoria/dizionario/r/r067.htm>

11] Matthew Mason. (n.d.). Agriculture: History & Introduction | EnvironmentalScience.org. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.environmentalscience.org/history-agriculture>

12] S. Guarracino. (n.d.). Rivoluzione Agricola - Dizionario di storia moderna e contemporanea.

13] Matthew Mason. (n.d.). Agriculture: History & Introduction | EnvironmentalScience.org.

14] Capra, F., & Lappè, A. (2017). *Agricoltura e cambiamento climatico* (A. Edizioni (Ed.)).

15] Ibidem

16] Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). The Systems View of Life. In *The Systems View of Life*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895555>

17] Shawn MacKenzie. (2007). A Brief History of Agriculture and Food Production. Retrieved from <https://resources.saylor.org/wwwresources/archived/site/wp-content/uploads/2015/07/EN->

Nel 1970 Norman Borlaug, agronomo americano, vinse il premio Nobel per la Pace<sup>18</sup> per aver pianificato un progetto internazionale con lo scopo di risolvere i problemi legati alla sottanutrizione nei Paesi definiti in via di sviluppo. Il piano, denominato Rivoluzione Verde, aumentò significativamente la produzione alimentare in questi paesi (fino al 1000% in alcuni di essi) grazie a massicci input chimici, esportando in questi Paesi, però, delle esternalità negative sociali e ambientali, strettamente interconnesse, iniziate con l'agricoltura industriale; ne citiamo alcuni in seguito.

Sorge la critica che questi scenari come al solito non sono considerati sufficienti per la sicurezza alimentare globale e la sostenibilità del sano sistema socio-ecologico, chiedendo la necessità di una forma diversificata su piccola scala di agricoltura che favorisca il funzionamento dell'ecosistema.

- Disboscamento di foreste<sup>19</sup> che influisce sul clima globale e locale<sup>20</sup>;
- cambiamento dei processi geomorfologici<sup>21</sup>: cambiamento della qualità di molti corsi d'acqua naturali; esaurimento della fertilità del suolo; terreni con scarsa resistenza alla siccità, degradazione della struttura del suolo che la rende più vulnerabile all'erosione<sup>22</sup>;
- riduzione della biodiversità e della biodiversità associata<sup>23</sup>;

---

VS203-7.3.1-ShawnMackenzie-ABriefHistoryOfAgricultureandFoodProduction-CCBYNCSA.pdf

18] Norman Borlaug - Biographical. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/1970/borlaug/biographical/>

19] Lee, K. N., & Andrew, G. (2000). *The Human Impact on the Natural Environment* (5th edn.). Climatic Change.

20] Pielke, R. A., Marland, G., Betts, R. A., Chase, T. N., Eastman, J. L., Niles, J. O., ... Running, S. W. (2002). The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 360.

21] Lee, K. N., & Andrew, G. (2000). *The Human Impact on the Natural Environment* (5th edn.). Climatic Change, 54.

22] Hidden Costs of Industrial Agriculture | Union of Concerned Scientists. (2008, July 11). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.ucsusa.org/resources/hidden-costs-industrial-agriculture>

23] Dale, V. H., Brown, S., Haeuber, R., Hobbs, N. T., Huntly, N., Naiman, R. J., ... Valone, T. J. (2000). *Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land*. *Ecological Applications*, 10.

- fenomeno del land grabbing<sup>24</sup>;
- contributo consistente al riscaldamento globale attraverso emissioni di gas serra<sup>25</sup>;
- incremento del trasporto di input, output e prodotti agricoli attraverso una maggiore enfasi sui sistemi alimentari globali: globalizzazione dei flussi commerciali: "filiera lunga";
- inquinamento idrico da contaminanti di deflusso dei fertilizzanti a valle delle forniture di acqua potabile;
- alimentazione sbilanciata: la selezione di poche varietà ad alta rendita da coltivare ha comportato che al giorno d'oggi la popolazione mondiale si nutre di pochissime colture. Stando ai dati della FAO, per quanto riguarda il servizio di fornitura di cibo, si conoscono infatti circa 6mila specie vegetali commestibili globalmente, ma di queste solo 200 sono effettivamente coltivate e il 66% della produzione agricola è costituito soltanto da canna da zucchero, riso, mais, frumento, patata, soia, il frutto della palma da olio, barbabietola da zucchero, manioca. Queste colture spesso vengono utilizzate per produrre alimenti trasformati denominati junk food (cibo spazzatura) con gravi effetti sulla salute umana<sup>26</sup>;
- cambiamento dei cicli globali di carbonio (uso sempre maggiore di combustibili fossili), azoto (uso massiccio di fertilizzanti) e acqua (sfruttamento delle acque interne per irrigazione)<sup>27,28</sup>.

24] Il land grabbing può essere definito come il controllo (attraverso la proprietà, il leasing, la concessione, i contratti, le quote o il potere generale) di quantità di terreno superiori a quelle localmente tipiche da parte di qualsiasi persona o entità (pubblica o privata, estera o domestica) tramite qualsiasi mezzo ("legale" o "illegale") a fini di speculazione, estrazione, controllo delle risorse o mercificazione a spese dei contadini, dell'agroecologia, della gestione della terra, della sovranità alimentare e dei diritti umani. Fonte: Baker-Smith, K., Boruss, S., & Attila, M. (2016). What is land grabbing? A critical review of existing definitions.

25] Lin, B. (2011). Effects of industrial agriculture on climate change and the mitigation potential of small-scale agro-ecological farms. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 6(020). <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20116020>

26] Hidden Costs of Industrial Agriculture | Union of Concerned Scientists. (2008, July 11). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.ucsusa.org/resources/hidden-costs-industrial-agriculture>

27] Houghton, R. A. (1999). The U.S. Carbon Budget: Contributions from Land-Use Change. Science, 285(5427), 574–578. <https://doi.org/10.1126/science.285.5427.574>

28] Ciclo biogeochimico - Wikipedia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_biogeochimico](https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_biogeochimico)

Massimizzazione:	Ottimizzazione:
- "Se qualcuno sta massimizzando, altri dovranno minimizzare" Gunter Pauli	- Processo naturale, evoluzione, adattamento.
- Forzare, dominare, per un proprio scopo.	- Ogni elemento contribuisce come può per il bene del sistema.
- Ogni elemento contribuisce come può per il bene di sé stesso a scapito di altri.	- Considerare tutti i parametri per definire se un risultato è soddisfacente.
- Identificare pochi parametri per definire se un risultato è soddisfacente.	- Inclusione.
- Competizione.	

## 3.2 Agroecologia

Il termine "agroecologia" si usa per indicare sia la base scientifica che la pratica di un tipo di agricoltura fondata su principi ecologici<sup>29</sup>: attraverso lo studio olistico degli agroecosistemi, quindi comprendendo e utilizzando le relazioni e i processi ecologici, l'agroecologia mira a migliorare la resilienza e la sostenibilità ecologica, socio-economica e culturale dei sistemi agricoli, per produrre in modo più sostenibile, ovvero con meno input esterni e minori costi ambientali e impatti sociali negativi<sup>30</sup>. I concetti agro-ecologici si basano principalmente know-how tradizionale, locale e culturale combinato con il metodo scientifico<sup>31</sup>.

L'agroecologia nasce negli anni trenta in seguito agli studi delle scienze biologiche, quali zoologia, agronomia e fisiologia delle colture, con lo scopo di osservare le interazioni tra gli elementi dell'ecosistema e l'agricoltura nell'ambito della ricerca agronomica<sup>32</sup>.

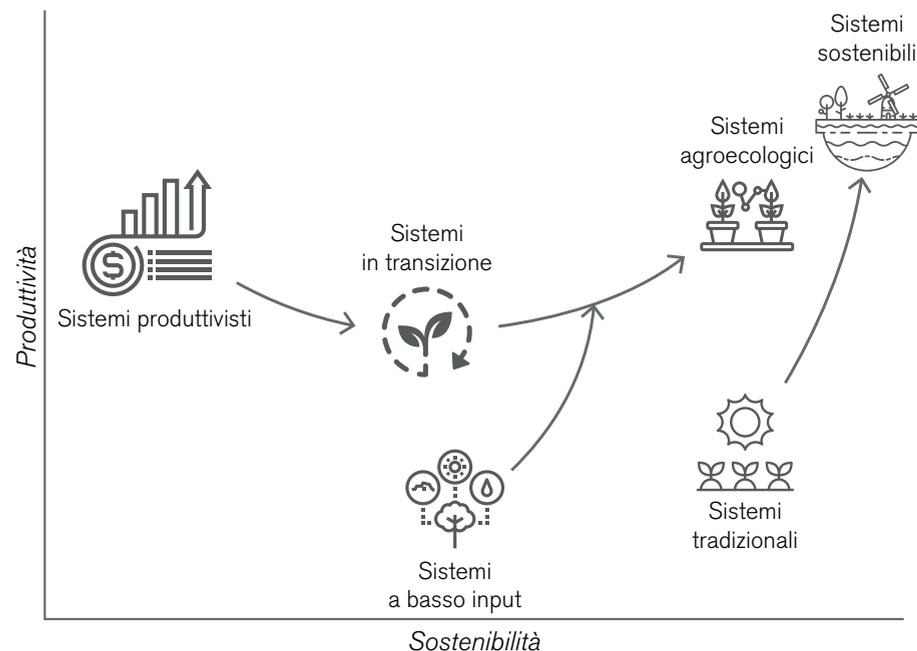
A partire dagli anni '60 la scienza agroecologica ha ampliato sia la sua scala di analisi (dal livello dell'azienda agricola, all'intero agroecosistema fino al più ampio sistema alimentare), sia, grazie ad un approccio più interdisciplinare, la sua portata, arrivando a comprendere considerazioni socioeconomiche e politiche.

29] Altieri, M. (1995). Agroecology: The science of sustainable Agriculture (W. Press, Ed.). Boulder.

30] Ibidem

31] Agroecology. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.globalagriculture.org/report-topics/agroecology.html>

32] Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2011). Agroecology as a Science, a Movement and a Practice. In Sustainable Agriculture Volume 2 (pp. 27–43). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_3)



Fonte: Oehen, B., Hilbeck, A., Herren, H., Müller, A., Home, R., Hoffmann, U., ... Pimbert, M. (2015). *Feeding the people - AGROECOLOGY FOR NOURISHING THE WORLD AND TRANSFORMING THE AGRI-FOOD SYSTEM*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4662.6003>

Dagli anni '80 la disciplina scientifica è diventata progressivamente più prescrittiva e orientata alla pratica con l'obiettivo di contribuire direttamente (attingendo alle conoscenze e alle sperimentazioni degli agricoltori stessi)<sup>33</sup> e indirettamente (incoraggiando la riduzione e il riciclaggio degli sprechi alimentari e la rilocalizzazione della produzione e del consumo di cibo)<sup>34</sup> alla creazione di sistemi alimentari sostenibili.

Ciò ha comportato la nascita di una serie di movimenti agroecologici. Nel corso degli ultimi anni questo termine, infatti, viene utilizzato anche per designare il complesso di movimenti di attivismo che cercano un nuovo modo di considerare l'agricoltura e le sue relazioni con la società poiché i sistemi alimentari convenzionali sempre più percepiti come insostenibili.

Nei paesi 'industrializzati', i movimenti agroecologici di solito sono costituiti da gruppi di agricoltori che, per rispondere ai cambiamenti nel comporta-

33| De Schutter, O. (2010). *Agroecology and the Right to Food*. Report Submitted by the Special Rapporteur on the Right to Food.

34| UNCTAD. (2013). *Annual Report*.

mento dei consumatori che sempre più richiedono cibo biologico<sup>35</sup> e locale, cercano di affrontare le sfide ecologiche e ambientali attraverso collaborazioni sociali.

Mentre nei Paesi definiti 'in via di sviluppo', i movimenti agroecologici si preoccupano essenzialmente dello sviluppo rurale e della sovranità alimentare<sup>36</sup>.

L'agroecologia utilizza un approccio olistico, studiando le molteplici relazioni nel loro insieme piuttosto che analizzando ogni elemento separatamente; in modo tale da perseguire una multifunzionalità degli output agricoli e l'ottimizzazione del sistema, misurato non solo secondo in base alle rese, ma anche in base alla capacità di fornire servizi ecosistemici.

Le pratiche agroecologiche consentono:

- su piccola scala (azienda agricola) di diversificare la produzione con una riduzione dei rischi di fallimento delle colture a lungo termine; su scale più grandi, di aumentare l'agrobiodiversità; incrementando perciò la resilienza dei sistemi agroecologici;
- stabilizzare le rese;
- di ridurre la dipendenza da fattori produttivi costosi e spesso di difficile accesso;
- un minore impatto ambientale;
- una migliore gestione del paesaggio;
- una maggiore resilienza climatica.

Tutto ciò dovrebbe garantire la sostenibilità finanziaria delle pratiche agroecologiche, tuttavia, questa ipotesi è raramente verificata anche perché non c'è un accordo su come valutare i servizi ecosistemici abilitati dalle azioni delle aziende<sup>37</sup>.

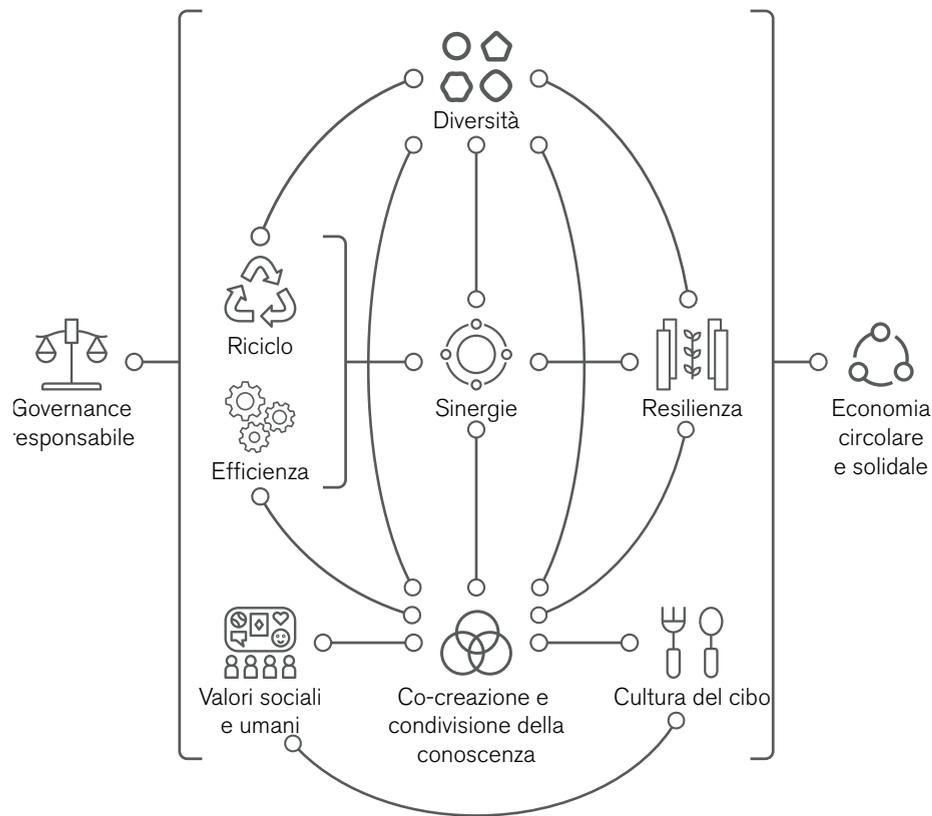
35| "La normativa Ce 834/07, definisce ufficialmente l'agricoltura biologica come un metodo di coltivazione e d'allevamento che consente esclusivamente l'impiego di sostanze naturali, cioè quelle già presenti in natura, ed esclude l'utilizzo di sostanze di sintesi chimica." Ciccarese Mimmo. (2016, July 1). *Biologico è naturale o naturale è biologico?* Retrieved July 5, 2020, from <https://www.teatronaturale.it/pensieri-e-parole/editoriali/23138-biologico-e-naturale-o-naturale-e-biologico.htm>

36| Concetto introdotto durante la Conferenza internazionale della coalizione internazionale Via Campesina, in Messico, nel 1996, in opposizione alla privatizzazione della sicurezza alimentare; si basa su quattro assunti: "critica al progetto neoliberista globalizzato, la de-mercificazione del cibo e della riproduzione sociale, la ridefinizione della sovranità e del diritto al cibo nella prospettiva delle comunità locali." Corrado Alessandra. (2010, September). *Sovranità alimentare: la proposta alternativa della Via Campesina* | Agiregionieuropa. Retrieved July 5, 2020, from Agiregionieuropa anno 6 n°22 website: <https://agiregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/22/sovranita-alimentare-la-proposta-alternativa-della-campesina>

37| Silici, L. (2014). *Agroecology What it is and what it has to offer*. (July).

La FAO ha definito 10 criteri interconnessi e interdipendenti su cui basare le pratiche agroecologiche<sup>38</sup>:

- Diversità;
- Sinergie;
- Efficienza;
- Resilienza;
- Raccolta differenziata;
- Co-creazione e condivisione di conoscenze;
- Valori umani e sociali;
- Cultura e tradizioni alimentari locali;
- Governance responsabile;
- Economia circolare e di solidarietà.



38] FAO. (2016). Guiding the Transition To Sustainable Food and Agricultural Systems the 10 Elements of Agroecology.

Di seguito vengono approfonditi 3 di questi criteri in quanto utili per definire gli output del nostro progetto.

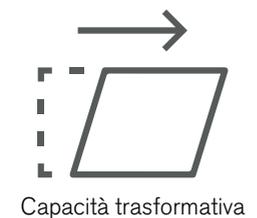
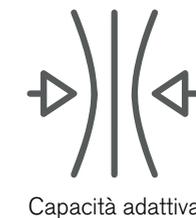
### 3.2.1 Resilienza

La resilienza, definita come capacità di recupero di un sistema quando è modificato da perturbazione<sup>39</sup>, è una proprietà fondamentale dei sistemi complessi adattivi in quanto permette loro di mantenersi in equilibrio dinamico, ovvero conservare le proprietà adattandosi alle perturbazioni.

La resilienza dei sistemi agricoli è stata definita dalla FAO come “la capacità di prevenire e mitigare i disastri e le crisi, nonché di anticiparle, assorbitarle, accoglierle o recuperarle e adattarvi in modo tempestivo, efficiente e sostenibile. Ciò include la protezione, il ripristino e il miglioramento dei sistemi di sussistenza di fronte alle minacce che hanno un impatto sull’agricoltura, la nutrizione e la sicurezza alimentare<sup>40</sup>.”

Darnhofer (2014) propone che la resilienza nei sistemi agricoli (su ogni scala) può essere intesa in termini di tre capacità<sup>41</sup>:

- capacità di buffer: la capacità del sistema di affrontare gli shock grazie a buffer;
- capacità adattiva: la capacità del sistema di adattarsi ai fattori di cambiamento;
- capacità trasformativa: la capacità di riorganizzarsi radicalmente.



39] Marino, D., & Cavallo, A. (2014). Agricoltura, cibo e città. Verso sistemi socioecologici resilienti. Retrieved from [http://www.cursa.it/wp-content/uploads/2018/11/CURSA\\_pasSaggi\\_agricoltura\\_cibo\\_citta-compressed-1.pdf](http://www.cursa.it/wp-content/uploads/2018/11/CURSA_pasSaggi_agricoltura_cibo_citta-compressed-1.pdf)

40] Commission, F. A. O., Genetic, O. N., & For, R. (2019). The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. In The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. <https://doi.org/10.4060/ca3129en>

41] Darnhofer, I., Lamine, C., Strauss, A., & Navarrete, M. (2016). The resilience of family farms: Towards a relational approach. *Journal of Rural Studies*, 44, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.01.013>

### 3.2.2 Biodiversità

La biodiversità è la variabilità che esiste tra gli organismi viventi (sia all'interno che tra le specie) e gli ecosistemi di cui fanno parte.

La biodiversità delle specie e degli ecosistemi può migliorare la resilienza dei sistemi ecologici diminuendo la vulnerabilità agli stress e agli shock, riducendo il loro impatto e sostenendo il recupero e l'adattamento<sup>42</sup>.

Considerando le specie come elementi del sistema ecologico, ad una maggiore variabilità di questi, corrisponde una maggiore capacità di resilienza del sistema, ed è per questo che la biodiversità è essenziale per l'equilibrio dell'ecosistema e per evitare il collasso dello stesso; grazie al quale l'essere umano, tra le altre forme di vita, sopravvive.

Un esempio di collasso del sistema, in cui, per causa delle sue stesse azioni, l'uomo è stato danneggiato dall'insufficiente resilienza dovuta a poca biodiversità nei sistemi agricoli, fu la Grande carestia irlandese, avvenuta nella seconda metà dell'800: in Irlanda, a quell'epoca, per svariati motivi, derivati dalla conseguenza dell'assimilazione del capitalismo nelle operazioni della fattoria<sup>43</sup>, si intensificò, fino a renderlo l'alimento base della nutrizione della popolazione, la coltivazione di una tipologia di patata ad alta produttività, la patata "Lumper"; a discapito di altre tipologie di coltivazione. Essa, però, si rivelò molto vulnerabile a malattie trofiche dovute ad organismi parassitari e infatti, nel 1845, si diffuse molto velocemente un parassita che, decomponendo i tuberi, distrusse un terzo del raccolto, causando la morte di circa un milione di persone e l'emigrazione all'estero di un ulteriore milione.

Oggi le monoculture geneticamente omogenee sono circa l'80% dei 1500 milioni di ettari di terreni coltivabili<sup>44</sup>.

Inoltre la selezione di poche varietà ad alta rendita ha comportato che al giorno d'oggi la popolazione mondiale coltiva e si nutre di pochissime colture. Stando ai dati della FAO si conoscono infatti circa 6mila specie vegetali commestibili globalmente, ma di queste solo 200 sono effettivamente coltivate e il 66% della produzione agricola è costituito soltanto da canna da zucchero, riso, mais, frumento, patata, soia, il frutto della palma da olio, barbabietola da zucchero, manioca.

42] FAO. (2019). *Fao 2019 - Lo Stato Della Biodiversità Del Mondo Per L'alimentazione E L'agricoltura*.

43] Art, F., & Balfe, M. (2015). *Farm as Mind : Bateson ' s Criteria of Mind Applied to the Irish Farm* Marian Balfe Thesis Supervisor : Dr Francis Halsall National College of Art and Design Faculty of Visual Culture. National College of Art and Design History of Art and Fine Art , Painting.

44] Altieri, M., Nicholls, C., & Funes, F. (2012). *The scaling up of agroecology: spreading the hope for food sovereignty and resiliency*.

Ciò è evidente sia una situazione di alto rischio per via di poca resilienza del sistema agroalimentare.

La FAO, che, tra gli altri, pubblica report annuali sulla biodiversità per l'alimentazione e l'agricoltura (BFA, Biodiversity for Food and Agriculture): la biodiversità che in un modo o nell'altro contribuisce all'agricoltura e alla produzione alimentare, prende come oggetto di studio non solo le diverse specie coltivate, il bestiame, gli alberi e le specie acquatiche, ma anche tutti gli elementi appartenenti alla scala più grande e più piccola, che permettono il mantenimento dei sistemi di alimentazione, come gli impollinatori, i predatori dei parassiti delle colture, la vegetazione limitrofa, gli invertebrati e i microrganismi che contribuiscono a creare e mantenere il suolo e la sua fertilità. In più, oltre alle specie "benefiche", la biodiversità associata comprende anche le varie specie che inibiscono la produzione agricola (piante infestanti, parassiti, ecc...)<sup>45</sup>.

Quest'ultima categoria è sempre stata considerata sotto un parametro di lavoro necessario per contrastare la sua presenza. Il termine lavoro, così come preso dalla fisica, è definito come energia, in questo caso utilizzata in un atto di conflitto. Però queste specie definite infestanti o parassitarie hanno un ruolo nel servizio ecosistemico. Possiamo quindi decidere se considerarle come elementi da tenere fuori dal sistema produttivo agricolo, applicando un lavoro (come accade nell'agricoltura convenzionale), o allargare il punto di vista su un sistema più ampio e acquisire informazioni su come rivalutare benefici della loro presenza, sfruttando la sinergia.

Da sottolineare che ad un aumento della biodiversità delle piante coltivate, aumenta anche la biodiversità associata; si tratta di un feedback loop positivo (o autorinforzante) che permette di aumentare la resilienza del sistema ecologico.

### 3.2.3 Sinergia

La sinergia viene definita come "collaborazione, cooperazione di più elementi [...] per il raggiungimento di uno stesso scopo o risultato, che comporta un rendimento maggiore di quello ottenuto dai vari elementi separati."<sup>46</sup>

Con processi sinergici quindi intendiamo sia le collaborazioni a livello sociale che ottimizzano il flusso di informazioni, materiali ed energia, tra individui, comunità, associazioni ecc..., sia le sinergie biologiche.

45] FAO. (2019). *Fao 2019 - Lo Stato Della Biodiversità Del Mondo Per L'alimentazione E L'agricoltura*.

46] *sinergia* in *Vocabolario - Treccani*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.treccani.it/vocabolario/sinergia/>

Ottimizzando le sinergie biologiche si migliorano le funzioni ecologiche del sistema coltivazione, il che si traduce in una maggiore efficienza nell'uso delle risorse<sup>47</sup>.

Per esempio in Asia si è provveduto a combinare la coltivazione del riso con pesci, anatre e alberi, migliorando le rese, la diversità alimentare, la biodiversità associata, la qualità del suolo, la riduzione delle specie patogene<sup>48</sup>.

Inoltre, un'altro rapporto sinergico avviene tra piante: attraverso il medium dell'acqua, aria e suolo, si è dimostrato che alcune tipologie di piante attuano comportamenti simbiotici al fine di ottimizzare (ottimo fisiologico) la loro crescita. Conoscere quali piante non attuano strategie di competizione, bensì di sinergia, in quali condizioni e in che modo, è importante per ottimizzare la coltivazione.

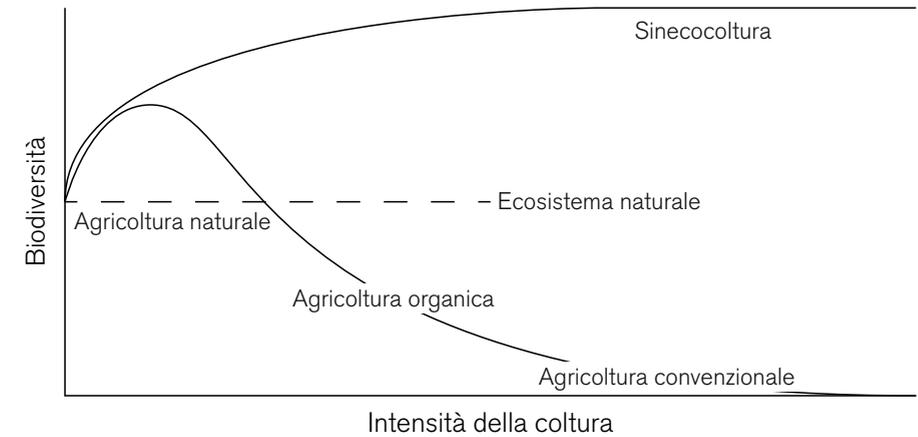
Infatti la competizione nel mondo naturale è energeticamente inefficiente. Guidata dalla spinta all'efficienza, la selezione naturale forza le specie ad essere più specializzate in rapporto al proprio ambiente attuando meccanismi sinergici con le altre specie. La specializzazione implica la riduzione di grandezza delle nicchie, ma anche un aumento di esse: nel tempo l'ecosistema può supportare più e più specie e ciò incrementa la ripetizione delle funzioni di ruoli critici. La ripetizione delle funzioni è la chiave per la resilienza dei sistemi naturali. Per esempio, in un ecosistema naturale, se una specie impollinatrice viene estinta, il sistema non collassa perchè ci sono altre specie specializzate nell'impollinare in diversi momenti o settori<sup>49</sup>.

<p><i>Ottimo fisiologico</i>  <i>"la gamma di condizioni in cui una specie può esistere meglio in isolamento"</i> (Putman and Wratter 1984). La pratica della monocoltura convenzionale mira a massimizzare la resa approssimando le condizioni ambientali per l'ottimo fisiologico delle colture.</p>	<p><i>Ottimo ecologico</i>  <i>"(il) reale intervallo (di condizioni) osservato in natura dove (una specie) cresce in associazione con gli altri"</i> (Putman and Wratter 1984).  <i>La biodiversità assieme ad un'alta densità è una condizione dominante nell'ambiente naturale.</i></p>
--	--

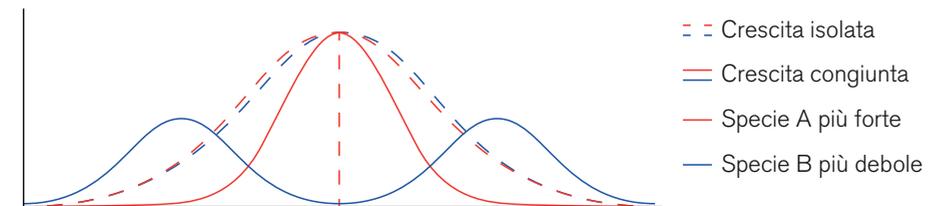
47] Commission, F. A. O., Genetic, O. N., & For, R. (2019). The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. In The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. <https://doi.org/10.4060/ca3129en>

48] FAO. (2016). Scaling-Up integrated rice-fish systems. Tapping ancient Chinese know-how. Retrieved from [www.fao.org/3/a-i4289e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4289e.pdf)

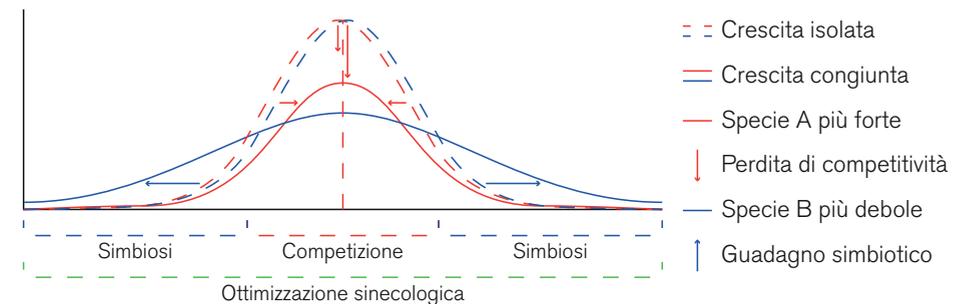
49] Simply Complex Systems | Tom Wessels | TEDxWindham - YouTube. (n.d.). Retrieved July 6, 2020, from [https://www.youtube.com/watch?v=Vr\\_4VHQFbr0&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=Vr_4VHQFbr0&feature=youtu.be)



Ottimo fisiologico - Monocoltura



Ottimo ecologico - Sinecocultura



### 3.3 Agricoltura 4.0 & 5.0

L'agricoltura 4.0 si sviluppa parallelamente all'industria 4.0, presentata per la prima volta in Germania nel 2011 con lo scopo di modernizzare l'industria manifatturiera tedesca.

Essa cavalca l'onda della cosiddetta "rivoluzione digitale" e propone un approccio strategico integrando sistemi cyber-fisici (cyber-physical system o CPS) nei processi industriali, digitalizzando e informatizzando la catena di produzione allo scopo di massimizzare la produzione; favorendo la nascita di un tipo di industria altamente produttiva, automatizzata e interconnessa<sup>50</sup>.

Lo fa attraverso nove "pilastri" tecnologici abilitanti (big data, robot autonomi, simulazione, produzione additiva, Internet of things, cloud computing, realtà aumentata, integrazione orizzontale e verticale e sicurezza informatica).

L'applicazione dei principi e delle tecnologie dell'industria 4.0 in ambito agricolo si ritiene offra una grande opportunità di limitare i consumi e massimizzare la produzione, considerando le variabilità e delle incertezze che coinvolgono la catena produttiva agro-alimentare<sup>51</sup>.

Con l'integrazione in ambito agricolo dei sistemi cyber-fisici di derivazione industriale e l'applicazione di tecnologie provenienti da diversi ambiti (elencate in seguito) è stato possibile abilitare il campo innovativo dell'agricoltura di precisione, ovvero "l'applicare il trattamento giusto nel posto giusto al momento giusto"<sup>52</sup>: analizzando informazioni precise riguardo le variazioni spaziali e temporali all'interno di un apprezzamento agricolo si è in grado di raccogliere dati, mapparli, avviare un processo decisionale, gestire le colture e le operazioni agricole al fine di aumentare le rese sito-specifiche ovvero la produttività puntuale (non complessiva del campo), aumentare l'efficienza delle risorse impiegate per evitare sprechi e aumentare la resa, aumentare la redditività e diminuire l'impatto ambientale al minimo.

Il termine agricoltura 5.0, invece, viene utilizzato per indicare l'incorporamento dell'intelligenza artificiale (AI) ai sistemi digitali in ambito agricolo<sup>53</sup>: aumentando l'interazione tra intelligenza umana e calcolo cognitivo si vuole

50| Erboz, G. (2017). How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0. Szent Istvan University - Faculty of Economics and Social Sciences, Business and Management, (November 2017), 1-8.

51| Pasquale, C. (2018). Smart Agriculture dal 4.0 al 5.0. Retrieved from [https://www.eima.it/pdf/eima-campu-2018/Smart\\_Agriculture\\_dal\\_4.0\\_al\\_5.0\\_\(P.\\_Catalano\).pdf](https://www.eima.it/pdf/eima-campu-2018/Smart_Agriculture_dal_4.0_al_5.0_(P._Catalano).pdf)

52| Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), 828-831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>

53| Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>

Requisiti tecnologici abilitanti per l'agricoltura di precisione<sup>1</sup>:

- Utilizzo di tecnologie di navigazione satellitare (GNSS), sistemi informativi geografici (GIS) e ottiche che permettono guide autonome di macchinari, droni e rover.
- Sensoristica per l'ottimizzazione dei settaggi macchina, valutazione del prodotto raccolto e monitoraggio ambientale;
- Geomappatura per mappare le tipologie di terreno, il livello di sostanze nutrienti, condizioni del suolo e lo stato delle colture;
- Telemetria, per misurare fenomeni da remoto.
- Software gestionali, per gestire dati;
- Comunicazione elettronica integrata per la gestione di dati tra i componenti della filiera: macchinari, attrezzature, aziende, clienti, istituzioni, ecc.

1| 4.0 Agriculture - Agroservizi Agricoltura. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.agroserviziagricoltura.it/4-0-agricolture/?lang=en>

portare la produzione a nuovi livelli di velocità e accuratezza<sup>54</sup>.

Questi "nuovi modi" di fare agricoltura intensiva li si possono intendere come una massimizzazione della produzione secondo alcuni parametri che derivano dal paradigma dominante. Per esempio l'agricoltura di precisione permette a droni di intervenire con pesticidi puntualmente sulla pianta malata invece di applicarli massivamente su tutto il campo, come prevede l'agricoltura convenzionale, aumentando l'efficienza e riducendo lo spreco del prodotto chimico di input. Ciò è sicuramente un passo in avanti verso la sostenibilità ambientale, ma non è di certo una pratica rigenerativa.

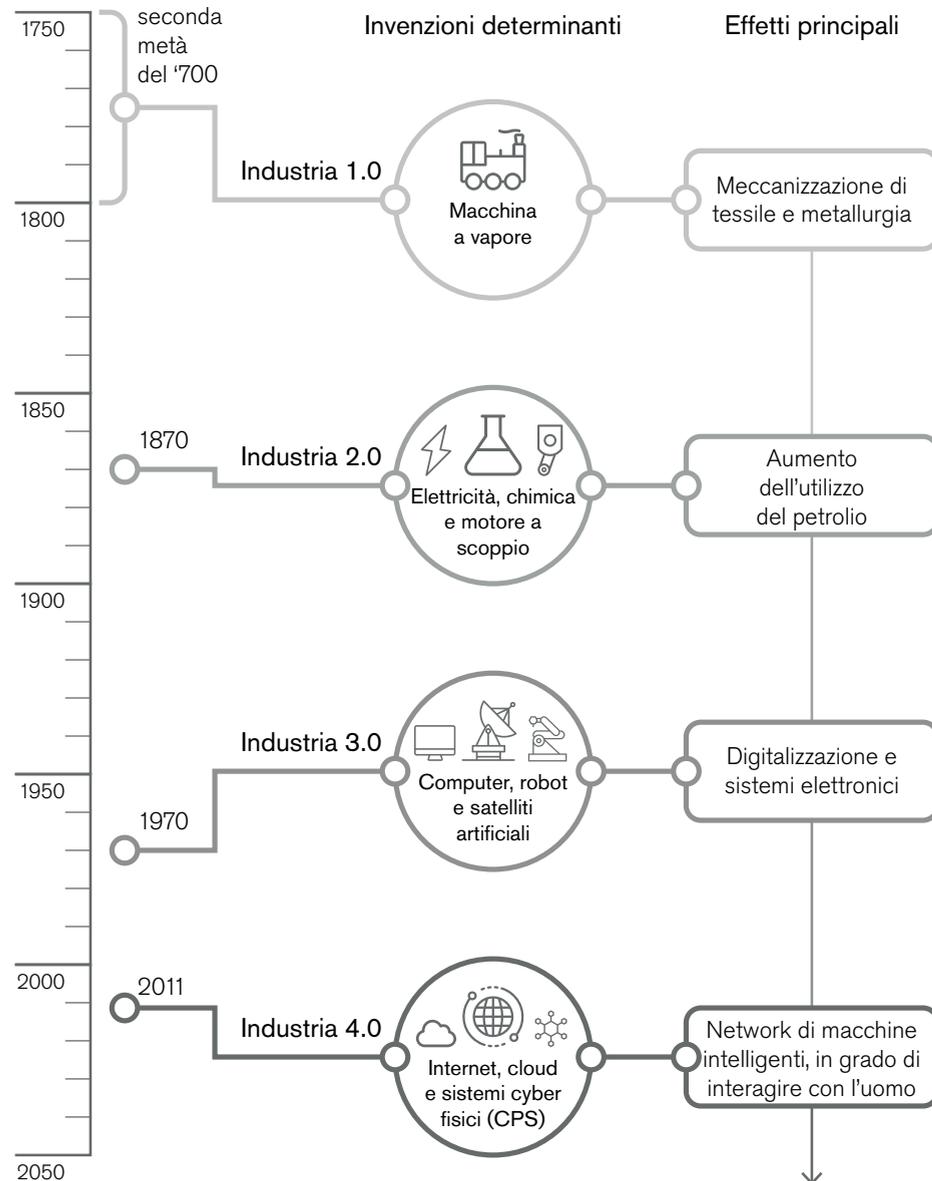
Tali pratiche possono essere considerate il continuum, "technology-driven", dell'agricoltura industriale. Le tecnologie e gli algoritmi (nel caso dell'intelligenza artificiale), infatti, sono progettati da esseri umani ed alla base delle nostre convinzioni ci sono i paradigmi, di cui si è parlato nel primo capitolo, e i cosiddetti "bias cognitivi", ovvero forme di distorsione della valutazione causata dal pregiudizio, studiati in psicologia ed economia comportamentale, che influenzano il nostro comportamento<sup>55</sup>.

La pratica dell'agricoltura 4.0 o 5.0 così come viene condotta oggi, viene

54| Pasquale, C. (2018). Smart Agriculture dal 4.0 al 5.0. Retrieved from [https://www.eima.it/pdf/eima-campu-2018/Smart\\_Agriculture\\_dal\\_4.0\\_al\\_5.0\\_\(P.\\_Catalano\).pdf](https://www.eima.it/pdf/eima-campu-2018/Smart_Agriculture_dal_4.0_al_5.0_(P._Catalano).pdf)

55| Giribaldi Davide. (2019, February 26). Intelligenza artificiale, tutti i pregiudizi (bias) che la rendono pericolosa: ecco i rischi di discriminazione algoritmica. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/intelligenza-artificiale-tutti-i-pregiudizi-bias-che-la-rendono-pericolosa/>

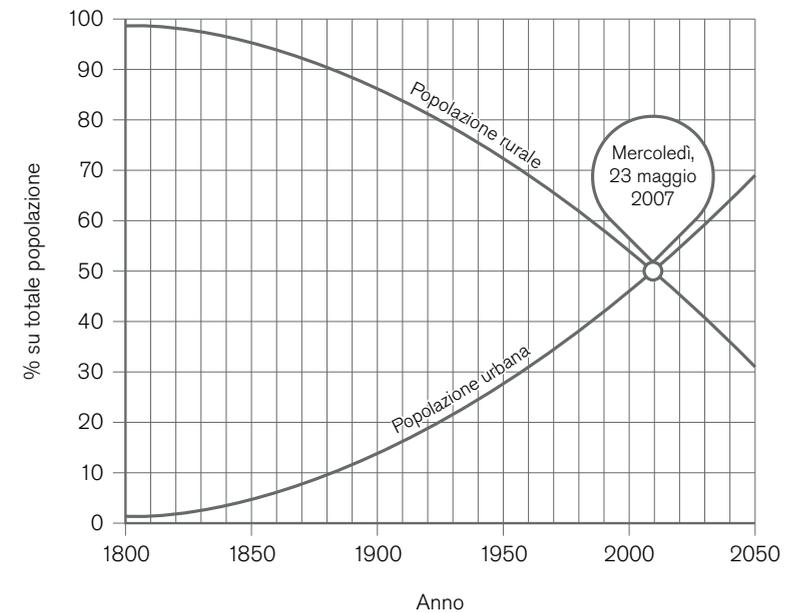
considerata il mantenimento dell'organizzazione del sistema agricolo attraverso una resa di efficienza delle pratiche principali. Piuttosto che passare a nuove funzioni del sistema, si mira ad incrementare le capacità delle funzionalità esistenti.



### 3.4 Agricoltura urbana

Le trasformazioni socio-economiche e dei modi di vita derivati dall'industrializzazione e dall'agricoltura industriale influiscono sul fenomeno dell'urbanizzazione<sup>56</sup>.

Nel XIX sec. solo il 3% della popolazione mondiale viveva nelle aree urbane. Un secolo dopo la percentuale è salita al 14% e nel 1950 è raddoppiata. Oggi circa la metà della popolazione mondiale vive nelle aree urbane e l'ONU stima che nel 2050 arriverà al 68%<sup>57</sup>. Va considerato inoltre che la popolazione globale è in aumento: arriverà a 9,7 miliardi per il 2050<sup>58</sup> e la popolazione rurale è in declino.



56] Causes, Effects and Solutions to Urbanization Leading to Urban Growth - Conserve Energy Future. (n.d). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-urbanization.php>

57] UN Department of Economics and social Affairs. (2018, May 16). 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

58] Affairs, U. D. of E. and social. (2019). World Population Prospects 2019. Highlights. Retrieved from [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf)

Conseguentemente le città<sup>59</sup> si stanno espandendo e aumentando le infrastrutture. Spesso si fondono tra loro, determinando forme urbane estese. Ne risulta che il nuovo contesto periurbano (quella zona che una volta separava l'urbano dal rurale), oggi è spesso indefinita.

Uno dei motivi della crescente urbanizzazione è che le aree urbane sono sotto molti punti di vista dei facilitatori: il cittadino molto spesso cede una parte di controllo (delega) per ottenere comfort e un relativo miglioramento dello stile di vita: si affida ad un sistema complesso di strutture artificiali (di cui conosce poco i processi) per la fornitura di beni e servizi, i cui input, soprattutto alimentari, spesso provengono dalle aree rurali; zone che hanno acquisito un valore meramente funzionale appunto per la fornitura di risorse naturali.

La crescente pressione antropica nelle città sta contribuendo pesantemente al fenomeno della frattura metabolica: su scala più ampia, le aree urbane dominano la domanda globale di servizi ecosistemici: fino al 60% delle risorse idriche viene utilizzata per fini residenziali; il 76% di legna per la produzione industriale, il 50% di rifiuti e tra il 60 e l'80% delle emissioni di gas serra<sup>60</sup>; su scala locale spesso si assiste a problematiche ambientali, tra cui la cementificazione del suolo associata alla rimozione della vegetazione, che modifica il microclima locale (effetto isola di calore) e comporta trasferimenti artificiali di energia, acqua e varie sostanze. Inoltre le città stanno cambiando le relazioni idrologiche influenzando il volume e la frequenza delle alluvioni; le superfici impermeabili artificiali riducono l'approvvigionamento idrico superficiale e l'aria inquinata contribuisce all'avvelenamento del suolo<sup>61</sup>.

Su scala individuale assistiamo al fenomeno della frattura individuale derivato dalla separazione degli individui dalla natura. Il fenomeno dell'urbanizzazione unito alla crescente riduzione di biodiversità nelle città di tutto il mondo, impedisce agli individui di vivere a contatto con la Natura; di beneficiarne o svilupparne un apprezzamento, con una conseguente riduzione della qualità della vita<sup>62</sup>.

L'agricoltura urbana si può considerare una pratica bottom-up in grado di giocare un ruolo essenziale per ricomporre le relazioni tra i servizi ecosiste-

59] aree prevalentemente antropizzate con un'alta concentrazione di persone; sono il fulcro dell'attività economica

60] Frank, B. (2017). Urban Systems: A Socio-Ecological System Perspective. *Sociology International Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.15406/sij.2017.01.00001>

61] Environmental Problems of Modern Cities | Owlcation. (2016, December 19). Retrieved July 5, 2020, from <https://owlcation.com/stem/Environmental-problems-of-modern-cities>

62] Turner, W. R., Nakamura, T., & Dinetti, M. (2009). Global Urbanization and the Separation of Humans from Nature. *BioScience*, 54.

mici e le attività antropiche nelle aree urbane.

Numerosi studi<sup>63</sup> dimostrano come l'agricoltura urbana si stia diffondendo in tutto il mondo in zone urbane in disuso per la sua capacità di offerta di cibo e posti di lavoro. Coltivare negli spazi vuoti delle aree post-industriali (in lotti vuoti, mediane stradali, parchi, luoghi abbandonati)<sup>64</sup> permette di produrre cibo laddove la densità di popolazione è più alta, riducendo i costi di trasporto e collegando i cittadini direttamente ai sistemi alimentari<sup>65</sup>, riconsiderando le scale spaziali e temporali della produzione, bonificando i terreni e de-alienando i cittadini dal loro cibo, essa si propone come una delle soluzioni per superare le fratture metaboliche descritte nelle premesse, fornendo opportunità per trasformare il sistema agroalimentare in un sistema più equo, sano ed ecologicamente sostenibile con la potenzialità di far emergere una rete crescente di sistemi alimentari locali.

Infatti l'ONU ha individuato nell'agricoltura urbana una delle strategie più importanti per raggiungere gli Obiettivi del Millennio (Millennium Development Goals o MDG), in particolare "sradicare la povertà estrema e la fame nel mondo" e "garantire la sostenibilità ambientale"<sup>66</sup>. Oggigiorno, però, l'AU non è in grado di sfamare l'intera popolazione cittadina<sup>67</sup>, permettendo una sussistenza alimentare. Nonostante ciò gli orti urbani contemporanei, spesso con gestione partecipativa, assumono funzioni diverse, con più enfasi sugli aspetti ambientali, ricreativi e sociali, offrendo servizi ecosistemici locali e migliorando il benessere, temi già trattati in precedenza.

63] Ingersoll, R., Fucci, B., & Sassatelli, M. (2007). AGRICivismo. Agricoltura urbana per la riqualificazione del paesaggio. REGIONE EMILIA-ROMAGNA.

64] McClintock, N. (2010). Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(2), 191–207. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsq005>

65] Martellozzo, F., Landry, J. S., Plouffe, D., Seufert, V., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2014). Agricoltura urbana: un'analisi globale del vincolo spaziale per soddisfare la domanda di ortaggi urbani.

66] Gianquinto Prosdomici, G. (2011). Il ruolo multifunzionale dell'Orticoltura Urbana. Padova.

67] Martin, G., Clift, R., & Christie, I. (2016). Urban Cultivation and Its Contributions to Sustainability: Nibbles of Food but Oodles of Social Capital. *Sustainability*, 8(5), 409. <https://doi.org/10.3390/su8050409>

## 3.5 Agricoltura in ambiente controllato

Contestualmente all'aumento di popolazione e al fenomeno dell'urbanizzazione, con conseguente incremento della domanda di cibo (+70% nel 2050: che equivale alla richiesta di produrre più cibo in 30-40 anni che nei precedenti 10mila<sup>68</sup>), sta emergendo la pratica dell'agricoltura in ambiente controllato (Controlled Environment Agriculture - CEA), a volte chiamata agricoltura verticale poiché permette la coltivazione intensiva sviluppandosi in altezza, tramite livelli.

Essa prevede l'utilizzo di strutture e sistemi informatici per ottenere il controllo del sistema di coltivazione al fine di mantenere le condizioni di crescita ottimali durante lo sviluppo di una coltura, cosa molto complicata nelle pratiche di coltivazione su suolo all'aperto per via delle incertezze e perturbazioni esterne difficilmente controllabili<sup>69</sup>.

In particolare, i fattori principali da monitorare e controllare sono:

- temperatura (dell'aria, della soluzione nutritiva, della radice e della foglia);
- umidità;
- anidride carbonica,
- luce (intensità, spettro, durata e intervalli);
- concentrazione di nutrienti;
- PH del medium (acidità);

Il controllo e la chiusura selettiva rispetto l'ambiente esterno (enclosure), hanno reso possibile una serie di opportunità, elencate in seguito<sup>70</sup>:

- coltivare in verticale, incrementando la produzione di persino 350 volte per metro quadrato rispetto l'agricoltura convenzionale;
- ottimizzazione delle risorse di input: dal 90 al 99% di utilizzo in meno di acqua (poiché viene riciclata) e fertilizzanti rispetto l'agricoltura convenzionale;
- coltivare in spazi urbani, promuovendo la filiera corta;
- coltivare sfruttando edifici e container inutilizzati;
- coltivare in zone desertiche;
- la chiusura rispetto l'ambiente esterno esclude gli agenti patogeni, perciò

68] Are indoor vertical farms the future of agriculture? | Stuart Oda - YouTube. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=z9jXW9r1xr8&feature=youtu.be>

69] La serra, ovvero una struttura coperta da un materiale trasparente o traslucido, è considerata un ambiente parzialmente controllato.

70] Ibidem

non sono necessari pesticidi.

- il controllo dell'ambiente permette l'automatizzazione del sistema e abilita la tracciabilità del cibo;
- produzione continuativa per tutto l'anno;
- quantità e qualità dell'output consistente e prevedibile;
- possibilità di controllare sapore, massa, resa commestibile, aroma e sostanze nutritive attraverso "ricette climatiche"<sup>71</sup>.

Nonostante i molti vantaggi, la pratica di questi metodi ha alcuni limiti<sup>72</sup>. L'applicazione su scala commerciale richiede conoscenze tecniche ed elevati investimenti iniziali, anche se i rendimenti sono elevati<sup>73</sup>. Considerando il costo iniziale, la produzione è limitata alle colture di alto valore. Sebbene gli agenti patogeni vengano esclusi dal sistema, è comunque necessaria una grande attenzione per quanto riguarda il controllo fitosanitario. Infine, alti input energetici (luci, riscaldamento, ventilazione, ...) sono necessari per far funzionare il sistema<sup>74</sup>.

All'aumento della domanda di prodotti biologici privi di prodotti chimici e pesticidi e di pratiche agricole più sostenibili, corrisponde un incremento sulla ricerca in questo ambito.

In seguito descriviamo i principali e più efficaci metodi di coltivazione senza suolo utilizzati nell'agricoltura in ambienti controllati.

### 3.5.1 Idroponica e aeroponica

I termini "Idroponica" e "aeroponica" derivano dalle parole greche "hydro" che significa "acqua" e "aeros", "aria" e posseggono lo stesso suffisso "ponos", ovvero "lavoro". Questi metodi di coltivazione, definiti "senza suolo"<sup>75</sup>,

71] Johnson, A. J., Meyerson, E., de la Parra, J., Savas, T. L., Miikkulainen, R., & Harper, C. B. (2019). Flavor-cyber-agriculture: Optimization of plant metabolites in an open-source control environment through surrogate modeling. PLOS ONE, 14(4), e0213918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213918>

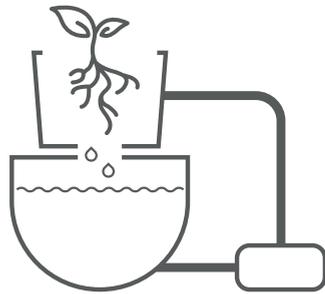
72] Sonneveld, C. (2000). Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. University of Wageningen.

73] Ibidem

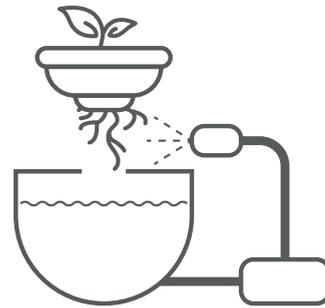
74] Van Os, E. A., Gieling, H., & Ruijs, M. N. A. (2002). Equipment for hydroponic installations. In: Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals (E. Publications, Ed.). Athens.

75] Il suolo è definito come una miscela estremamente variabile di sostanza organica e sostanza minerale che permette e ospita la vita di numerosi organismi.

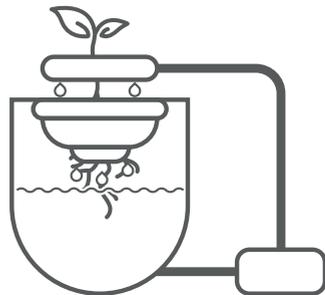
Ebb and Flow



Aeroponica



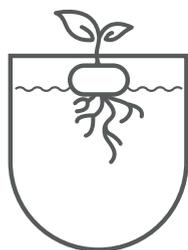
Goccia a goccia



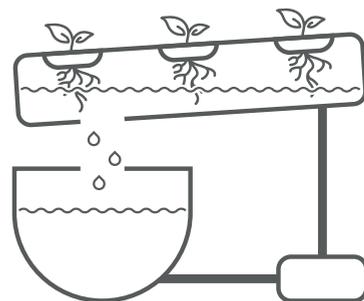
Stoppino



Deep Water Culture



Nutrient film



prevedono l'utilizzo di fertilizzanti minerali nutritivi disciolti in acqua, che vengono trasportati ed erogati attraverso un sistema di irrigazione

Per quanto riguarda la coltivazione idroponica, le radici delle piante si fanno sviluppare in materiali inerti chiamati "substrati", come perlite, ghiaia o lana minerale, i quali sono irrorati più o meno frequentemente dal flusso d'acqua mineralizzato. Essi forniscono supporto strutturale per le piante e trattengono l'umidità.

L'aeroponica invece non prevede aggregati di sostegno per le radici: le piante sono sostenute artificialmente, di solito ancorate in fori nei pannelli di polistirolo, e la loro alimentazione è provveduta da sistemi di nebulizzazione di acqua, arricchita da fertilizzanti, che investe direttamente l'apparato radicale della pianta, che è sospeso in aria<sup>76</sup>.

In entrambi i casi, data la mancanza del medium suolo, in quanto miscela estremamente variabile di sostanza organica e sostanza minerale che permette e ospita la vita di numerosi organismi, compresi agenti patogeni, l'applicazione di pesticidi è generalmente evitata.

### 3.5.2 Acquaponica

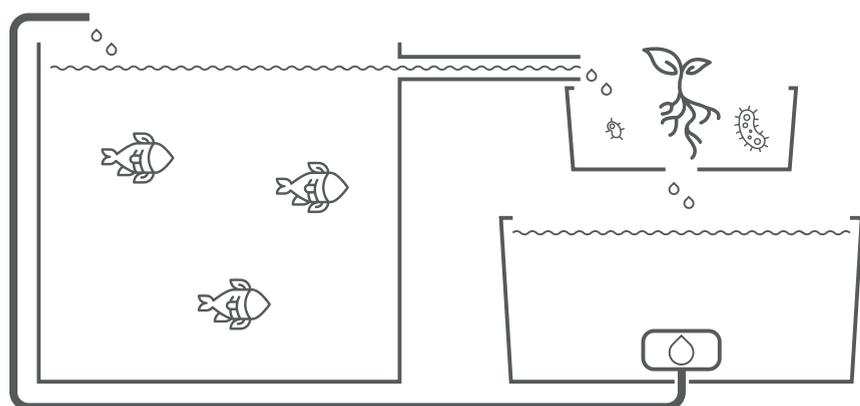
L'acquaponica è un metodo di coltivazione basato su una combinazione di acquacoltura (allevamento in cattività di pesci e di altre specie animali e vegetali acquatici in condizioni controllate, sia per l'alimentazione, sia per l'allevamento di specie acquatiche con valore ornamentale o con finalità di ripopolamento faunistico) e coltivazione idroponica, al fine di ottenere un rapporto simbiotico tra pesci, piante e batteri<sup>77</sup>.

Attraverso il lavoro pionieristico del New Alchemy Institute e di altre istituzioni accademiche nordamericane ed europee alla fine degli anni '70, e ulteriori ricerche nei decenni successivi, una forma basilare di acquaponica si è evoluta nei contemporanei sistemi di produzione alimentare: prima dei progressi tecnologici degli anni '80, la maggior parte dei tentativi di integrare l'idroponica e l'acquacoltura avevano avuto un successo limitato; negli anni '80 e '90 si sono visti progressi nella progettazione dei sistemi, nella biofiltrazione e nell'identificazione dei rapporti ottimali pesce-batteri-piante abilitando la creazione di sistemi che consentono il riciclo dell'acqua e l'accumulo di nutrienti per la crescita delle piante.

L'aquaponica combina due dei sistemi più produttivi nei rispettivi campi: i sistemi di acquacoltura a ricircolo (Recirculated Aquaculture System - RAS),

76] Aeroponica - Wikipedia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroponica>

77] FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming.



Schema di funzionamento di un sistema acquaponico semplice.

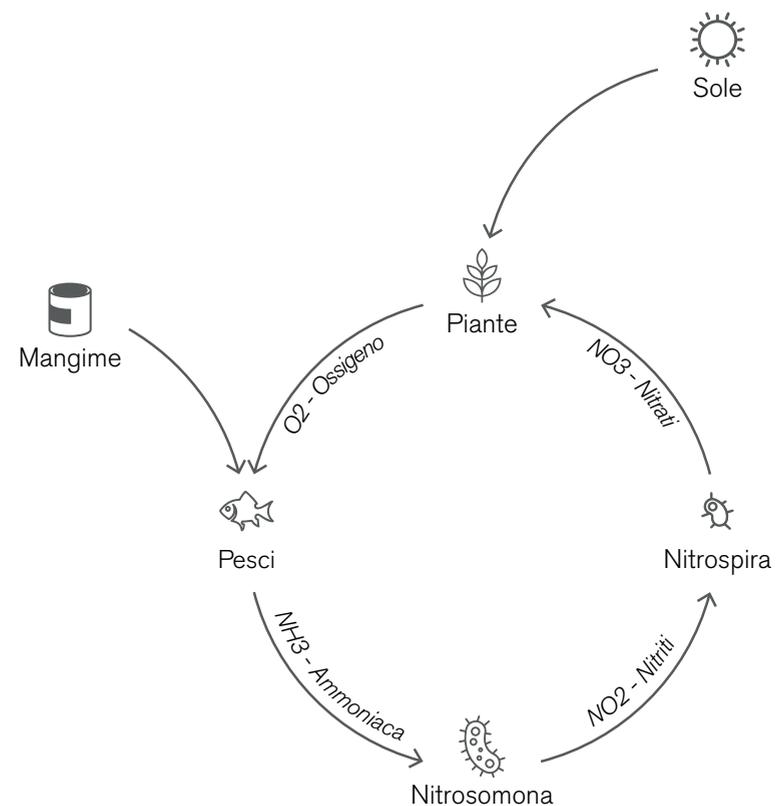
e i sistemi idroponici, che hanno conosciuto un'ampia espansione nel mondo non solo per i loro rendimenti più elevati, ma anche per il loro migliore utilizzo della terra e dell'acqua, per i metodi più semplici di controllo dell'inquinamento, per una migliore gestione dei fattori produttivi, per la loro maggiore qualità dei prodotti e per una maggiore sicurezza alimentare.

Lo schema di funzionamento di un sistema acquaponico è il seguente:

- I pesci producono feci, le quali, disciolte nell'acqua, passano attraverso dei filtri meccanici per la rimozione dei rifiuti solidi;
- Il rimanente, ovvero ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) in soluzione con acqua, viene convertita dapprima in nitriti ( $\text{NO}_2$ ) e successivamente in nitrati ( $\text{NO}_3$ ) da batteri nitrificanti (Nitrosomonas e Nitrobacter), in grado di vivere in diversi ambienti come suolo, sabbia, acqua e aria. Essi sono una componente essenziale del processo di nitrificazione che converte i rifiuti animali in nutrienti accessibili per le piante;
- L'acqua contenente nitriti e altri nutrienti viaggia attraverso il letto di crescita delle piante, le quali assorbono le sostanze nutritive;
- l'acqua ritorna al serbatoio dei pesci purificata e ossigenata.

Questo processo riflette in maniera semplificata e controllata il ciclo sinergico che occorre in natura tra regni, dove pesci, piante e batteri prosperano in simbiosi e lavorano insieme per creare un ambiente di crescita sano per tutte e tre le parti coinvolte, a condizione che l'ecosistema che va a crearsi sia adeguatamente bilanciato.

Trattandosi di un sistema complesso, la gestione di successo di un'unità acquaponica richiede una conoscenza a tutto tondo e la manutenzione quo-



Ciclo dell'azoto in un sistema acquaponico

tidiana dei tre distinti gruppi di organismi coinvolti perciò, oltre alle condizioni dell'ambiente di coltivazione, l'altro elemento che deve essere costantemente monitorato e controllato è l'acqua (ph, salinità, temperatura, ecc...), in quanto medium e ambiente che permette l'equilibrio del sistema.

Per quanto riguarda la produzione commerciale, sono necessarie quindi ampie competenze riguardo tecniche per la costruzione e l'installazione dei componenti, specialmente degli impianti idraulici e dei cablaggi e dei sistemi di monitoraggio.

Inoltre i sistemi aquaponici sono costosi: è necessario ricordare che il proprietario deve installare un sistema di acquacoltura e un sistema idroponico completi.

Infine l'acquaponica richiede un accesso costante ad alcuni input:

- l'energia elettrica è necessaria per il mantenimento dell'equilibrio del

sistema;

- il mangime per i pesci deve essere acquistato regolarmente;
- si deve avere accesso agli avannotti (piccoli nati dei pesci) per continuare a portare avanti l'unità di acquacoltura e ai semi delle piante per portare avanti l'unità di idroponica.

Questi input possono essere ridotti attraverso l'uso di impianti fotovoltaici, produzione propria di mangime per pesci<sup>78</sup>, allevamento di pesci e propagazione delle piante, ma questi compiti richiedono altrettante conoscenze aggiuntive, richiedono ulteriore tempo per la gestione quotidiana e possono essere troppo onerosi per un sistema su piccola scala.

A causa dell'elevato costo iniziale di avviamento e del limitato know-how complessivo, i sistemi acquaponici commerciali e/o semi-commerciali (quindi su scala media e larga) sono pochi: molte iniziative commerciali sono fallite perché i profitti non sono riusciti a soddisfare le richieste.

La maggior parte delle aziende agricole acquaponiche odierne utilizza pratiche di monocoltura di varietà ad alta rendita economica.

Anche se molti istituti accademici negli Stati Uniti d'America, in Europa e in Asia hanno costruito grandi unità, la maggior parte vengono utilizzate per la ricerca accademica piuttosto che per la produzione alimentare, e non sono destinati o progettati per competere con altri produttori del settore privato.

Su una piccola scala<sup>79</sup> invece, l'acquaponica è uno strumento appropriato per la produzione alimentare di una famiglia in quanto permette la possibilità di coltivare assieme varie specie vegetali, oltre quelle ittiche.

Negli ultimi cinque anni, comunità di hobbisti acquaponici, società e forum si sono sviluppati notevolmente, diffondendo consigli e lezioni apprese.

Le unità acquaponiche su piccola scala sono state promosse in vari istituti di istruzione e organizzazioni basate sulla comunità, dove l'acquaponica viene utilizzata con valore educativo per colmare il divario di conoscenza sulle tecniche agricole sostenibili, comprese le attività sostenibili parallele come la raccolta dell'acqua piovana, il riciclaggio dei nutrienti e la produzione di alimenti biologici, oltre al fatto di fornire un'esperienza di apprendimento pratico di argomenti multidisciplinari come la biologia e la botanica, la fisica e la chimica, così come l'etica, la cucina e gli studi sulla sostenibilità in generale.

78] La ricerca sta cercando di inserire nel sistema acquaponico anche insetti per nutrire i pesci; un passo in avanti nel chiudere il cerchio di nutrienti, al fine di arrivare ad un sistema il più possibile autosufficiente.

79] Con sistema acquaponico su piccola scala si intende un sistema avente acquario di circa 1000 litri e uno spazio di crescita di circa 3 m<sup>2</sup>

*Vantaggi della produzione alimentare acquaponica<sup>1</sup>:*

- *Sistema di produzione alimentare sostenibile e intensivo.*
- *Due prodotti agricoli (pesce e verdure) sono prodotti da un'unica fonte di azoto (cibo per i pesci).*
- *Estremamente efficiente.*
- *Non richiede terreno.*
- *Non utilizza fertilizzanti o pesticidi chimici.*
- *Produzione qualitativa.*
- *Produzione biologica.*
- *Maggiore livello di biosicurezza e minori rischi da contaminanti esterni.*
- *Maggiore controllo sulla produzione con conseguente riduzione delle perdite e ottimizzazione delle risorse.*
- *Può essere utilizzato su terreni non coltivabili.*
- *Le attività quotidiane, la raccolta e la semina non laboriose permettono a tutti i generi ed età di lavorare con questo metodo.*
- *Produzione economica per la produzione alimentare familiare.*
- *Grande disponibilità e documentazione di materiali da costruzione, informazioni ed istruzioni.*

*Principali punti deboli della produzione alimentare acquaponica<sup>2</sup>:*

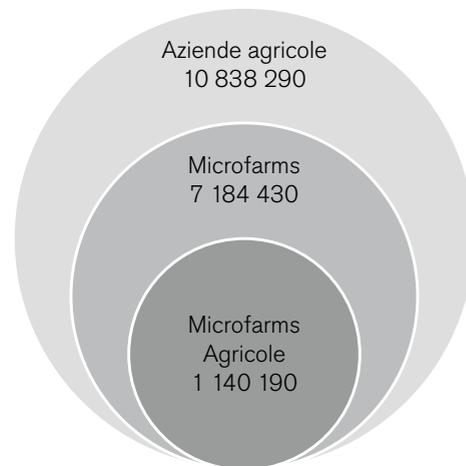
- *costi iniziali costosi rispetto alla produzione convenzionale e coltura idroponica.*
- *Necessità di conoscenza di pesci, batteri e piante.*
- *I requisiti di pesci e piante non sempre corrispondono perfettamente.*
- *Sconsigliato in luoghi in cui i pesci e le piante allevati non riescono a raggiungere il range di temperatura ottimale.*
- *flessibilità più limitata rispetto all'acquacoltura autonoma o ai sistemi idroponici.*
- *errori o incidenti possono causare un crollo catastrofico del sistema.*
- *La gestione giornaliera è obbligatoria.*
- *Necessita energia elettrica.*
- *Necessita un accesso affidabile all'elettricità, ai semi di pesce e ai semi di piante.*
- *Da sola, l'acquaponica non fornisce una dieta completa.*

1] FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming.

2] Ibidem

### 3.6 Microfarms

Con microfarms si intendono aziende che coltivano su piccole superfici (tra 0,01 e 5 ettari). Globalmente ci sono 475 milioni di microfarms con meno di 2 ettari, che producono l'84% del cibo mondiale; in Europa sono circa 7 milioni, di cui il 16% produce verdure. Spesso sono collocate nei margini (se non dentro) le aree urbane e la maggior parte di esse utilizza tecniche agroecologiche in ambiente aperto integrando sistemi robotici, fornendo un ambiente ricco per la ricerca agronomica<sup>80</sup>.



*Numeri delle microfarms su campo in Europa. Fonte Eurostat 2013*

80| ROMI. (2018). Vision and scenarios.

## 4 Transizione

Dalla ricerca esposta nei capitoli precedenti, si comprende come chi si occupa di agricoltura stia cercando di adeguarsi ai cambiamenti che la nostra epoca sta richiedendo, quindi di puntare ad una produzione meno impattante ambientalmente che permetta, nonostante ciò, la sostenibilità economica dell'azienda. L'adattamento dell'intero sistema a questa mission, però, è lento a causa di pratiche strutturate obsolete, ad alto costo iniziale, caratterizzate da razionalità limitata<sup>1</sup>, bias e paradigmi.

I temi della co-creazione (processo di progettazione partecipativa) e condivisione di conoscenze, come abbiamo esplicitato, sono uno dei 10 punti delineati della FAO per la transizione diffusa all'agroecologia poiché abilita maggiormente la sperimentazione e test di innovazioni; infatti si è dimostrato che i modelli top-down di trasferimento tecnologico abbiano poco successo<sup>2</sup>.

### 4.1 Elettronica accessibile

Durante la successione delle rivoluzioni tecnologiche, per praticità, per risparmio di risorse e per ragioni economiche, si è teso alla miniaturizzazione dei componenti elettronici. Gli studi sull'atomo hanno aperto la strada alla miniaturizzazione con la nascita dell'elettronica, la quale ha contribuito allo sviluppo di circuiti integrati sempre più diffusi, economici e potenti<sup>3</sup>.

Durante la seconda rivoluzione industriale, la miniaturizzazione era limitata ai circuiti elettronici bidimensionali utilizzati per l'elaborazione delle informazioni<sup>4</sup>. Ciò ha portato negli anni '50 allo sviluppo dei transistor, seguito dall'approccio del circuito integrato (IC)<sup>5</sup>.

Il primo transistor in grado di essere miniaturizzato<sup>6</sup> fu il cosiddetto

1] Concetto secondo il quale, "durante il processo decisionale, la razionalità di un individuo è limitata da vari fattori: dalle informazioni che possiede, dai limiti cognitivi della sua mente, dalla quantità finita di tempo di cui dispone per prendere una decisione." Gigerenzer, G., & Selten, R. (2002). Bounded Rationality. The Adaptive Toolbox (M. Press, Ed.).

2] Commission, F. A. O., Genetic, O. N., & For, R. (2019). The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. In The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. <https://doi.org/10.4060/ca3129en>

3] Miniaturizzazione - Wikipedia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://it.wikipedia.org/wiki/Miniaturizzazione>

4] Ghosh, A., & Corves, B. (2015). Introduction to Micromechanism and Microactuators (Springer, Ed.). Berlino.

5] Sharma, K. (2010). Nanostructuring Operations in Nanoscale Science and Engineering (M.-H. C. Inc, Ed.). New York.

6] Moskowitz, S. L. (2016). Advanced Materials Innovation. Managing Global Technology in the 21st

MOSFET (transistor ad effetto di campo a semiconduttore di metallo) del 1959; grazie alla sua elevata scalabilità<sup>7</sup> e il basso consumo energetico, venne prodotto in serie per una vasta gamma di usi, con conseguente aumento dei transistor rispetto alle tecnologie valvolari.

All'inizio degli anni '60, Gordon E. Moore, futuro fondatore di Intel, riconobbe che le caratteristiche elettriche e di ridimensionamento dei MOSFET avrebbero portato ad aumentare rapidamente i livelli di integrazione e una crescita senza pari nelle applicazioni elettroniche<sup>8</sup>. La legge di Moore prevede che il numero di transistor su un circuito integrato raddoppi ogni 18 mesi, aumentandone la complessità<sup>9</sup>.

Moore predisse che i transistor sarebbero iniziati a diventare più piccoli nell'imminente futuro, il che significa più economico da produrre<sup>10</sup>.

Stando alla Legge di Moore, i componenti elettronici, quindi, sono diventati sempre più piccoli, economici e performanti. La miniaturizzazione, e tutte le sue conseguenze, ha portato i componenti elettronici a diffondersi sempre di più andando a raggiungere anche una fetta di utenti, hobbisti e amatoriali, interessati alla produzione indipendente di circuiti integrati a partire dai componenti elettronici.

La riduzione dei costi, l'accessibilità di componenti di maggiore qualità e di dimensioni ridotte, uniti ad altri fattori di carattere culturale e storico, hanno portato sul mercato dei dispositivi Open Hardware che abilitano la possibilità di creazione di progetti in maniera libera.

### 4.1.1 Open Source

Questa semplice esigenza di condividere il software modificato, in combinazione con l'avvento di Internet negli anni '90, è ciò che ha permesso al modello di sviluppo decentralizzato e collaborativo del movimento del software libero di prosperare.

Lo sviluppo dei componenti per l'elettronica di consumo ha contribuito,

---

century (Wiley, Ed.). Hoboken, USA.

7| Motoyoshi, M. (2009). Through-Silicon Via (TSV). *Proceedings of the IEEE*, 97(1), 43–48. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2008.2007462>

8| Golio, M. (2007). *RF and Microwave Passive and Active Technologies* (CRC Press, Ed.). Boca Raton, USA.

9| Moore, G. E. (2006). Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from *Electronics*, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff. *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, 11(3), 33–35. <https://doi.org/10.1109/N-SSC.2006.4785860>

10| Moore, G. E., & Brock, D. (2006). *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation* (C. H. Press, Ed.). Philadelphia.

assieme alla nascita della filosofia dell'Open Source, alla nascita di strumenti di sviluppo creati con lo scopo di dare all'utente la possibilità di realizzazione rapida di prototipi.

Con "Open Source" si indica un insieme di progetti il cui software o istruzioni e documenti progettuali (nel caso di oggetti) sono diffusi in maniera accessibile, liberamente, a chiunque, permettendo loro di apportare modifiche. Dunque è una filosofia antitetica rispetto il brevetto.

Oggi i prodotti Open Source pervadono nel settore IT (tecnologia dell'informazione)<sup>11</sup>.

### 4.1.2 Arduino & Arduino compatibili

Nato nel 2005 a Ivrea dalla mano di Massimo Banzi, David Cuartielles, David Mellis, Tom Igoe e Gianluca Martino, Arduino offre all'utente una piattaforma di sviluppo integrato sia attraverso una famiglia di schede, sia attraverso un ambiente di sviluppo integrato (IDE) che permette di programmarle<sup>12</sup>.

La piattaforma fisica si basa su un circuito stampato che integra un microcontrollore con dei pin connessi alle porte I/O, un regolatore di tensione e, solitamente un'interfaccia USB che permette la comunicazione con il dispositivo per la programmazione. Arduino offre un ambiente di sviluppo integrato attraverso il quale è possibile programmare l'hardware tramite un linguaggio di programmazione semplificato. Ciò permette anche ad utenti con una limitata competenza di interfacciarsi al mondo di Arduino.

Arduino può essere utilizzato sia per lo sviluppo di progetti stand-alone, sia per progetti che hanno necessità di comunicare con software terzi.

La piattaforma hardware Arduino è spesso distribuita ad hobbisti in versioni pre-assemblate, acquistabili online o in negozi specializzati.

Anche se inizialmente le piattaforme fisiche Arduino sono hardware closed source, la community di utenti è riuscita a raggiungere le informazioni celate, portando lo staff di Arduino all'accordo che chiunque lo desideri può legalmente auto-costruirsi un clone di Arduino oppure derivarne una versione modificata<sup>13</sup>.

Questa scelta ha consentito lo sviluppo di prodotti Arduino-compatibili

---

11| Neary Dave. (2018, February 1). 6 pivotal moments in open source history | Opensource.com. Retrieved July 5, 2020, from <https://opensource.com/article/18/2/pivotal-moments-history-open-source>

12| Justin Lahart. (2009, November 27). Taking an Open-Source Approach to Hardware. *The Wall Street Journal*.

13| Arduino - HardwarePictures. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.arduino.cc/en/Main/HardwarePictures>

da parte di piccole e medie aziende in tutto il mondo abilitando la possibilità di scelta tra un'enorme quantità di queste schede. Tutti questi prodotti sono accomunati dal codice sorgente per l'ambiente di sviluppo integrato e dalla libreria residente, resi disponibili e concessi in uso secondo i termini legali della licenza libera GPLv2.

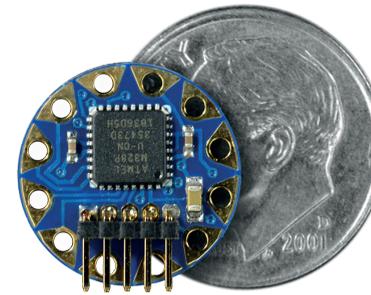
Ne elenchiamo alcuni:

- TinyLily, più piccolo di una monetina, progettato per e-textiles;
- A1284, la scheda sulla quale si basa il progetto della stampante 3D Anet A8;
- ArduPilot, Una scheda compatibile con Arduino progettata per l'auto-pilotaggio di aerei, automobili e barche. Esso utilizza la tecnologia GPS per la navigazione.

Altre schede possono nascere indipendenti, e diventare Arduino-compatibili attraverso un'implementazione software.

È questo il caso delle schede ESP32, una serie di sistemi a basso costo e bassa potenza basati su microcontrollori con Wi-Fi integrato e Bluetooth dual-mode. Grazie a questi due fattori, questa tipologia di schede stanno diventando uno dei dispositivi standard per la creazione di progetti IoT. Citiamo alcuni sviluppi di questa tipologia di schede:

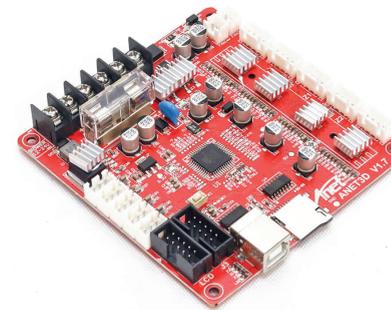
- ESP32CAM, che integra nativamente un modulo fotocamera;
- ESP32OLED, che integra nativamente uno schermo OLED di piccole dimensioni;
- NodeMCU, che sta diventando un dispositivo standard per la realizzazione di progetti IoT Arduino-compatibili.



*TinyLily*



*ESP32CAM*



*A1284*



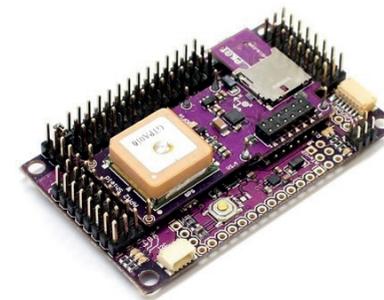
*ESP32OLED*



*Arduino Uno*



*Arduino compatibile*



*ArduPilot*



*ESP8266-NodeMCU*

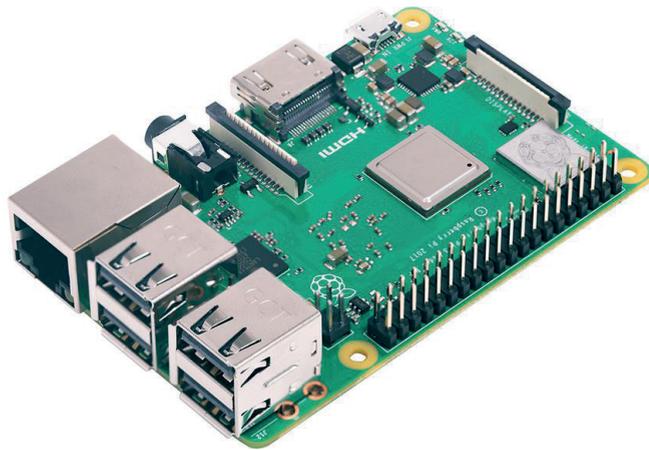
### 4.1.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi sono una serie di single-board computer<sup>14</sup> (piccoli computer a scheda singola) sviluppati nel Regno Unito dalla Raspberry Pi Foundation con lo scopo di promuovere l'insegnamento dell'informatica di base nelle scuole e nei paesi in via di sviluppo.

Si presenta come una piccola scheda elettronica con delle porte disponibili per poter ospitare diversi moduli aggiuntivi e utilizzarla come un computer, oppure come una scheda di sviluppo per la prototipazione.

In quanto si tratta di un computer a tutti gli effetti, le schede Raspberry sono attrezzate con delle porte che permettono il collegamento di altri elementi: porte USB, jack audio, porte HDMI ecc... Sono presenti a bordo della scheda la stessa tipologia di porte GPIO adottate anche da Arduino.

Arduino e RaspberryPi differiscono però, non solo per via della loro natura (uno infatti è un microcontrollore mentre l'altro è un single-board computer), ma anche per il linguaggio di programmazione necessario (C++ e Python) e nel tipo di approccio Open Source che adottano: la piattaforma Raspberry infatti è libera solo sul fronte Software, mentre sul fronte Hardware detiene il brevetto chiuso dei componenti e della circuitazione delle schede.



Raspberry Pi 3 Model B+

14] Un computer a scheda singola (SBC) è un computer costruito su una scheda a circuito singolo, con microprocessore, memoria, input/output e altre funzionalità richieste per un computer completamente funzionale. Fonte: COM - Based SBCs: The Superior Architecture for Small Form Factor Embedded Systems (PDF), Diamond Systems Corp.

### 4.1.4 Sensoristica

Nella definizione più ampia, un sensore è un dispositivo il cui scopo è rilevare eventi o cambiamenti del proprio ambiente e inviare le informazioni ad un altro dispositivo elettronico al quale è connesso.

Più precisamente è un componente che fisicamente effettua la trasformazione della grandezza d'ingresso in un segnale di altra natura<sup>15</sup>.

Con i progressi dei microcontrollori e delle piattaforme di programmazione accessibili, gli usi dei sensori si sono estesi oltre i tradizionali campi di misurazione della temperatura, della pressione o del flusso<sup>16</sup>, ad esempio i sensori MARG, che offrono informazioni di posizionamento su tre assi. Inoltre, sensori analogici di tecnologia più datata, come i potenziometri e le celle di carico, sono ancora ampiamente utilizzati.

Le applicazioni includono produzione e macchinari, aeroplani e aerospaziali, automobili, medicina, robotica e molti altri aspetti della nostra vita quotidiana.

Esistono numerosi sensori che misurano le proprietà chimiche e fisiche dei materiali: alcuni esempi includono sensori ottici per la misurazione dell'indice di rifrazione, sensori di vibrazione per la misurazione della viscosità di un fluido e sensori elettrochimici per il monitoraggio del pH delle soluzioni.

Un buon sensore obbedisce alle seguenti regole<sup>17</sup>:

- è sensibile alla proprietà misurata;
- è insensibile a qualsiasi altra proprietà;
- non influenza la proprietà misurata.

La caratteristica più importante dei sensori è la sensibilità, la quale indica la variazione della misura in uscita rispetto a quella in ingresso.

Il progresso tecnologico consente di produrre sempre più sensori su scala microscopica come microsensori utilizzando la tecnologia MEMS. Nella maggior parte dei casi, un microsensore raggiunge un tempo di misurazione significativamente più veloce e una maggiore sensibilità rispetto agli approcci macroscopici<sup>18</sup>. A causa della crescente domanda di informazioni rapide, convenienti e affidabili nel mondo di oggi, i sensori monouso - dispositivi a basso

15] Secchi, C. (2005). Sensori e trasduttori. Ingegneria e Tecnologie dei Sistemi di Controllo.

16] Bennett, S. (1993). A History of Control Engineering 1930–1955 (P. P. Ltd., Ed.). Londra.

17] Dincer, C., Bruch, R., Costa-Rama, E., Fernandez-Abedul, M. T., Merkoci, A., Manz, A., ... Guder, F. (2019). Disposable Sensors in Diagnostics, Food, and Environmental Monitoring.

18] Ganesh, K. (2010). Modern General Knowledge (U. Prakashan, Ed.).

costo e facili da usare per il monitoraggio a breve termine o misurazioni a colpo singolo - hanno recentemente acquisito un'importanza crescente: questa classe di sensori permette l'ottenimento di informazioni analitiche importanti che possono essere ottenute da chiunque, ovunque e in qualsiasi momento, senza la necessità di ricalibrare e preoccuparsi della contaminazione<sup>19</sup>.

#### 4.1.4.1 Tipologie di sensori

A causa del numero elevato dei sensori esistenti, è pressoché impossibile categorizzare le tipologie di sensori sul lato hardware: potenza assorbita, voltaggio necessario, dimensioni, numero di pin necessari al collegamento, e sviluppi tecnologici hanno portato alla necessità di definizione di alcuni standard di comunicazione tra i sensori e le board.

Esistono sensori che necessitano il collegamento con un solo cavo, oltre ai due cavi di alimentazione, attraverso il quale passa il segnale (ad esempio un potenziometro analogico o un pulsante digitale); sensori che hanno necessità di due cavi aggiuntivi per lo scambio dati e di particolari protocolli di comunicazione (ad esempio i sensori I2C o i sensori Seriali); o anche sensori che hanno la necessità di avere ancora più cavi e più protocolli di comunicazione necessari (ad esempio un modulo per il Real Time Clock).

Oltre a queste incompatibilità, se ne aggiungono anche in termini di corrente e di tensione, i quali dettano la tipologia dei connettori da usare: molto spesso a parità di sensore la posizione dei pin varia da produttore a produttore.

Ciò determina l'impossibilità sul lato hardware di un dispositivo che possa interfacciarsi in maniera standard con dei sensori plug & play.

Infine, affinché un segnale analogico possa essere elaborato, deve essere convertito in un segnale digitale, utilizzando un convertitore analogico-digitale.

#### 4.1.5 Attuatori

Un attuttore è uno strumento attraverso il quale un agente (che può essere un agente intelligente artificiale o un qualsiasi altro essere autonomo come un umano o un animale) agisce su un ambiente. In senso lato, un attuttore è talvolta definito come un qualsiasi dispositivo che converte dell'energia da una forma a un'altra, in modo che questa agisca nell'ambiente fisico<sup>20</sup>.

19] Dincer, C., Bruch, R., Costa-Rama, E., Fernandez-Abedul, M. T., Merkoci, A., Manz, A., ... Guder, F. (2019). Disposable Sensors in Diagnostics, Food, and Environmental Monitoring.

20] Attuatore. (n.d.). Retrieved from <https://it.wikipedia.org/wiki/Attuatore>

## 4.2 Commons collaborativo

Il nuovo paradigma economico "commons collaborativo" basato sul "bit" sembra una via altamente percorribile per lo scambio di conoscenze bottom-up e la conseguente risoluzione di tensioni socio-ecologiche perché ha costi marginali tendenti allo zero<sup>21</sup>, e ciò significa meno rischi di investimento e una capacità di diffusione nettamente maggiore rispetto il modello capitalistico.

Il bit, infatti, è una risorsa pressoché<sup>22</sup> inesauribile in quanto le informazioni basate su di esso possono essere copiate e trasformate innumerevoli volte. Si presta perciò a diventare common, ovvero: non di dominio pubblico, ma in comune, perciò di tutti e usufruibile da tutti attraverso internet.

## 4.3 Community

Conseguentemente è emerso il fenomeno delle community digitali, ovvero "gruppi sociali che, per un argomento specifico, condividono una specialità, un ruolo, una passione, un interesse, una preoccupazione o una serie di problemi"<sup>23</sup>.

I membri delle community (appassionati, imprenditori e professionisti) producono valore condividendo conoscenze e progetti online; essi imparano e si confrontano interagendo con altri peers (persone alla pari), contribuendo all'innovazione dal basso (bottom-up). Il concetto chiave è, citando il filosofo Pierre Levy, autore del libro *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*, "Nessuno sa tutto, ognuno sa qualcosa" e tante piccole conoscenze messe assieme possono portare a grandi risultati. Le community più numerose hanno quindi la potenzialità di superare il livello di creazione di conoscenza e opportunità delle grandi aziende<sup>24</sup>, che oltretutto sono più rigide e lente all'adattamento.

21] Jeremy Rifkin. (2014). La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo.

22] Si considerano marginali i costi del mantenimento della struttura di scambio di bit, ovvero server, infrastrutture, energia (con il crescente spostamento dell'approvvigionamento di energia verso le risorse rinnovabili, in futuro ciò potrebbe non essere un problema)

23] Garfield, S. Communities Manifesto. , (2010).

24] Anderson, C. (2013). Makers. Il ritorno dei produttori. Per una nuova rivoluzione industriale (Rizzoli, ed.). Segrate.

## 4.4 Prosumer

Oggi giorno si assiste ad un crescente sviluppo di community indirizzate verso l'autoproduzione<sup>25</sup>. I prosumer, termine utilizzato per indicare coloro che producono e consumano (nell'accezione di utilizzare) le loro creazioni, tramite la grande quantità di documentazione di progetti già avviati e funzionanti e la possibilità di progettare a costo quasi zero, perseguono i loro fabbisogni ed interessi agendo al di fuori dell'offerta del mercato e condividono i risultati sotto licenze aperte. Analogamente i designer oggi non per forza hanno bisogno di committenza poichè ogni persona ha una coscienza propria e coscienza collettiva. Secondo Rifkin, questa crescente spinta dal basso proietterà "l'economia in un'era di beni e servizi quasi gratuiti"<sup>26</sup>.

## 4.5 IoT - Internet delle Cose

*"Da: in qualsiasi momento, in qualsiasi luogo per chiunque,  
a: in qualsiasi momento, in qualsiasi luogo per qualsiasi cosa"<sup>27</sup>.*

Con il rapido sviluppo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) è stato possibile sviluppare l'Internet delle Cose (Internet of Things, IoT): termine che fa riferimento all'estensione di Internet al mondo degli oggetti e dei luoghi concreti<sup>28</sup>. Diversi dispositivi e oggetti "smart", ciascuno con un identificatore unico, possono essere connessi con protocolli di comunicazione standard gli uni agli altri attraverso in una rete al fine di raccogliere, generare, elaborare, scambiare e restituire informazioni. Essi devono quindi essere identificabili, essere in grado di comunicare e essere in grado di interagire. L'obiettivo principale è svolgere operazioni complesse e compiti intelligenti in modo cooperativo facendo interagire e integrando il mondo rea-

25] "Il termine Open Source si riferisce a qualcosa che le persone possono modificare e condividere perché il suo design è accessibile al pubblico. Oggi, tuttavia, "Open Source" designa un insieme più ampio di valori [...]: progetti, prodotti o iniziative Open Source abbracciano e celebrano i principi di scambio aperto, partecipazione collaborativa, prototipazione rapida, trasparenza, meritocrazia e sviluppo orientato alla comunità." What is open source software? | Opensource.com. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://opensource.com/resources/what-open-source>

26] Rifkin, J. (2014). La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo (Mondadori, Ed.). Milano.

27] Coetzee, L., & Eksteen, J. (2011). The internet of things - Promise for the future? An introduction. 2011 IST-Africa Conference Proceedings, IST 2011, 1-9.

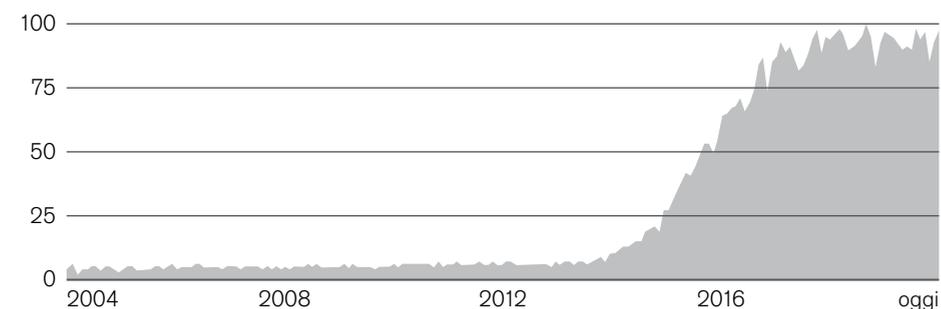
28] Internet delle cose - Wikipedia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Internet\\_delle\\_cose](https://it.wikipedia.org/wiki/Internet_delle_cose)

le e il cyberspazio<sup>29</sup> attraverso un'interconnessione più estesa (numero di dispositivi, tipo di tecnologie dei dispositivi e modalità di interconnessione), una percezione più intensa dell'informazione (collaborazione per integrare dati non uniformi, incoerenti e imprecisi) e un servizio intelligente più completo.

In particolare, utilizzando le reti di sensori wireless (WSN), un gran numero di sensori intelligenti possono essere impiegati per monitorare le condizioni ambientali e inviare segnali ad un sistema di controllo che risponde con un'azione appropriata. Tale meccanismo può essere adottato in diverse aree con diversi scopi.

L'intelligenza incorporata agli oggetti intelligenti, che è indipendente dalla rete e non è collegata a Internet, è una caratteristica chiave dell'Internet degli oggetti.

La popolarità della ricerca sul web di questi paradigmi e dell'internet degli oggetti negli ultimi cinque anni, ottenuta grazie alle tendenze di ricerca di Google<sup>30</sup>, indica la crescente utilizzazione dell'internet degli oggetti: possiamo vedere come sia aumentata in modo significativo negli ultimi due anni. È probabile che continui, poiché si presterà maggiore attenzione e si svilupperanno tecnologie avanzate dell'internet degli oggetti al fine di ottimizzare ad ogni scala i sistemi da cui dipendiamo.



*Interesse nel tempo globale riferito all'argomento IoT*

*I numeri rappresentano l'interesse di ricerca rispetto al punto più alto del grafico in relazione alla regione e al periodo indicati. Il valore 100 indica la maggiore frequenza di ricerca del termine, 50 indica la metà delle ricerche. Un punteggio pari a 0, invece, indica che non sono stati rilevati dati sufficienti per il termine.*

29] Ma, H.-D. (2011). Internet of things: objectives and scientific challenges. Journal of Computer Science and Technology.

30] Google Trends. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://trends.google.com/trends/?geo=US>

## 4.6 Verso un'agroecologia spontanea

La crescente diffusione e democratizzazione di tecnologie basate sulla filosofia Open Source, in particolare dispositivi integrabili nell'internet delle cose (IoT), assieme alla continua implementazione di capacità di calcolo, sta portando all'emergenza di nuovi metodi per comprendere la realtà e attuare decisioni. Di conseguenza le abitudini delle persone e le relazioni del sistema si stanno evolvendo con l'uso<sup>31</sup>; ovvero l'uso permette loro di acquisire agency, definita come "la capacità di interagire come soggetto con l'ambiente esterno"<sup>32</sup>.

Ciò allarga di conseguenza la concezione di "self" anche all'ambiente circostante, ovvero esplicitando i processi di lettura e scrittura che intercorrono tra soggetto e ambiente e che portano all'adattamento e coevoluzione.

L'estensione di internet applicata al mondo degli oggetti permette di creare sistemi cyber-fisici (sistemi informatici in grado di interagire in modo continuo con il sistema fisico) le cui strutture artificiali (rappresentate dal prefisso "cyber") possono essere espansive a rete aggregando sistemi terzi, anche grazie al fatto che la standardizzazione delle interfacce comunicative avviene via software, bypassando l'hardware.

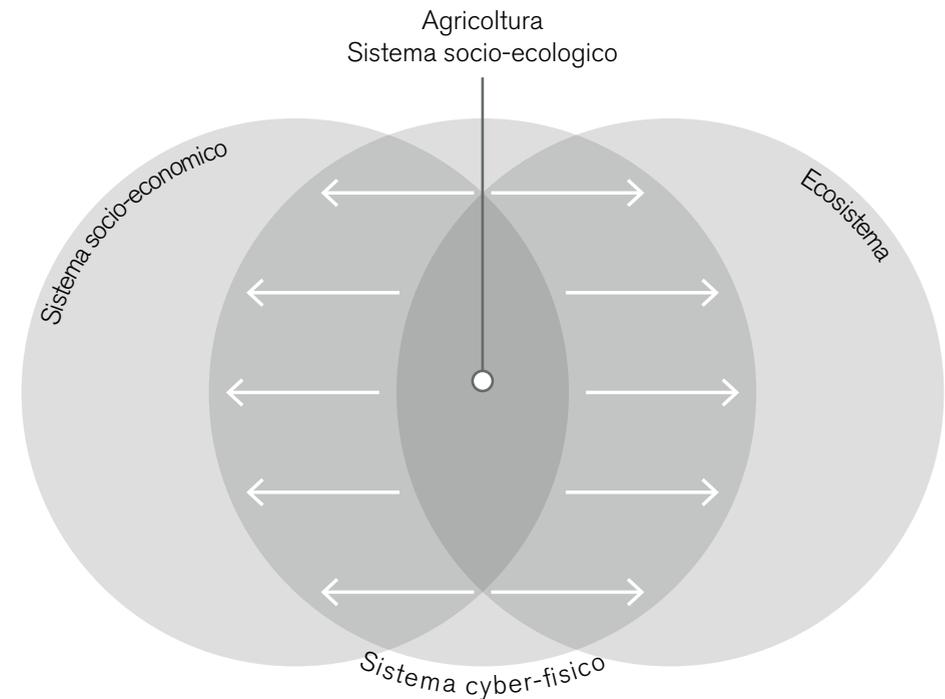
L'applicazione di questi sistemi nell'ambito dell'agricoltura, quindi, si ritiene possa espandere la nostra capacità osservativa riguardo i processi naturali, cambiando la cultura dell'agricoltura: da molte pratiche strutturate dall'esperienza<sup>33</sup> (path-dependent e biased) a pratiche più sagge che considerano fattori anche lontani dalla prospettiva dell'individuo (naturalmente limitata) e del paradigma attualmente dominante.

Con ciò non si afferma che il contatto diretto con la natura sia superfluo, anzi: l'agroecologia infatti richiede un contatto diretto con essa, anziché venire solo mediata digitalmente<sup>34</sup>.

Infatti è necessario provvedere ad una ristrutturazione del dialogo con la natura ed in particolare, per quanto riguarda l'agricoltura, con l'entità pianta, al fine di esplicitare anche i suoi bisogni.

Automatizzare processi che prima avevano una priorità percettiva e porta-

re alla luce, invece, processi che non venivano considerati, al fine di associare ad essi un significato e integrarli nelle abitudini, si considera una strategia molto percorribile.



31| Valpreda, F., & Cataffo, M. (2018). Beyond Participatory Design for Service Robotics. 173–181.

32| Favareau, D., Cobley, P., & Kull, K. (2012). A More Developed Sign: Interpreting the Work of Jesper Hoffmeyer (U. of T. Pr, Ed.).

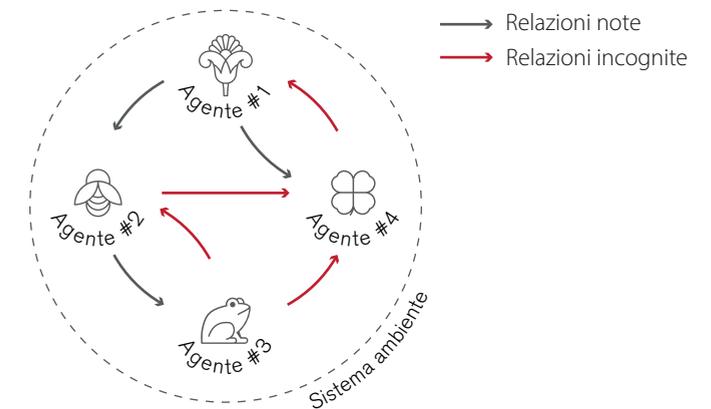
33| Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 90–91.

34| Ibidem

## 5 Monitoraggio ambientale dei sistemi di coltivazione

### 5.1 Scala della conoscenza

I cambiamenti ambientali si verificano naturalmente in ogni sistema e fanno parte di e/o sono il risultato di cicli e interazioni multiple.



Lo studio dei singoli componenti dei sistemi ambientali fornisce informazioni limitate sul sistema stesso; è perciò necessario, al fine di comprendere le interdipendenze tra gli elementi del sistema e l'interazione dinamica, in questo caso, tra i fenomeni ambientali e le piante da coltivare, progettare per abilitare la possibilità di monitorare nel modo più ricco di informazioni possibile, i cambiamenti ambientali.

Il monitoraggio ambientale è definito come l'osservazione e lo studio dell'ambiente<sup>1</sup>.

Lo scopo primario è raccogliere dati validi da cui si può ricavare conoscenza; la conoscenza derivata dall'informazione porta ad una migliore comprensione delle relazioni del sistema, e ciò migliora le possibilità di prendere decisioni informate. Abilita, in breve, un decision making migliore<sup>2</sup>.

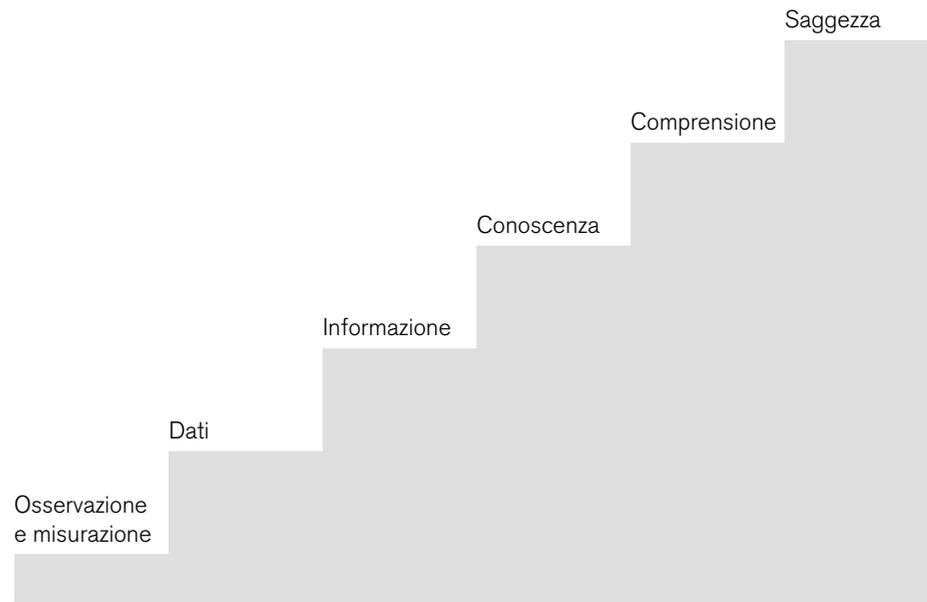
Il monitoraggio ambientale dei fenomeni chimici, fisici e biologici permette quindi di ricavare dati che possono essere correlati ai comportamenti della pianta. Ciò a sua volta permette di modellizzare il sistema coltivazione, derivando informazioni che altrimenti non si riuscirebbero ad osservare; si digitalizza, così facendo, un atto sensoriale, superando il limite della percezione diretta. Si possono quindi ipoteticamente derivare informazioni riguardo i

1| Artiola, J., Pepper, I. L., & Brusseau, M. L. (2004). Environmental Monitoring and Characterization (A. Press, Ed.). Cambridge.

2| Ibidem

processi interni alle piante e la loro co-interazione con l'ambiente e con gli altri esseri viventi.

Ipoteticamente si può abilitare quindi non solo la conoscenza dei fattori di influenza diretti, ma anche dei tight e loose feedback loops: le correlazioni effimere, instabili o ambigue tra elementi con il fine ultimo di ottimizzare il sistema.



## 5.2 Sviluppo e crescita vegetale

Per capire come l'individuo pianta interagisce dinamicamente con l'ambiente che lo circonda al fine di svilupparsi al fine di identificare i fenomeni base da monitorare, ovvero gli input del sistema cyber-fisico atto a relazionarsi con gli ambienti di coltivazione, è necessario far testo alla disciplina della fenologia, la quale studia i pattern di sviluppo negli organismi viventi in rapporto ai fattori climatici. Essa mira ad individuare e descrivere le fasi di tali fenomeni correlandoli con le variabili ambientali<sup>3</sup>.

3] Silvestri, G. (2017). Fenologia. Lezione n. 1 Parte generale. Retrieved from [https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/8195/mod\\_resource/content/1/feno\\_generale.pdf](https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/8195/mod_resource/content/1/feno_generale.pdf)

I compiti della fenologia sono:

- Definire i fenomeni da registrare; essi si possono suddividere in:
- fattori endogeni (dettati principalmente dalla natura della specie della pianta);
- fattori esogeni (fattori ambientali esterni)
- Fornire scale di riferimento univoche;
- Fornire tecniche di osservazioni riproducibili;
- Proporre chiavi interpretative decisionali.

Specifichiamo che il termine "sviluppo" non è sinonimo in questo caso di "crescita": con il primo si intende il continuo mutare della forma e delle funzioni di un individuo che si realizza attraverso: la produzione di nuove cellule, nuovi tessuti e comparsa e scomparsa di organi, importanti modificazioni nelle funzioni e nell'aspetto dell'organismo durante il ciclo vitale; il secondo fa riferimento all'aumento di peso di un organo o dell'intero organismo<sup>4</sup>.

È chiaro che spesso essi siano interdipendenti.

### 5.2.1 Fenofasi

Le fenofasi registrano la durata dei diversi stadi di sviluppo delle piante.

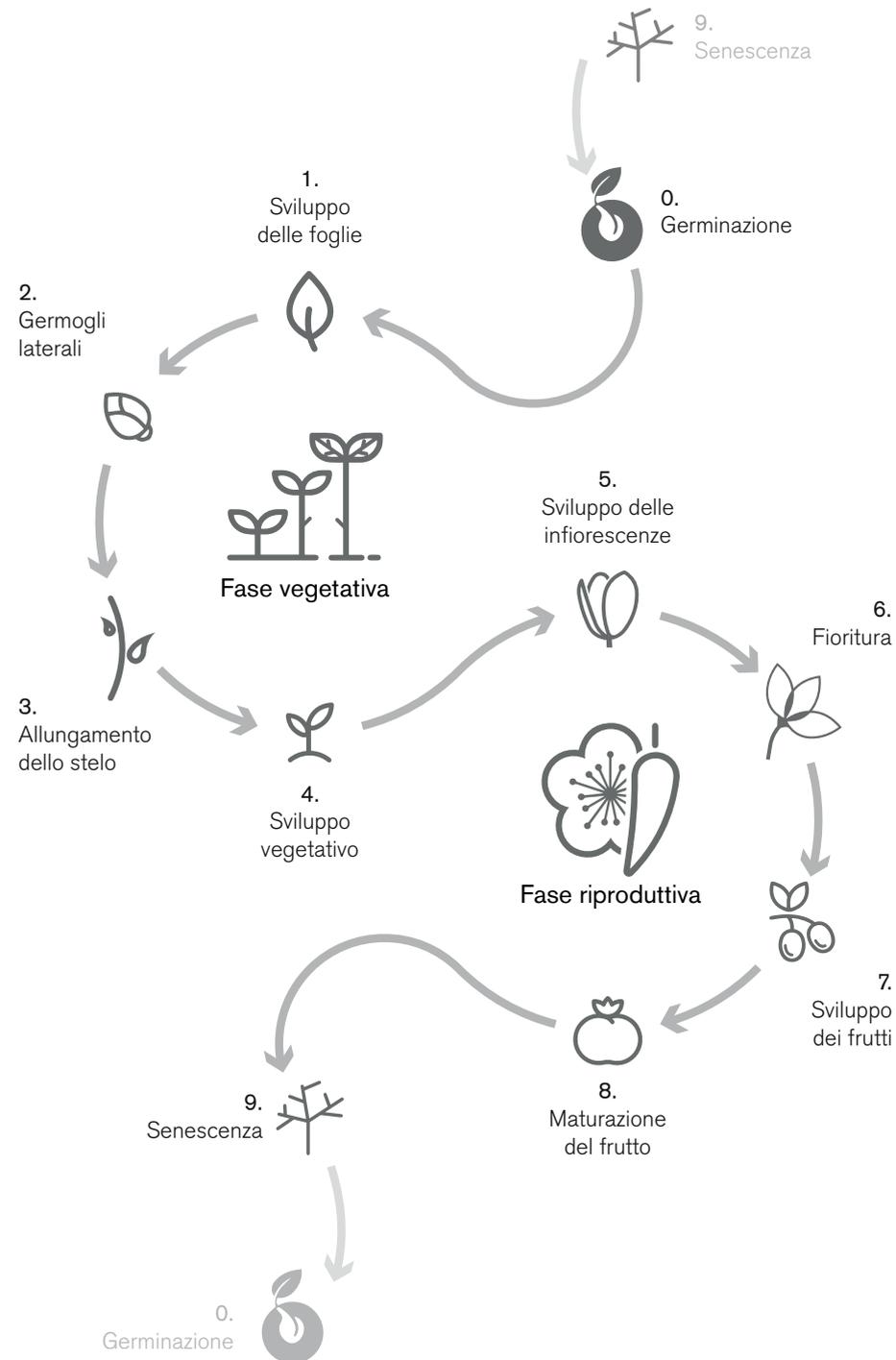
La scala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry)<sup>5</sup> è un sistema decimale ideato per codificare uniformemente stadi fenologici.

La sua struttura permette di racchiudere tutte le scale già esistenti; inoltre è possibile utilizzarla anche per tutte quelle specie per le quali attualmente non sono disponibili scale apposite.

La scala BBCH è divisa in stadi di sviluppo primari e secondari, dove ogni stadio viene indicato tramite un codice composto da due cifre.

4] Ibidem

5] La scala BBCH è opera di un lavoro di gruppo tra: German Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA); German Federal Office of Plant Varieties (BSA); German Agrochemical Association (IVA); Institute for Vegetables and Ornamentals in Grossbeeren/Erfurt, Germany (IGZ). Si basa sulla scala di Zadoks (1974).



## 5.2.2 Fattori endogeni di sviluppo vegetale

I fattori endogeni<sup>6</sup> sono caratteristici per ogni pianta; possono essere genetici e non genetici.

I fattori endogeni non genetici fanno riferimento all'età e allo stato di sviluppo (per esempio, dopo un certo numero di primordi fogliari o raggiunta una certa dimensione, la pianta inizia il processo di formazione fiorale).

I fattori endogeni genetici dipendono dal corredo genetico della pianta; è possibile intervenire su di essi al fine di migliorare l'output produttivo attraverso:

- Selezione massale: si promuove la riproduzione degli esemplari più promettenti selezionandone e piantandone i semi.
- Selezione genealogica: si sceglie la discendenza di un particolare individuo.
- Ibridazione: si incrociano varietà della stessa specie, o specie simili, per ottenere esemplari ibridi con le caratteristiche desiderate.
- Mutazioni: le mutazioni genetiche possono verificarsi dopo esposizione a radiazioni o dopo trattamenti particolari. Gli esemplari mutati spesso sono sterili, ma più resistenti e con più biomassa.

## 5.2.3 Fattori esogeni di sviluppo vegetale

Come si è già esplicitato precedentemente, le piante sono esseri sensibili e capaci di prese di decisione; quindi esse interagiscono con l'ambiente, il quale determina il loro sviluppo.

I fattori ambientali esogeni che influenzano lo sviluppo della pianta sono principalmente<sup>7</sup>:

- Luce (intensità, durata, composizione spettrale);
- Temperatura (valori medi e fluttuazioni giornaliere e stagionali);
- Disponibilità idrica;
- Altri agenti (gravità, vento, copertura nevosa, agenti chimici, ecc...).

6| Fattori che Influenzano il Contenuto e la Qualità dei Principi Attivi nelle Droghe | Appunti Farmacia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://appuntifarmacia.altervista.org/fattori-influenzano-contenuto-la-qualita-dei-principi-attivi/>

7| Bonomi, C. (2012). Fenologia: cicli di crescita e sviluppo delle piante. Retrieved from [https://www2.muse.it/servizi\\_educativi/docenti/corsi/2012-2013/corso\\_fenologia/documenti/Modulo1\\_fenologia\\_Bonomi\\_2012.pdf](https://www2.muse.it/servizi_educativi/docenti/corsi/2012-2013/corso_fenologia/documenti/Modulo1_fenologia_Bonomi_2012.pdf)

I quali agiscono sulle piante in diversi modi<sup>8</sup>:

- Induttivo (determinano l'inizio o la fine di una fenofase)
- Quantitativo (velocità nella crescita o nello sviluppo)
- Formativo (morfogenesi).

## Luce

La luce agisce sulla pianta definendone il fotoperiodo, ovvero la durata astronomica del giorno, e influenza l'induzione alla fioritura in molte specie vegetali. In base al fotoperiodo, vengono classificati tre tipi di piante:

- Piante brevidiurne (fotoperiodo < 12 ore)
- Piante longidiurne (fotoperiodo > 14 ore)
- Piante neutrodiurne (indipendenti dal fotoperiodo)

La luce viene percepita da vari specifici fotorecettori posti in tutta la pianta tranne sull'apparato radicale. In particolare il fitocromo (pigmento proteico blu, atto a rilevare la luce nello spettro visibile rosso), gioca un ruolo chiave nella percezione della durata del giorno e della notte. Esso permette alle piante di percepire l'ombra (influenzando ad esempio la germinazione dei semi), la durata del giorno e delle stagioni (fotoperiodismo diurno e stagionale) fornendo un feedback alla pianta indipendente dal clima (es. induzione a fiore, sviluppo e caduta delle foglie, dimorfismi stagionali).

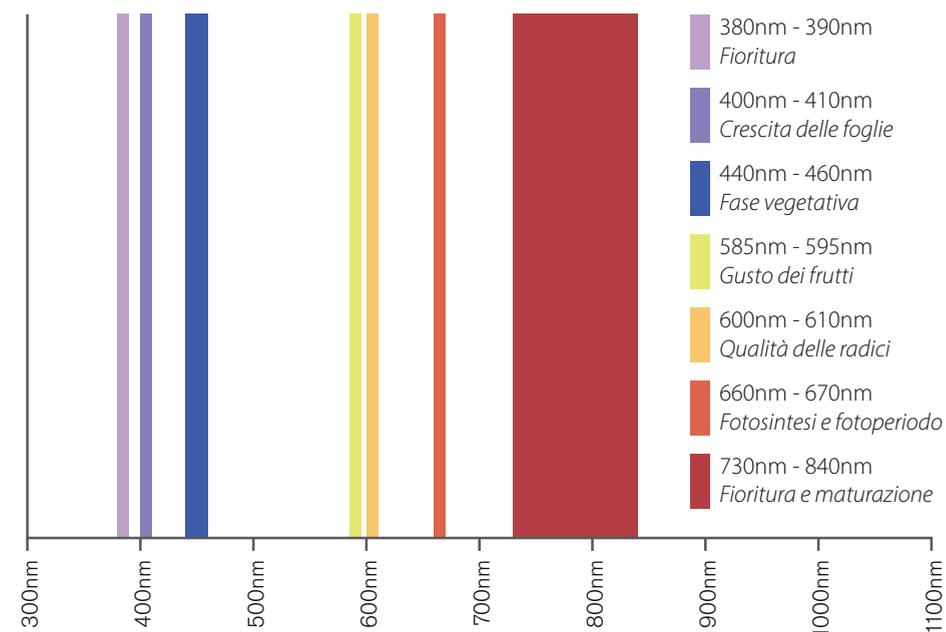
Oltre ad agire sul fotoperiodo, la luce agisce sulla pianta in altri modi:

- Fotostimolazione (fotosintesi e crescita);
- Fototropismo<sup>9</sup> (direzione della crescita);
- Fotonastia (posizione diversa delle parti a seconda dell'alternanza di cicli diurni)
- Fotoinduzione:
  - morfogenesi ("In embriologia, l'insieme dei processi che portano al differenziamento dei tessuti e degli organi a partire da elementi indifferenziati"<sup>10</sup>);
  - fotoperiodismo ("In fisiologia vegetale, l'insieme dei processi fisiologici

8| Silvestri, G. (2017). Fenologia. Lezione n. 1 Parte generale. Retrieved from [https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/8195/mod\\_resource/content/1/feno\\_generale.pdf](https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/8195/mod_resource/content/1/feno_generale.pdf)

9| Il fototropismo positivo riguarda fusto e foglie, mentre quello negativo le radici.

10| morfogenesi nell'Enciclopedia Treccani. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.treccani.it/enciclopedia/morfogenesi/>



che avvengono nelle piante in relazione al fotoperiodo"<sup>11</sup>).

- Le piante hanno diverse necessità di durata dell'irraggiamento e di frequenza della banda luminosa a seconda delle diverse fasi della vita:
- La luce ultravioletta visibile (380nm - 390nm) guida la pianta alla fioritura, previene la filatura del fusto e provvede alla sterilizzazione da agenti patogeni;
- La luce blu-viola (400nm - 410nm) promuove la crescita di foglie verdi intensificando il colore della polpa della pianta;
- La luce blu (440nm - 460nm) promuove la crescita di radici e foglie, e inibisce la filatura;
- La luce verde (515nm - 535nm) non viene assorbita quasi mai (e questa è la ragione del colore delle piante);
- La luce gialla (585nm - 595nm) migliora il gusto e il contenuto nutritivo dei frutti;
- La luce arancione (600nm - 610nm) migliora la qualità delle radici e la lucentezza delle foglie;
- La luce rossa (660nm - 670nm) ha un grande effetto sulla fotosintesi e sul fotoperiodo;

11| fotoperiodismo in Vocabolario - Treccani. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.treccani.it/vocabolario/fotoperiodismo/>

- La luce infrarossa visibile (730nm - 840nm) promuove la crescita dei rizomi e aiuta la fioritura, aumentando il raccolto.

Lo spettro della luce che solitamente è necessario monitorare va dai 400nm agli 800nm circa.

Un'errata composizione della luce può essere dannosa per la pianta: una preponderanza della luce blu-violetta per esempio può causare ritardi nella crescita in altezza, mentre l'irradiazione prevalentemente basata sul rosso e sull'infrarosso stimola un eccessivo accrescimento longitudinale (piante sfilate).

### Temperatura

Le piante sono pecilotermi, ovvero incapaci di mantenere stabile la propria temperatura interna. La temperatura ambientale perciò regola la velocità di trasferimento dell'energia, e quindi la velocità delle reazioni biochimiche. Analogamente al fotoperiodo, ogni specie ha il suo caratteristico intervallo termico biologico, o cardinale termico, come ad esempio lo zero di vegetazione (temperatura al di sotto della quale l'accrescimento non si verifica)<sup>12</sup>.

La temperatura ha sulla pianta sia un effetto quantitativo (legato all'energia utilizzata per il metabolismo), sia un effetto regolativo (che agisce su termoinduzione, termoperiodismo, termomorfismo).

La temperatura regola la crescita e lo sviluppo della pianta già dal seme, ancor prima dell'influenza della luce. Essa agisce nei seguenti modi:

- come stimolo per la germinazione dei semi;
- influenzando la crescita di rami e radici;
- influenzando la formazione di fiori (vernalizzazione);
- il termoperiodo escursione giorno/notte stimola o blocca la crescita.

I periodi di crescita legati alle differenze di temperatura (ovvero le termofasi) sono influenzate dalla temperatura. Le termofasi possono essere positive, innescate quando la temperatura è sopra la media annuale, o negative, quando è sotto.

Possiamo distinguere delle categorie di piante in base alle termofasi:

- Specie paratermocicliche (attive in entrambe le termofasi);
- Specie atermocicliche (attive solamente nella termofase positiva);

<sup>12</sup> Zero di vegetazione - Agrometeorologia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://putignanometeo.forumfree.it/?t=36085628>

- Piante insensibili al fotoperiodo.

La crescita della pianta è regolata da fotoperiodicità e termoperiodicità, spesso variabile tra ecotipi e popolazioni differenti della stessa specie.

Nella dormienza invernale (interruzione della crescita regolata da stimoli interni ed esterni) si hanno 3 fasi:

- predormienza (fotoperiodo brevidiurno; basse temperature);
- dormienza completa in Novembre e Dicembre in cui uno sbalzo termico non può riattivare la gemma;
- termine della dormienza: quando si completa il requisito di freddo ininterrotto per il numero prefissato di settimane. In quest'ultima fase, ecodormienza, il risveglio vegetativo è limitato solo dalla soglia termica dipendente dalla specie.

### Disponibilità idrica

L'acqua è un elemento critico per l'attività metabolica. Quando il contenuto idrico si riduce sotto il 20-25% dell'idratazione massima iniziano già a manifestarsi i primi disturbi metabolici per molti enzimi.

La quantità di disponibilità idrica induce la pianta a cambiare di fase; per esempio di solito una scarsità di acqua influenza lo sviluppo floreale.

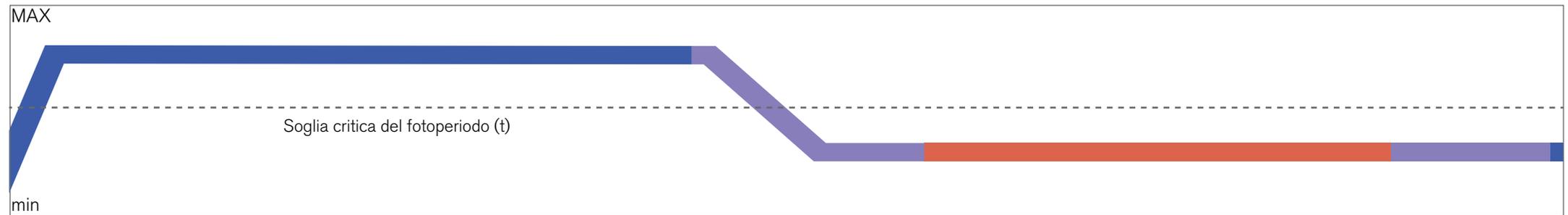
# Piante brevidiurne

Fase vegetativa

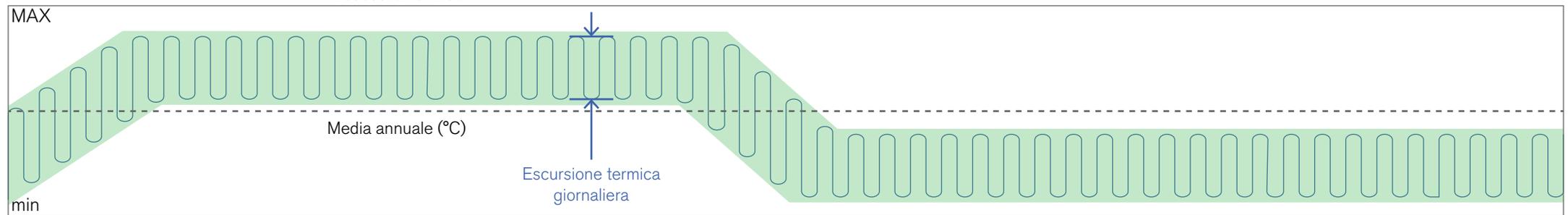
Fase riproduttiva



Necessità luminosa



Necessità termica



Necessità idrica



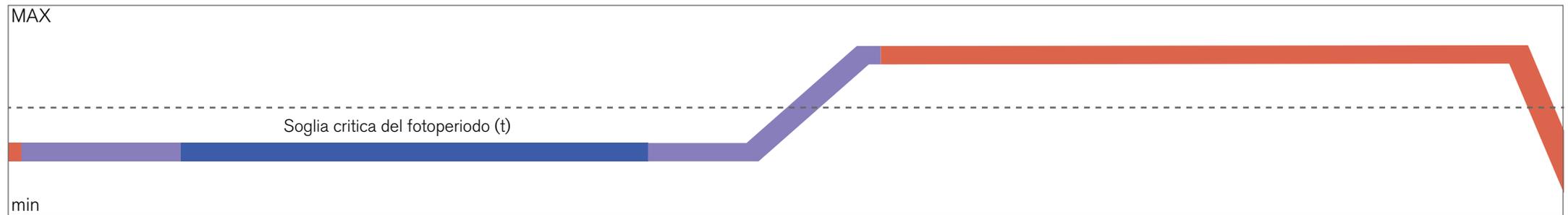
# Piante longidiurne

Fase vegetativa

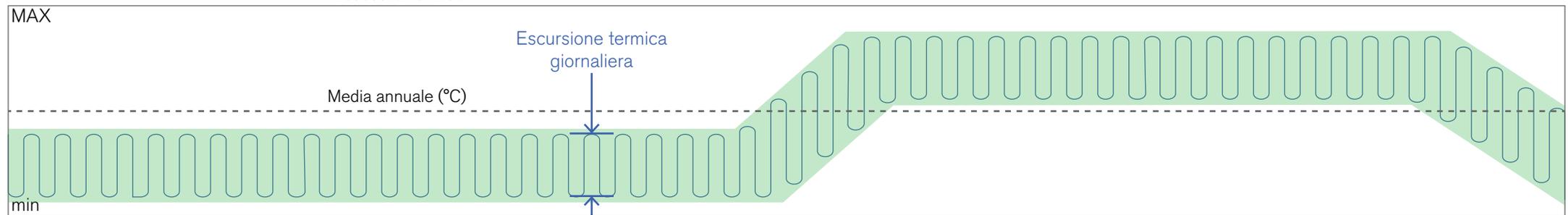
Fase riproduttiva



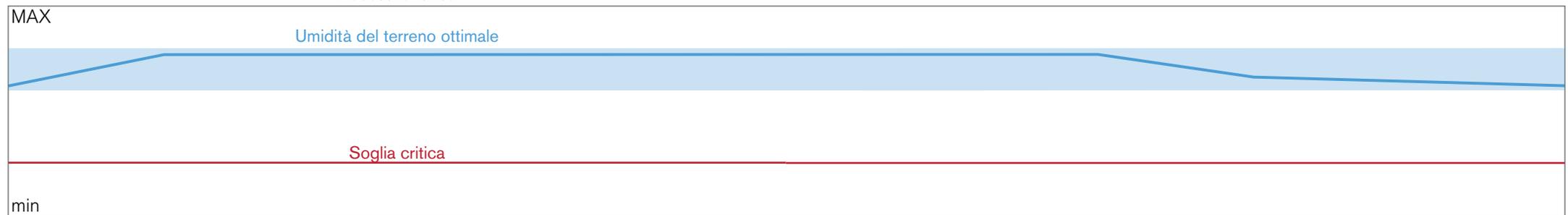
Necessità luminosa



Necessità termica



Necessità idrica



## 5.2.4 Fattori esogeni di crescita vegetale

In seguito si esplicita quali sono i fattori che influenzano la crescita della pianta. Lo sviluppo e la crescita delle piante sono strettamente correlati, così come i fattori che determinano questi processi, perciò si ripeteranno alcuni fattori già esposti, con un particolare focus su come agiscono sui processi di crescita.

### Luce

Sono tre le caratteristiche principali della luce che influenzano la crescita delle piante: quantità, qualità e durata<sup>13</sup>.

- **Quantità:** si riferisce all'intensità della luce e determina la capacità di attuare il processo di fotosintesi. Maggiore è l'intensità, maggiore è la quantità di biomassa producibile.
- **Qualità:** si riferisce al colore (lunghezza d'onda) della luce. La luce blu e rossa, che le piante assorbono, hanno il massimo effetto sulla crescita delle piante.
- La durata o fotoperiodo.

### Temperatura

La temperatura influenza la maggior parte dei processi vegetali. Entro un certo limite, all'aumentare della temperatura, aumentano i processi di fotosintesi, traspirazione e respirazione<sup>14</sup>.

### Acqua e umidità

L'acqua è un componente critico per molti processi vegetativi che influenzano la crescita. Solitamente le piante sono composte per il 90% da acqua. Di seguito elenchiamo le sue funzioni<sup>15</sup>:

- co-permette i processi di fotosintesi e respirazione;

13| Environmental Factors Affecting Plant Growth | OSU Extension Service. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/environmental-factors-affecting-plant-growth>

14| Ibidem

15| Ibidem

- determina la pressione del turgore nelle cellule, necessario per mantenere la forma cellulare e garantire la crescita cellulare;
- agisce da solvente e mezzo per minerali e carboidrati, trasportandoli in tutta la pianta;
- permette il raffreddamento delle foglie durante la traspirazione;
- regola l'apertura e chiusura stomatica, controllando così la traspirazione e la fotosintesi;
- è la fonte di pressione che permette l'avanzamento delle radici attraverso il suolo;
- è il mezzo attraverso il quale si verificano la maggior parte delle reazioni biochimiche.

Possiamo categorizzare le piante in base al loro fabbisogno d'acqua<sup>16</sup>:

- xerofite, poco esigenti;
- mesofite, mediamente esigenti;
- idrofite, molto esigenti;
- tropofite, adattate ad un clima in cui si alternano elevata umidità e forte siccità.

Il vapore acqueo presente nell'aria si sposta da un'area con elevata umidità relativa a una con bassa umidità relativa. Maggiore è la differenza di umidità, più veloce si sposta l'acqua. Ciò influenza il tasso di traspirazione di una pianta.

L'umidità relativa nell'aria è identificata dal rapporto tra il vapore acqueo nell'aria e la quantità di acqua che l'aria contiene alle condizioni ambientali correnti.

Gli ambienti di coltivazione su suolo sono certamente quelli più diffusi e quelli storicamente più utilizzati a livello globale. In questi contesti la pianta, attraverso l'apparato radicale, prende e scambia nutrienti dal medium terreno.

L'umidità relativa del terreno ( $U_r$  o  $rH$ , relative humidity) è caratterizzata dal potenziale idrico: in agronomia e in pedologia, il potenziale idrico è un parametro differenziale che misura l'energia potenziale che ha l'acqua presente nel suolo, in riferimento alle condizioni dell'acqua libera. Questo parametro è utilizzato per calcolare il lavoro che le piante devono attuare per l'assorbimento radicale, ed è di basilare importanza nei calcoli relativi all'irrigazione. Il potenziale idrico, ha effetto sull'umidità relativa del terreno, fornendo tre

16| Agrometeorologia - Wikipedia. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Agrometeorologia#Acqua\\_e\\_piante](https://it.wikipedia.org/wiki/Agrometeorologia#Acqua_e_piante)

contributi:

- acqua igroscopica: assorbita dalla superficie dei granuli del terreno e non rimovibile attraverso normale essiccamento;
- acqua di imbibizione o di capillarità: contenuta nei pori dei granuli del terreno, dove viene assorbita per capillarità;
- acqua di percolazione o freatica o libera: si trova negli spazi interstiziali tra i granuli, ed è il tipo di contributo essenziale che permette l'assorbimento da parte della pianta e la sua derivante crescita, perciò è quella che infine è necessario monitorare.

Data la complessità delle misurazioni, e dato il fatto che l'acqua igroscopica e l'acqua di imbibizione forniscono un contributo relativamente misurabile rispetto all'acqua di percolazione, solitamente ci si limita a misurare l'umidità relativa del terreno attraverso il monitoraggio dell'acqua di percolazione.

### Nutrizione

Le piante hanno bisogno di 17 elementi per i loro processi interni al fine di perseguire una crescita ottimale:

Il carbonio, l'idrogeno e l'ossigeno si trovano sia nell'aria che nell'acqua. La disponibilità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) nell'aria è essenziale ed ha un ruolo predominante per l'attivazione della fotosintesi clorofilliana che avviene nei cloroplasti, ovvero la conversione di acqua, anidride carbonica atmosferica e luce in energia, in elementi alimentari (ad esempio carboidrati semplici) ed ossigeno in output.

Oltre i primi tre, i macronutrienti, presenti solo nel suolo, sono quelli usati in quantità maggiore dalle piante. Essi sono azoto, potassio, magnesio, calcio, fosforo e zolfo.

Altri elementi del suolo, che però sono usati in quantità minore (micronutrienti) sono ferro, zinco, molibdeno, manganese, boro, rame, cobalto e cloro.

La quasi totalità (98%) dei nutrienti di cui una pianta ha bisogno viene assorbita dalle sue radici, in quanto disciolta nell'acqua.

N.B. nutrizione e fertilizzazione, sebbene spesso siano confusi o utilizzati come sinonimi, non sono la stessa cosa: la nutrizione delle piante si riferisce alla necessità e all'uso di una pianta di elementi chimici di base; fertilizzazione è il termine usato per indicare il processo di aggiunta di questi elementi nell'ambiente circostante una pianta.

## Fitopatologie

Le malattie possono essere causa di arresto nella crescita e, in seguito, di morte della pianta.

### 5.3 Sensori virtuali

Lo scopo dei sensori virtuali è minimizzare l'energia spesa a misurare per il processo che si vuole monitorare cosicché, tramite l'acquisizione, raccolta e interpretazione dei dati, si possa misurare un fenomeno complesso a partire da meno sensori fisici possibili. Un esempio di ciò, analizzato nella sezione dei casi studio, è BuzzBox di OSBeehives, un progetto del Fablab di Barcellona; una rete di cittadini e scienziati che seguono il declino delle api. BuzzBox è un sistema di monitoraggio dell'alveare: tramite lo studio dei pattern di frequenza (il sensore sonoro misura la spettrografia) determina il ruolo e le posizioni delle api; la loro salute, l'eventuale mancanza della regina, l'eventuale collasso del sistema alveare<sup>17</sup>.

### 5.4 Monitoraggio nei sistemi idroponici e aeroponici

Nell'idroponica e in aeroponica, a causa della limitata capacità di buffering dei nutrienti e la possibilità da parte del coltivatore di effettuare rapidi cambiamenti, è necessario un attento monitoraggio del sistema.

I due aspetti riguardanti la nutrizione della pianta che devono essere considerati maggiormente sono la quantità e qualità di sostanze nutritive immesse e la risposta ai nutrienti da parte dei vegetali: in particolare, la frequenza e il volume della soluzione nutritiva applicata dipende dal tipo di substrato utilizzato (volume e caratteristiche fisico-chimiche), dalla coltura (specie e stadio di sviluppo), dalle dimensioni del contenitore, dai sistemi di irrigazione utilizzati e dalle condizioni climatiche ambientali (controllate o meno) che caratterizzano l'ambiente di coltivazione.

Le piante devono essere alimentate quotidianamente, e il momento migliore per somministrare loro la soluzione nutritiva è tra le 6.00 e le 8.00 del mattino, anche se il fabbisogno di acqua varia notevolmente nel corso della

<sup>17</sup> OSBeehives | BuzzBox Hive Health Monitor & Beekeeping App. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.osbeehives.com/>

giornata e da un giorno all'altro, soprattutto in base alla fase di sviluppo fenologico che caratterizza la pianta in un dato momento. La soluzione deve essere applicata alle radici, cercando di evitare di bagnare le foglie per evitare danni e la comparsa di malattie. In nessun caso si deve permettere che le piante soffrano di stress idrico, poiché questo influirà sulla loro resa finale.

Una volta che la soluzione di acqua e sostanze nutrienti avrà fatto il proprio ciclo, la soluzione nutritiva in eccesso viene drenata via dai contenitori durante l'irrigazione quotidiana, e può essere riutilizzata nell'irrigazione successiva fornendo un risparmio in termini di costi e risorse.

Il pH della soluzione nutritiva cambia costantemente man mano che la pianta cresce: variazioni di pH inferiori a 0,1 unità non sono significative, ma l'intervallo di pH ottimale va da 5,5 a 6,5 nella maggior parte delle soluzioni nutritive adatte alla maggior parte delle specie, ma, come già raccontato, le specie differiscono in modo significativo e diverse possono crescere ben al di fuori di questo intervallo. Per questo motivo il controllo del pH da parte del coltivatore è una necessità nelle pratiche di coltivazione senza suolo.

## 5.5 Monitoraggio nei sistemi acquaponici

Nei sistemi di coltivazione acquaponica, la vasca per l'allevamento ittico rappresenta un elemento degno di nota per quanto riguarda il monitoraggio delle condizioni ambientali. Trattandosi di un ecosistema (più o meno) completo, è l'elemento che necessita di più parametri da monitorare:

- Livello dell'acqua;
- Quantità di nutrienti disciolti;
- Temperatura dell'acqua;
- Ph dell'acqua;
- Ossigeno disciolto;
- Salinità;
- Conducibilità.

Essendo in stretta correlazione con gli input e gli output dell'ambiente di coltivazione e del filtro batterico, essa è il sotto-ecosistema più sensibile agli scompensi ambientali, che possono influenzare negativamente anche altri elementi del sistema, ragion per cui il monitoraggio dell'unità di acquacoltura è molto importante.

È opportuno segnalare in che modo i parametri ambientali si influenzano a vicenda:

- L'illuminazione può agire sulla temperatura, sia dell'aria che dell'acqua;
- La temperatura dell'aria agisce sull'umidità dell'aria (in maniera inversamente proporzionale) e può agire sulla temperatura dell'acqua;
- L'umidità dell'aria agisce sulla temperatura percepita e sulla qualità dell'aria;
- La qualità dell'aria può agire sulla temperatura dell'aria, sull'umidità dell'aria e sull'ossigenazione dell'acqua;
- L'irrigazione (che sia automatizzata o meno) agisce sulla quantità dell'acqua e sull'umidità del terreno e può agire sull'umidità dell'aria;
- L'umidità del terreno agisce sull'umidità dell'aria;
- La temperatura dell'acqua agisce sul pH, sulla salinità, sulla conducibilità e sull'ossigenazione dell'acqua e sull'umidità dell'aria, oltre che sulla qualità della vita dei pesci;
- ...

Ovviamente ricordiamo che ogni tipo di pianta è caratterizzata da necessità ambientali diverse a seconda del diverso stadio di sviluppo nella quale si trova, ragion per cui è molto complesso definire con assoluta precisione le categorie dei parametri ambientali utili da monitorare per coprire uno spettro più ampio delle specie vegetali.

## 6 Controllo del sistema

### 6.1 Controllo automatico

Acquisite le conoscenze attraverso il monitoraggio ambientale dei fenomeni, è possibile, tramite un sistema cyber-fisico, controllare il sistema sia manualmente, attraverso comandi o azioni umane direttamente interfacciate al processo (e.g. aprire manualmente una valvola), sia automaticamente; ovvero automatizzando, per gestire processi riducendo la necessità dell'intervento umano, in particolare per l'esecuzione di operazioni ripetitive o complesse, al fine di regolare e ottimizzare il sistema di coltivazione.

Per quanto riguarda gli ambienti di coltivazione in vaso, un'automatizzazione molto utile e richiesta al fine anche di ottimizzare l'input di acqua è l'irrigazione: un sistema di irrigazione è essenzialmente composto da pompe (interfacciate a sistemi di controllo) e tubazioni. La pompa, azionata elettronicamente, converte l'energia elettrica in energia cinetica, trasportando l'acqua da un serbatoio alle piante.

Attraverso un sensore è possibile constatare la percentuale di umidità del suolo; il dato viene elaborato e qualora necessario, il sistema software può attivare la pompa per l'irrigazione per un determinato tempo. A questo punto viene rifatta la lettura del dato: se è necessario viene riattivato il sistema di irrigazione (feedback positivo), altrimenti no (feedback negativo), al fine di arrivare al livello ottimale di umidità del suolo.

Si tratta di un processo decisionale guidato da feedback analogo a quello svolto da una persona nell'atto di osservare le condizioni di una pianta e, qualora lo ritenesse necessario, annaffiarla, ma guidato da un'interpretazione scientifica e precisa.

Con ciò non riteniamo che questa pratica, applicata anche ad altre situazioni, debba sostituirsi all'esperienza dell'utente.

Si ritiene infatti che l'atto di automatizzare non debba essere estraneo dalla conoscenza e dal controllo dell'utente: è importante non essere alienati dal sistema, perciò l'utente deve poter accedere alla regolazione delle modalità e dei processi di automatizzazione; avere potere decisionale. Delegare, però, alcune pratiche ripetitive e laboriose ad un sistema cyber-fisico permette, in particolare nel caso di professionisti del settore, di concentrarsi su altre attività risparmiando tempo e fatica. Inoltre, come si vedrà in seguito, nell'ambito della coltivazione domestica, essendo considerata spesso un'attività marginale rispetto le abitudini di vita, l'automatizzazione si ritiene possa essere un'affordance che permette l'espansione del sistema di coltivazione, aumentando di conseguenza le possibilità di sopravvivenza delle piante, e quindi i benefici personali e i servizi ecosistemici.

## 6.2 Controllo dei fattori ambientali

### 6.2.1 Irrigazione

Nei sistemi idroponici (o aeroponici) si ha la necessità di un sistema di irrigazione (o di vaporizzazione) automatizzato per via dell'elevata frequenza di irroramento dell'apparato radicale

Analogamente nelle coltivazioni acquaponiche, più delicate e complesse, l'automatizzazione dei flussi d'acqua è uno strumento importante per mantenere il sistema in equilibrio, in quanto un'irrigazione eccessiva è dannosa sia per l'ecosistema "piante" che per l'ecosistema "acquario".

Si può fare lo stesso discorso per le lampade in quanto regolano le fotofasi e il fotoperiodo (ma anche la temperatura e l'umidità dell'aria, e quindi anche la qualità dell'aria), i riscaldatori che regolano le termofasi e il termoperiodo (ma anche l'umidità e la qualità dell'aria), le ventole che regolano l'umidità e la qualità dell'aria (ma anche la temperatura), e gli attuatori per l'ambiente "acquario", forse quelli che hanno un ruolo più importante, in quanto devono essere ben settati per gestire al meglio le condizioni per i pesci, per le piante, ed infine per il filtro batterico: l'irrigazione dell'ambiente coltivato e l'ossigenazione e il riscaldamento dell'acquario sono dei parametri estremamente difficoltosi da controllare manualmente.

Nonostante questo, nella nostra tesi non abbiamo dato un ruolo principale alle possibilità di controllo automatizzato: nonostante abbiamo effettivamente progettato un modulo dedicato esclusivamente all'irrigazione (ricordiamo, automatizzare quest'ultima è indispensabile nelle coltivazioni idroponica, aeroponica e acquaponica), abbiamo evitato di imporre un controllo delle condizioni ambientali a prescindere. Questa scelta è dettata dal fatto di includere l'utente come un agente attivo della coltivazione, possiamo dire che abbiamo gettato le linee guida per un terzo modulo, il Modulo Utente, in modo da includerlo all'interno del sistema per risanare la Frattura Individuale di cui abbiamo parlato all'inizio.

Oltre questo, rimangono comprese comunque nel sistema delle azioni di controllo che non possono essere replicate (o in alcuni casi è troppo costoso o complesso replicare) attraverso un attuatore automatizzato, come ad esempio la preparazione e l'inserimento della soluzione nutritiva nelle coltivazioni aeroponica ed idroponica, oppure il bilanciamento del pH del terreno o dell'acqua, oppure infine l'azione del dare il mangime ai pesci nell'acquario (in questo caso, il costo per l'automazione di questo processo attraverso un feeder porterebbe più costi che benefici).

Gli attuatori hanno un ruolo sempre più importante mano a mano che la complessità del sistema monitorato aumenta.

Nel caso di una coltivazione su suolo all'aperto, un sistema automatizzato per l'irrigazione non è strettamente necessario (a meno che non si abbia la necessità di irrigare un campo coltivato di dimensioni importanti), è più importante in situazioni che richiedono una maggiore attenzione per l'irrigazione delle piante.

Il monitoraggio, oltre il permettere di conoscere ad un livello più profondo i fenomeni, abilita il controllo del sistema: successivamente all'acquisizione del dato, degli attuatori, possono agire come regolatori dei flussi, producendo un cambiamento opposto allo stimolo iniziale oppure rinforzandolo.

Se si vuole infine agire sugli ambienti di coltivazione attraverso un'irrigazione automatizzata, è necessario attrezzare la tanica dell'acqua con un sensore di livello dell'acqua, in grado fornire un feedback all'utente a proposito della quantità del liquido all'interno del recipiente.

### 6.2.2 Illuminazione

Un controllo dell'illuminazione dell'ambiente di crescita di una pianta avviene attraverso l'inserimento di lampade. Oltre ad essere una fonte di energia, la luce svolge una funzione di regolazione per fenomeni fotomorfogenetici che si verificano a seconda dei diversi stadi della crescita, andando ad agire attraverso un controllo di:

- fotoperiodo, ovvero il tempo di esposizione alla luce delle piante;
- intensità luminosa, ovvero la quantità di energia luminosa che raggiunge la coltura;
- spettro della radiazione, in quanto diverse bande luminose hanno diversi effetti sullo sviluppo della pianta.

L'illuminazione artificiale, inoltre, viene utilizzata in diversi casi:

- Illuminazione supplementare, integrando la luce solare con quella artificiale al fine di migliorare la fotosintesi;
- Illuminazione fotoperiodica, estendendo quindi la lunghezza naturale del giorno per aumentare il periodo di esposizione delle piante alla luce;
- Illuminazione in assenza di luce naturale, dove si sostituisce totalmente la luce naturale con quella artificiale.

L'assorbimento di fotoni da parte della clorofilla è massimo negli intervalli di lunghezza d'onda di 400-500 nm (luce blu) e di 600-700 nm (luce rossa), e infatti sono queste le lunghezze d'onda luminose che la quasi totalità di lampade da coltivazione emettono. Rispetto alle lampade tradizionali utilizzate per l'illuminazione artificiale, le soluzioni a LED sono avvantaggiate in termini di minore ingombro, una durata superiore, maggiore sicurezza e affidabilità, minore consumo energetico, costo minore, e il fatto di non influenzare la temperatura dell'aria dell'ambiente di coltivazione, inoltre esse sono dimmerabili e regolabili nella maggior parte dei casi. Attualmente, comunque, nessuna tipologia di lampada riesce a fornire alla coltivazione tutto lo spettro luminoso fornito dall'illuminazione solare.

Se per quanto riguarda le lunghezze delle bande luminose, il regno vegetale è unanime, la questione cambia con l'intensità luminosa e la durata dell'illuminazione.

Un controllo sulla durata dell'illuminazione è indispensabile in piante che hanno particolari esigenze di luce, o in casi in cui si vogliono attuare particolari strategie decisionali, come ad esempio anticipare o ritardare le fasi di fioritura o quella vegetativa, mentre un controllo (o un adatto posizionamento nel caso di lampade non dimmerabili) sull'intensità dell'illuminazione è necessario per non mettere sotto stress la pianta.

### 6.2.3 Regolazione della temperatura

Un controllo della temperatura<sup>1</sup>, apporta dei benefici solo in ambienti dove anche tutte le altre condizioni ambientali sono controllate, ragion per la quale ha poco senso un controllo della temperatura all'aperto, o all'interno di un ambiente domestico.

Le influenze che la temperatura ha sulla crescita e sullo sviluppo delle piante sono simili (e avvengono parallelamente) al contributo della disponibilità luminosa:

- stimolo per la germinazione dei semi;
- influenza della crescita di rami e radici;
- influenza sulla formazione di fiori (vernalizzazione);
- il termoperiodo escursione giorno/notte stimola o blocca la crescita.

Per il controllo della temperatura (e il conseguente controllo dell'umidità dell'aria), una delle soluzioni più diffuse nei vivai è il riscaldamento basale:

1| De Lucia, B. (2018). Serre ed impianti per la floricoltura. Retrieved from <https://www.uniba.it/docenti/de-lucia-barbara/attivita-didattica/serreeimpianti13marzo2018.pdf>

nelle coltivazioni dove i vasi contenenti le piante sono posizionati sopra dei bancali sollevati da terra, questi vengono riscaldati attraverso un impianto di piani riscaldati al fine di ottenere la temperatura desiderata, abbassando inoltre l'umidità relativa dell'aria al livello della coltura e velocizzare l'asciugatura del pavimento di coltura per evitare la proliferazione di alghe e funghi. Il riscaldamento basale però, di solito, non è sufficiente per il condizionamento climatico della coltivazione, ma è necessario prevedere un impianto aggiuntivo per garantire il corretto riscaldamento dell'ambiente. A seconda dell'impianto di riscaldamento, le serre vengono suddivise in tre tipi:

- Le serre fredde, non climatizzate, sprovviste di un impianto di riscaldamento fisso, e nelle quali il riscaldamento avviene per intrappolamento dell'energia solare dovuta alla copertura della serra;
- Le serre temperate, capaci di mantenere una temperatura compresa tra i 10 e i 14 °C nelle ore notturne;
- Le serre calde, capaci di mantenere la temperatura notturna tra i 16 e i 20°C.
- Nelle serre temperate e nelle serre calde, il controllo della temperatura dipende dalla presenza di un impianto fisso di riscaldamento, le cui funzionalità possono essere il riscaldamento minimo in grado di mantenere un livello termico sufficiente all'accrescimento delle piante; ed un riscaldamento di forzatura, tale da garantire particolari condizioni termiche.

Generalmente gli stessi criteri vengono adottati anche per soluzioni di coltivazione all'interno di growbox, con le stesse soluzioni ma su una scala più piccola:

- Generatori d'aria calda, con annessa ventilazione;
- Piani di crescita riscaldati attraverso tubi radianti che riscaldano per convezione e irraggiamento;
- Impianti aerotermini, costituiti da uno scambiatore di calore all'interno del quale scorre il liquido riscaldato.
- Per il raffreddamento dell'ambiente di coltivazione invece, ci sono altre soluzioni:
- ombreggiamento esterno con reti (poco controllabile)
- Ventilazione naturale o forzata
- Raffrescamento con evaporazione di acqua, il quale ha sul breve periodo lo svantaggio di aumentare l'umidità relativa dell'aria, mentre sul lungo periodo ha il vantaggio di diminuire la temperatura dell'aria.

## 6.2.4 Ventilazione

Anche la ventilazione<sup>2</sup>, come la temperatura, è necessaria quando si opera su coltivazioni in ambienti controllati.

La ventilazione è uno dei sistemi più importanti per il controllo climatico negli ambienti di coltivazione protetti, e le principali funzioni svolte dalla ventilazione sono:

- Controllo di elevati valori di temperatura dell'aria, soprattutto nei climi caldi è il metodo più semplice per evitare il raggiungimento di alti valori di temperatura mediante l'ingresso di aria esterna, a temperatura più bassa;
- Controllo di elevati valori di umidità relativa dell'aria, in quanto la traspirazione delle piante provoca un aumento dei valori di umidità relativa fino a valori che favoriscono l'insorgere di alcune patologie. L'ingresso in serra di aria esterna, con un'umidità relativa più bassa, contribuisce al miglioramento del microclima;
- Reintegro di CO<sub>2</sub>, necessaria per la fotosintesi;
- Circolazione dell'aria, per favorire l'impollinazione e mantenere all'interno della serra condizioni climatiche uniformi.
- La ventilazione naturale, senza quindi attuatori, è il metodo più semplice ed economico, e si basa su due principi:
  - L'effetto camino, dove l'aria calda esce dall'alto e l'aria più fresca entra dalle aperture in basso;
  - L'effetto vento, dove il vento crea una depressione in corrispondenza delle aperture che tende ad aspirare verso l'esterno l'aria calda che si trova nella parte più alta e permettendo l'ingresso dell'aria più fredda, creando una corrente.

Nel caso in cui la ventilazione fosse insufficiente, si può optare per soluzioni di ventilazione forzata. Il sistema più utilizzato è quello in depressione (o in estrazione) per il miglior rendimento dei ventilatori ed il miglior benessere assicurato alle piante. Inoltre, al solo fine di assicurare condizioni microclimatiche uniformi e una circolazione d'aria sufficiente, possono essere installati ventilatori per il ricircolo dell'aria con flusso d'aria orizzontale o verticale.

Al controllo della ventilazione, è legato il problema della concentrazione ottimale di CO<sub>2</sub>: infatti, nei periodi più freddi, quando la ventilazione è minore, la concentrazione di CO<sub>2</sub> durante le ore diurne può scendere fino a 120-150 PPM contro le 300-350 PPM naturalmente presenti in atmosfera, con im-

portanti effetti sull'attività fotosintetica. In altri casi, indipendentemente dalle condizioni di ventilazione, si sceglie di mantenere in serra una concentrazione di CO<sub>2</sub> più elevata, dalle 2 alle 4 volte, rispetto alla concentrazione atmosferica, in modo da aumentare la fotosintesi.

La CO<sub>2</sub> può essere prodotta localmente dalla serra come sottoprodotto del riscaldamento dei combustibili fossili (sconsigliato per lo scopo della nostra tesi); oppure prodotta esternamente, acquistata e stoccata in fase liquida in un serbatoio all'interno della serra.

L'immissione avviene attraverso un evaporatore e immessa nell'ambiente di coltivazione. La regolazione della CO<sub>2</sub> può avvenire:

- con timer;
- in funzione del grado di illuminazione;
- in funzione della misura della concentrazione di CO<sub>2</sub>.

2] D'Emilio, A. (2014). Controllo del clima. Sistemi computerizzati di controllo climatico. Retrieved from <http://www.leopoldia.eu/wp-content/uploads/2014/03/Controllo-del-clima-DEmilio.pdf>

## 7 Scenario

In questo capitolo si delinea, tenute in considerazione le constatazioni avvenute nei capitoli precedenti, una visione del futuro rigenerativa sulla quale identificare il concept e le linee guida progettuali, approfondendo le necessità dell'utenza e analizzando alcuni casi studio.

### 7.1 Vision

Per Goethe<sup>1</sup> l'immaginazione è processo in cui vedere e capire non sono due atti differenti: la realtà viene percepita come connessioni e non come categorie. Ciò è fondamentale per il progettista, il quale poi deve tradurre l'immaginazione (processo generativo) in azione (processo decisivo), ovvero istruire su quali azioni vanno fatte per un risultato, esplicitare framework di azioni.

#### 7.1.1 Ambito progettuale

Si è dimostrato come le pratiche bottom-up hanno la grande potenzialità di portare ad una transizione dello status quo in maniera più veloce e meno rischiosa da intraprendere; in particolare la filosofia Open Source e i moderni strumenti di produzione sempre più accessibili e diffusi sono in grado di influenzare i sistemi di scala maggiore, portando all'emergenza di pratiche rigenerative. "Essere consapevoli del fatto che qualsiasi progetto, a qualsiasi scala, partecipa anche - in una certa misura - alla progettazione a tutte le altre scale, ci fa affrontare la complessità dei processi naturali dinamici a cui l'umanità partecipa frontalmente." Daniel Christian Wahl<sup>2</sup>.

Ragione per cui la micro-scala, ovvero sistemi di coltivazione meno complessi e di più facile manutenzione, a basso contenuto tecnologico, quali micro coltivazioni outdoor (orti, giardini, coltivazione su balconi, ecc) e coltivazione indoor in ambiente controllato o semicontrollato (micro-serre, sistemi idroponici e acquaponici), è stata scelta come area progettuale per raggiungere una più grande utenza per fare massa critica di dati e feedback sull'utilizzo. Questa scelta quindi incanala verso la progettazione di uno strumento pervasivo e facilmente scalabile verso ambiti di scala maggiore, come microfarms, aziende agricole, ma anche centri di ricerca e di protezione ambientale.

La grande variabilità di funzionamento dei sistemi su micro-scala, insieme

1| Bortoft, H. (1996). The wholeness of nature: Goethe's way of science. Edinburgh: Floris Books.

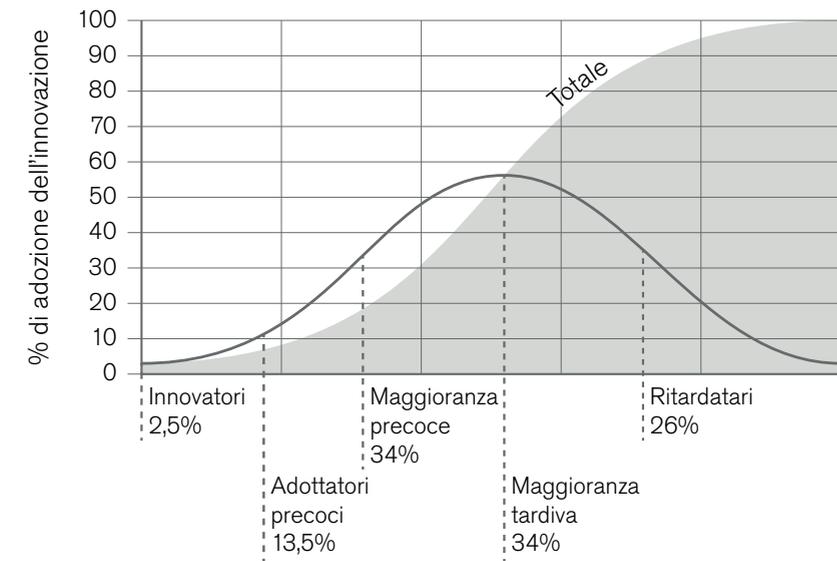
2| Wahl Daniel Christian. (2019, July 26). Spatial and Temporal Scales in Design Thinking - Prototypr. Retrieved July 5, 2020, from <https://blog.prototypr.io/spatial-and-temporal-scales-in-design-thinking-ba64336255b3>



al diverso grado di digitalizzazione e controllo richiesto per favorire il loro equilibrio dinamico, suggerisce la necessità di uno strumento flessibile che si adatti al contesto, infatti, dalla ricerca esposta, è limitativo e impreciso considerare un metodo di coltivazione in assoluto migliore di un altro; esso è invece contestuale, e dipende da ambiente, cultura, tecnologie.

Inoltre la micro-scala permette la sperimentazione poiché, come già esplicitato, non richiede grossi investimenti e, di conseguenza, rischi, e perchè spesso non ha scopo di produzione per il mercato, quindi l'utenza a cui fa riferimento è composta da possibili hobbisti negli ambiti di coltivazione domestica, orticoltura, elettronica, informatica, botanica, biologia, agronomia, matematica, più o meno pionieri che non sono limitati attualmente dalla necessità di output massimizzati. La figura oggi emergente, infatti, è quella dell'ortolano per hobby<sup>3</sup>.

Da considerare, inoltre, che, poichè "il digitale è una tecnologia invasiva e pervasiva"<sup>4</sup>, i livelli di alfabetizzazione, educazione e cultura del digitale nei prossimi anni aumenteranno, fornendo competenze utili a migliorare il sistema.



3] Ingersoll, R., Fucci, B., & Sassatelli, M. (2007). AGRICivismo. Agricoltura urbana per la riqualificazione del paesaggio. REGIONE EMILIA-ROMAGNA.

4] Alfabetizzazione digitale. Educazione al digitale. Cultura del digitale | Performance Management Review. (n.d.). Retrieved July 9, 2020, from <https://www.performancemanagementreview.org/alfabetizzazione-digitale-educazione-al-digitale-cultura-del-digitale/>

## 7.1.2 Auto-riproducibilità

Seguendo i principi della filosofia Open Source, lo strumento che si andrà a progettare deve essere riproducibile in maniera sostenibile. Con riproducibilità sostenibile si intende la possibilità di replicare lo strumento con materiale reperibile a basso costo, con tecniche di produzione locali, con strumenti accessibili, ma anche la distribuzione locale, l'uso e la manutenzione autonome. Ciò abilita la possibilità di autoproduzione da parte di prosumer seguendo un set di azioni. Le infrastrutture a supporto possono essere identificate nei Fablab e makerspace; luoghi-officine collaborativi in costante fase di sviluppo in cui creare, apprendere, esplorare e condividere, spesso offrendo servizi di fabbricazione digitale capacità.

Riproducibilità e autoproduzione possono portare all'auto-riproducibilità del sistema. Con ciò intendiamo un sistema in grado di adattarsi e dunque evolvere per attuare una transizione dalla scarsità alla rigeneratività.

## 7.1.3 Adattabilità, espansione e integrazione

Facendo un parallelismo con il mondo biologico, possiamo determinare che un sistema cyber-fisico in grado di adattarsi a vari scenari (tipologie di colture, sistemi di coltivazione, obiettivi) è vincente, poiché la sua flessibilità rappresenta un'affordance per la sua evoluzione e quindi specializzazione dei branch futuri: lasciare margine di adattamento al singolo individuo è vincente da un punto di vista biologico, il quale co-evolve e si ottimizza in risposta al suo ambiente; attraverso la ramificazione (branching) di un progetto, questo si espande in nuove forme e acquisisce nuove funzioni e caratteristiche necessarie alla sopravvivenza e all'adattamento in diversi ambienti. I rami consentono lo sviluppo in parallelo delle parti<sup>5</sup>, e la specializzazione delle applicazioni favorisce usi diversificati. Lo sviluppo ramificato di un progetto permette inoltre di procedere a ritroso lungo la linea evolutiva (una sorta di DNA del sistema): una soluzione che non ha avuto le caratteristiche necessarie alla sopravvivenza in un determinato luogo e/o spazio, può dimostrarsi vincente in un altro contesto. Creando un buffer di conoscenze, si può applicare una risposta immediata efficiente a situazioni che il singolo individuo non sarebbe in grado di affrontare.

L'errore, dunque, non solo è permesso, ma di grande importanza per il sistema.

La ramificazione consente, in un secondo momento di integrare lo svilup-

5] Appleton, B., Berckuz, S., Cabrera, R., & Orenstein, R. (1998). Streamed Lines: Branching Patterns for Parallel Software Development. Hillside.Net.

po parallelo in quello principale, abilitando l'utente a compiere nuove funzioni e connessioni. L'integrazione nel sistema, inoltre, la si può intendere anche ad altri livelli:

- integrazione di ulteriori dispositivi, sia atti alla coltivazione (e.g. sistemi di irrigazione e illuminazione, sensoristica, ecc...), sia domotici (e.g. assistenti personali intelligenti, elettrodomestici, ecc...), sia industriali (e.g. elettrovalvole, impianti, ecc...)
- integrazione di servizi (e.g. OpenWeatherMap, Trello, Google Calendar, ecc...)
- integrazione di conoscenze attraverso dati in input, documentazione, istruzioni e soft-coding.

È necessario quindi che il designer non limiti il progetto solo alle funzioni e applicazioni che si prevedono al momento della progettazione: ciò sopprimerebbe affordance che emergono soltanto con l'interazione del sistema con l'utente e che permettono al sistema di evolvere.

Con espansione ci si riferisce anche al sistema di riferimento: come già sottolineato in precedenza, espandere la propria percezione anche ad un ambiente non prossimo, quindi spostare i limiti del sistema al di fuori, permette di acquisire agency e attuare scelte migliori. Questo processo, applicato alla coltivazione, permette di includere nella percezione del sistema elementi alieni, sfruttando le loro capacità per ridurre il lavoro necessario per coltivare: un esempio potrebbe essere collegare un microfono alla coltura per capire se gli insetti impollinatori stanno svolgendo il loro ruolo ecosistemico e nel caso fornirsi di arnie, o attrarre con un richiamo alcune specie di uccelli qualora le piante siano infestate da insetti.

## 7.1.4 Community di sviluppo e crescita

Si ha necessità quindi di porre le basi di una piattaforma digitale in grado di evolvere, che permetta lo scambio e l'accumulazione di informazioni accessibili; facilitare la convergenza di interessi attorno all'argomento coltivazione, digitalizzando la conversazione.

Gli utenti, attraverso l'uso del sistema cyber-fisico, creano, nella piattaforma, fattori e parametri di validità del loro sistema di riferimento. In tal modo, anche altri utenti, per prossimità di utilizzo, possono integrare e implementare la caratterizzazione del loro modello di coltivazione.

Aumentare i fattori in base ai quali compiere scelte (con ciò intendiamo sia valori tecnici, sia valori "etici") e tenerli in considerazione contemporaneamente, si ritiene sia una strategia vincente per indirizzare i comportamenti

umani verso l'agroecologia.

Per esempio, mappare il proprio orto, includendo nel modello anche le specie patogene, e considerare, oltre il fattore produttività, anche fattori ecologici, come il costo ambientale del pesticida che si sarebbe utilizzato, porta ad un decision-making più saggio che è in grado di superare le tensioni attuali tra produttività e ecologia.

Il sistema quindi coevolve con l'intelligenza collettiva e connettiva della community.

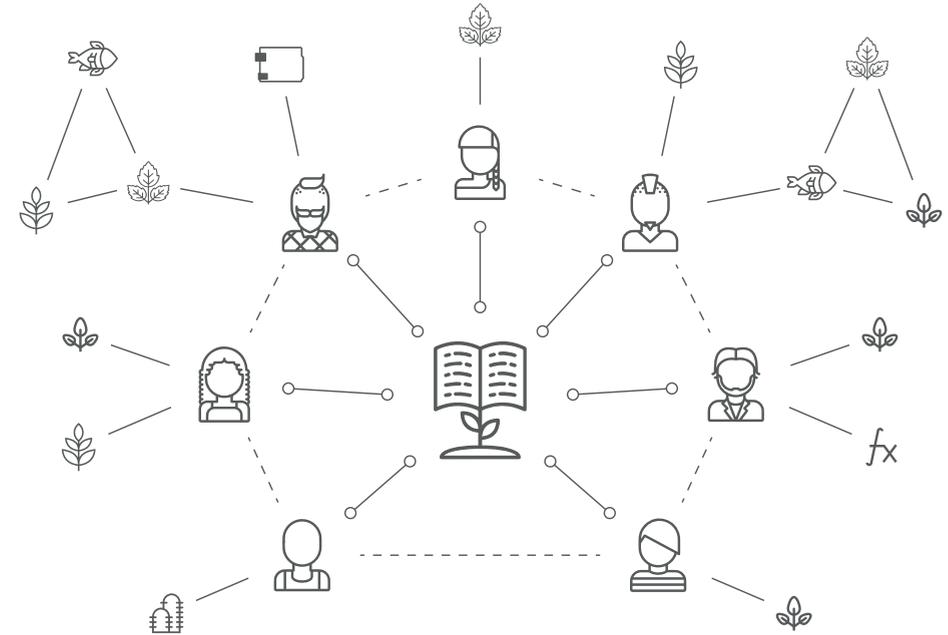
Ogni utente, anche se utilizza passivamente il servizio, attraverso questo strumento crea valore aggiunto per la community poiché i dati riguardo il sistema di coltivazione puntuale sono risorse per comprendere le dinamiche anche di altri sistemi, al fine di ottimizzare i metodi di coltivazione.

La community globale che interagisce attraverso la piattaforma, attraverso la creazione di conoscenza e modelli, crea opportunità di presa di decisioni locali, che si adattano meglio al contesto. La distribuzione della capacità di agency permette all'utente di comprendere meglio le dinamiche tra uomo e ambiente attraverso la produzione di cibo locale/domestico. Con ciò non si vuole intendere che sia possibile raggiungere nell'immediato l'autosufficienza alimentare del cittadino medio, ma iniziare una transizione verso nuovi paradigmi e quindi abitudini, come, per esempio, avere più responsabilità sul mercato interagendo maggiormente con network locali fino ad una sostituzione del mercato globalizzato con alternativa locale, seguita da una rivalutazione dei prodotti naturali.

### 7.1.5 Apprendimento

Allo scopo di abbassare la curva di apprendimento dei processi di funzionamento di sistemi cyber-fisici complessi, sia per quanto riguarda la parte "cyber", sia per quella biologica, è necessario progettare affordance per l'utente: esplicitare e rendere trasparenti i processi di controllo e il mantenimento dell'equilibrio del sistema di coltivazione, assieme all'associazione tramite feedback del rapporto tra elementi ed azioni e a suggerimenti delle configurazione di setup, permettono all'utente di imparare le leggi naturali, così come acquisire competenze, sviluppandosi in varie direzioni e ambiti (elettronica, informatica management, ecc); co-evolvendo con l'uso.

Si propone, dunque, il passaggio da un paradigma di facilitazione e raggiungimento del comfort e di controllo, ad una transizione verso un paradigma di comprensione, di adattività e di sviluppo.



## 7.2 Indagini sociologiche

Attraverso le seguenti indagini, sotto forma di questionario, la prima (A) svolta dal collega Federico Citarda, con la supervisione del PhD Marco Cataffo e il prof. Fabrizio Valpreda, rispettivamente correlatore e relatore di tesi; la seconda (B), svolta dai sottoscritti, supervisionata dagli stessi referenti, si sono ottenute informazioni sulle tipologie di utenti e sul tipo di interesse e interazione che essi hanno con le piante, al fine di identificare affordances per rispondere meglio alle esigenze espresse ed inesprese.

### 7.2.1 Indagine interazione uomo-pianta A

I risultati della prima indagine ci hanno permesso di derivare le seguenti considerazioni,

premettendo che la maggior parte degli intervistati (circa l'80%) sono hobbisti "avanzati", in particolare orchidofili:

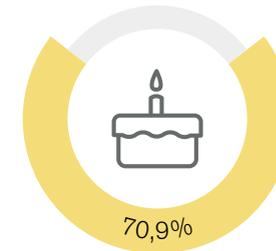
- Il sapere come prendersi cura delle piante, specialmente se derivato dall'esperienza, è un fattore molto importante per la coltivazione.
- Si può correlare la vicinanza e l'interesse per le piante con l'interesse per la tutela delle piante: più si crea una relazione con esse, più si ha interesse nel trattarle con rispetto. Ciò implica che se si riesce a far interessare una persona all'argomento, è probabile che si possa avviare un ricucimento della frattura tra essa e natura.
- Più del 70% degli intervistati ha dichiarato che il primo approccio con la coltivazione non è stato semplice.
- Il 65% degli intervistati ha dichiarato di essere a contatto con le piante solo in luoghi chiusi (casa o ufficio); il 25,6% sia al chiuso sia all'aperto; il 3,8 in serra; solo il 5,7% è a contatto con esse essenzialmente all'aperto. Il convivere con piante, dunque, è un affordance già presente.
- Solo un terzo degli intervistati si occupa da solo delle piante; il restante condivide la passione o lavoro con - in ordine di percentuale - familiari, amici, colleghi, altri coltivatori, community online. Ciò è un indicatore importante poiché evidenzia la necessità di scambio di conoscenze e gestione del lavoro in team e inoltre indica che solo una piccola percentuale di essi utilizza canali digitali per scambiarsi informazioni.

## 7.2.2 Indagine interazione uomo-pianta B

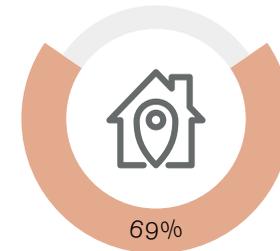
I risultati del questionario "Indagine sociologica sull'interazione uomo-pianta — Sociological investigation of human-plant interaction", condiviso in data 03/06/2020, hanno avuto scopo di valutare le relazioni che diverse persone hanno con la coltivazione al fine di comprendere meglio abitudini e comportamenti utili in fase progettuale.

Premettendo che il numero delle risposte alla data 03/07/2020 non rappresenta un campione significativo per dare all'indagine una valenza scientifica (118 su un minimo di 200 risposte), è emerso che la maggior parte dei rispondenti (70,9%) ha un'età compresa tra i 20 e i 30 anni, e che una grande parte possiede il diploma di istruzione superiore (32,5%), il diploma di laurea di primo livello (23,9%) e il diploma di laurea magistrale (37,6%).

Di tutti gli intervistati, la maggioranza (69%) vive in una zona urbana, mentre il 14,7% vive in una zona periurbana. Il rimanente vive in una zona rurale o boschiva (16,3%).



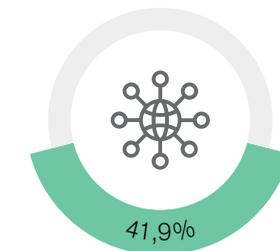
tra i 20 e i 30 anni



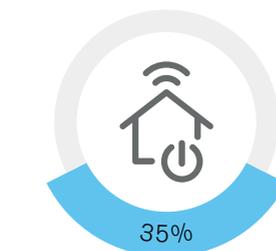
in area urbana



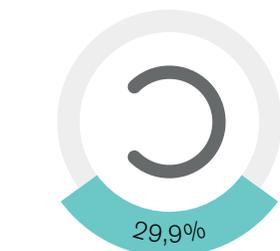
diploma di laurea



conosce l'IoT

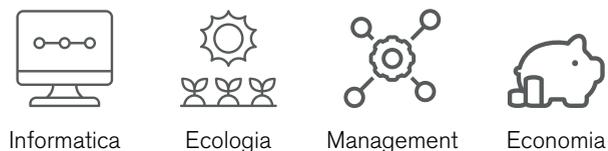


possiede dispositivi domotici



ha utilizzato un dispositivo Open Source

### Conoscenze e competenze di



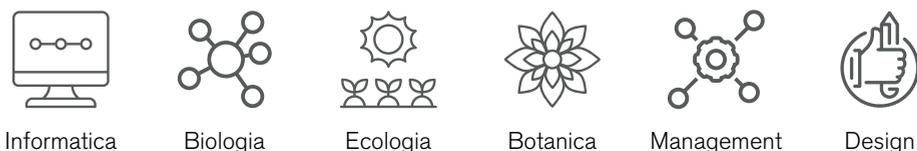
Informatica

Ecologia

Management

Economia

### Interesse ad imparare



Informatica

Biologia

Ecologia

Botanica

Management

Design

Il 79% ha dichiarato di utilizzare  
piattaforme collaborative online...



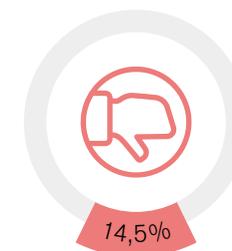
...ma solo l'11% in maniera partecipativa

In seguito si sono andate ad analizzare le risposte per quanto riguarda le competenze pregresse dei rispondenti e il loro interesse riguardo lo sviluppo di conoscenze in ambiti differenti (informatica, elettronica, biologia, ecologia, botanica, agronomia, economia, management e design).

- Da questa sezione è emerso una media conoscenza generale degli ambiti di informatica, ecologia, management ed economia, mentre si è riscontrato una forte tendenza nell'interesse a voler sviluppare conoscenze per quanto riguarda gli ambiti di informatica, biologia, ecologia, botanica, management e design.



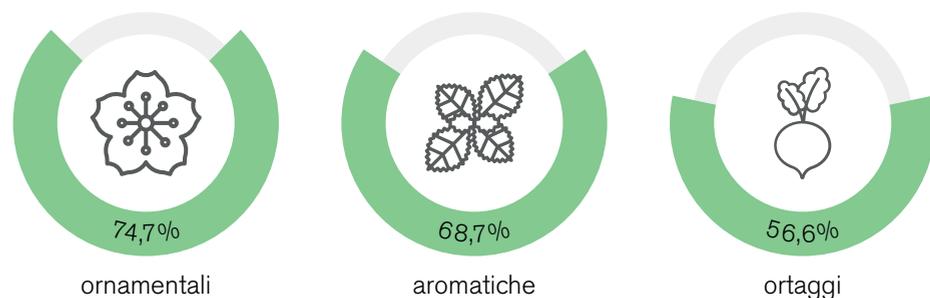
27,3%  
pensano di avere  
un buon pollice verde



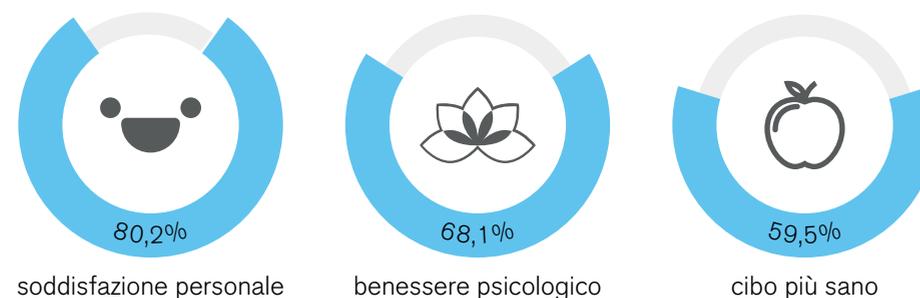
14,5%  
non ha mai  
coltivato nulla

- Partendo dal presupposto che i linguaggi di programmazione e sistemi di markup conosciuti seppur ad un livello base dagli utenti sono: HTML (61,5% degli intervistati), JavaScript (37,4% degli intervistati) e Java (33% degli intervistati); la maggior parte (87%) si è dimostrata propensa a poter imparare le basi di un nuovo linguaggio di programmazione.
- Solo una parte degli intervistati ha familiarità con i concetti di IoT (41,9%); possiede qualche dispositivo domotico (35%); ha mai utilizzato un dispositivo Open Source (29,9%); ha mai utilizzato un dispositivo elettronico all'interno della propria coltivazione (solo il 5,1%). Inoltre, anche se il 70,9% dichiara di aver utilizzato piattaforme collaborative online, solo il 9,4% si ritiene un partecipante attivo di questi ultimi.
- Le pratiche di coltivazione alternative (idroponica e acquaponica) sono generalmente conosciute (66,7%), così come i loro benefici (66,7%), con un conseguente interesse per quanto riguarda gli aspetti benefici delle piante sulla salute dell'uomo (54,3%) e sull'ambiente (67%), e allo stesso modo c'è un interesse nella tutela delle piante (83%) e dell'ambiente (94%).
- Gli intervistati che hanno comunicato di non aver mai coltivato nulla sono il 14,5%, principalmente per mancanza di tempo (54,1%).
- Più della metà degli intervistati hanno risposto di avere il pollice verde.
- Le piante maggiormente coltivate sono quelle ornamentali (74,7%), quelle aromatiche (68,7%) e ortaggi (56,6%); coltivate principalmente per la soddisfazione personale (80,2%), per il benessere psicologico (68,1%, in linea con la precedente parte riguardante i benefici che una coltivazione apporta all'uomo) e la disponibilità di cibo sano, fresco e più gustoso (59,5%, 52,6% e 41,4%).
- Gli ambienti di coltivazione preferiti si sono dimostrati il balcone (38,5%), l'interno della casa (31,6%) e il giardino o un piccolo orto (21,4%).
- Gli ipotetici svantaggi del mantenere una coltivazione sono stati l'impegno

Le piante che gli intervistati preferiscono coltivare sono



Vantaggi:



e coltivano maggiormente in



Svantaggi



mentre i motivi per i quali si tende a non coltivare sono



per mantenere le piante (68,5%) e l'occupazione di tempo (45%) e di spazio (36%).

- Il 58,6% degli intervistati si è dimostrato interessato a conoscere la provenienza e il percorso distributivo degli alimenti vegetali consumati.
- Le fasi di interazione con le piante considerate come più impegnative, in termini sia di energia che di tempo, e ritenute con più necessità di competenze sono state la potatura e l'osservazione (al fine di esaminare la pianta e la cura quotidiana necessaria).
- In caso di dubbi sulla manutenzione il 40,5% degli intervistati fa ricerche online, il 22,4% si informa tramite app sullo smartphone, e il 16,4% si informa attraverso i forum online.
- Infine, il 66,4% degli intervistati ha dimostrato un interesse sull'investi-

mento di spazio, tempo e denaro per un sistema di coltivazione in grado di produrre alimenti vegetali sani e controllati, che dia la possibilità di tornare dell'investimento nell'arco di 5 anni.

In base alle risposte del questionario si può correlare un interesse rivolto verso le pratiche di coltivazione (anche a quelle alternative come l'idroponica e l'acquaponica) con un effettivo interesse alla salute, intesa sia in termini psicofisici per il consumatore che in termini ambientali. Anche se la conoscenza dei fenomeni dell'IoT, dell'Open Source e della domotica sono risultati di nicchia, c'è una tendenza ed un interesse alla ricerca dell'informazione digitale, spesso anche attraverso i forum, attraverso i quali però gli intervistati hanno dimostrato un approccio passivo solo con scopo di consultazione con qualche caso di partecipazione.

Sono emerse dall'intervista due punti fondamentali su cui è necessario indirizzare il progetto: la mancanza di conoscenza e la mancanza di tempo e spazio e energia per coltivare.

Sono dichiarate difficoltose alcune pratiche di coltivazione. In particolare è risultato evidente la mancanza di conoscenze nella cura delle piante: la maggior parte degli intervistati ha dichiarato che la morte di alcuni individui vegetali da loro coltivate è da ricondursi ad una gestione errata dell'irrigazione, dall'esposizione troppo / troppo poco prolungata al sole, e molti non sono stati in grado di individuarne le cause.

Un indicatore importante è stato l'interesse verso la tracciabilità del prodotto, in linea con le tendenze di mercato verso la ricerca di cibi biologici e più salutari, mentre un altro fatto degno di nota è stata la grande rilevanza delle risposte che presentano il maggiore beneficio di coltivare in casa (principalmente infatti i partecipanti abitano in una zona urbana o periurbana) è la soddisfazione personale, nonostante non si disponga dei mezzi e degli spazi per una coltivazione su scala più grande.

Nonostante l'aver riconosciuto gli ipotetici svantaggi del coltivare in casa, e alla difficoltà di alcune pratiche, gli intervistati hanno dimostrato una propensione ed un forte interesse verso la coltivazione.

## 7.3 Casi studio

Si è scelto di analizzare alcuni prodotti, servizi e piattaforme inerenti all'ambito trattato.

Alcuni progetti selezionati non riguardano direttamente il tema della coltivazione, ma intuitivamente sono sembrati utili per altri spunti progettuali.

Per l'analisi e classificazione dei casi studio ci si avvale di strumenti grafici, per riassumere e sintetizzare criteri chiave utili alla comprensione del caso studio: sono stati pensati tre grafici a diagramma radiale aventi scala da 0 a 6 e riguardanti:

Competenze pregresse che l'utente deve soddisfare per utilizzare il prodotto/servizio:

- competenza botanica,
- competenza elettronica,
- competenza informatica.

Criteri riguardanti il prodotto/servizio in sè:

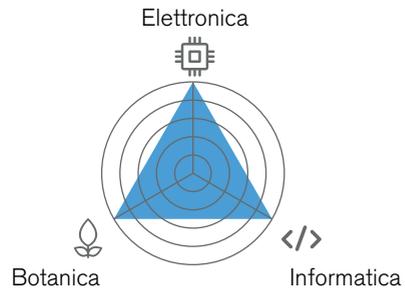
- Livello di utilizzo di hardware e software opensource,
- Scala di grandezza del prodotto,
- Livello di usabilità e completezza dell'interfaccia,
- Costo (considerato relativamente),
- Flessibilità di utilizzo,
- Usabilità complessiva.

Creazione di valore/opportunità/potenzialità/benefici/achievement:

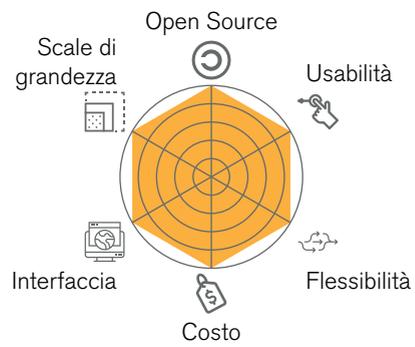
- Produttività (biomassa prodotta),
- Livello di abilitazione ad un legame con il mondo naturale,
- Benefici psicologici indotti
- Quantità e qualità di dati acquisiti dalla piattaforma che possono creare valore
- Abilitazione di community reali e/o virtuali
- Livello di educazione trasmessa all'utente.

La valutazione dei suddetti parametri, va specificato, è stata fatta sulla base di dati, qualora fosse possibile, ma anche e soprattutto considerando l'interpretazione e esperienza, quindi il bias dei tesimalisti: il criterio di analisi "benefici psicologici indotti", per esempio, non è quantificabile precisamente per mancanza di dati e strumenti. Ci si limita a riportarne un valore significativo per noi, coscienti del fatto che è appurato il beneficio psicologico per l'uomo solo nell'essere a contatto con il mondo vegetale; e quindi anche solo avere in casa qualche piantina consente qualche giovamento.

### Competenze necessarie



### Affordance



### Opportunità e creazione di valore

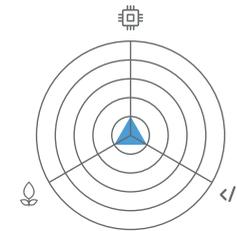


### CityCrop

CityCrop è il prodotto di un'impresa che mira a modernizzare e democratizzare l'agricoltura, con lo scopo di raggiungere una vita più sana e più verde. La visione del team è quella di portare un'alimentazione fresca e sana in ogni famiglia sviluppando il primo giardino interno completamente automatizzato, basato sulla tecnica dell'acquaponica. CityCrop e l'app mobile permettono agli utenti di coltivare cibo fresco e sano tutto l'anno, oltre a controllare e monitorare il loro raccolto direttamente dal proprio dispositivo mobile.



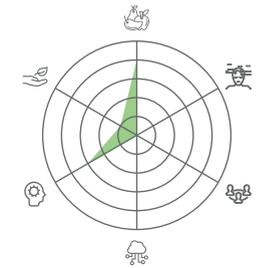
### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



**Utenza prevista**

- Privati zona urbana
- Coltivatori di cannabis



**Utenza reale**

- Privati zona urbana
- Coltivatori di cannabis



**Spunti progettuali**

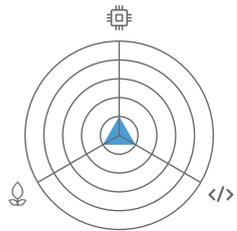
- Modularità
- Interfaccia mobile
- Dosaggio automatico dei nutrienti
- Bilanciamento automatico del pH

### Smart Pot Parrot

Lo Smart Pot Parrot, prodotto dall'azienda Parrot, è un vaso intelligente che, attraverso un sistema di auto-irrigazione e quattro sensori incorporati (luce, temperatura, livello di fertilizzante, umidità del suolo e livello del serbatoio dell'acqua) monitorano la vostra pianta 24 ore su 24 permettendole di fiorire. L'app proprietaria consente di accedere in tempo reale alla salute della pianta, permettendo all'utente di sapere esattamente di cosa ha bisogno. Inoltre, ha accesso a un database di oltre 8.000 piante, per le quali vi viene fornita una consulenza personalizzata.



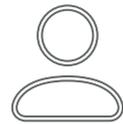
#### Competenze necessarie



#### Analisi caso studio



#### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Ad ampio spettro
- Per chi non dedica tempo al giardinaggio



Utenza reale

- Ad ampio spettro
- Per chi non dedica tempo al giardinaggio



Spunti progettuali

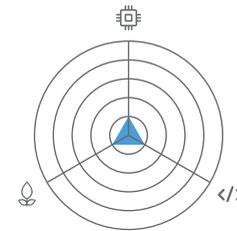
- Usabilità
- Interfaccia mobile

### Flower Parrot

Flower Parrot è un prodotto fuori produzione dell'azienda Parrot. Attraverso quattro sensori incorporati (luce, temperatura, livello di fertilizzante e umidità del suolo) permette all'utente, una volta posizionato il dispositivo nella terra, di conoscere lo stato dei parametri monitorati attraverso l'app dedicata. Il punto forte è l'accesso ad una database di oltre 8.000 piante selezionabili da parte dell'utente.



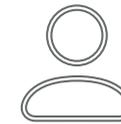
#### Competenze necessarie



#### Analisi caso studio



#### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Ad ampio spettro
- Per chi vuole monitorare puntualmente



Utenza reale

- Ad ampio spettro
- Per chi vuole monitorare puntualmente



Spunti progettuali

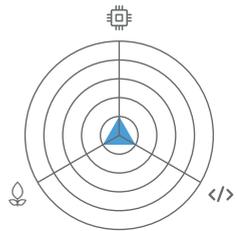
- Usabilità
- Interfaccia mobile

## Kitchen Nano Garden

Il Kitchen Nano Garden è la versione aggiornata del concept ideato in precedenza dai designer del reparto Engineering della Hyundai, già pubblicato da Futurix, e premiato dal Red Dot Design Award 2010. È un sistema di coltivazione idroponico domestico che dispone di un sistema automatico di irrigazione progettato in modo da riciclare l'acqua in eccesso dal lavello, e di un livello separato dedicato al compostaggio degli scarti organici della cucina per nutrire gli ortaggi. Ogni ripiano può essere regolato individualmente, potendo scegliere così scegliere e regolare l'ambiente di crescita.



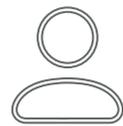
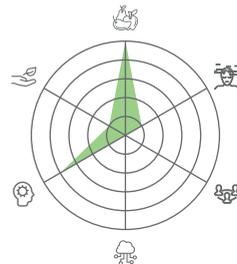
### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Ad ampio spettro
- Per chi non dedica tempo al giardinaggio



Utenza reale

- Ad ampio spettro
- Per chi non dedica tempo al giardinaggio



Spunti progettuali

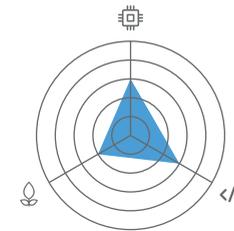
- Usabilità
- Gestione dei flussi di scarto
- Regolazione della crescita
- Integrazione con lo spazio abitativo

## Aquapioneers

Progetto nato presso il FabLab di Barcellona, il kit Aquapioneers trasforma un acquario da 54L in un ecosistema acquaponico molto basic e accessibile. Ciò che rende il kit Aquapioneers diverso dagli altri kit acquaponici, è il suo design open source, progettato in modo che chiunque possa scaricare e produrre il kit localmente in qualsiasi laboratorio di produzione digitale, maker space o FabLab.



### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Potenzialmente chiunque



Utenza reale

- Hobbisti
- Makers



Spunti progettuali

- Riproducibilità
- Struttura ad incasto
- Personalizzazione
- Ridotta complessità

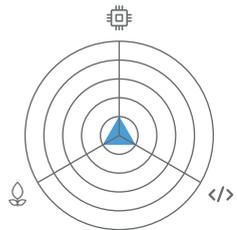
## OSBeehives + BuzzBox

OSBeehives è un'arnia Open Source, studiata per essere costruita in ogni Fablab e con i materiali più consoni per il clima locale.

BuzzBox è un sistema di monitoraggio di alveari: oltre ad avere sensori di temperatura, qualità e umidità dell'aria, acquisisce dati riguardo la frequenza sonora degli sciami di api attraverso dei microfoni a spettrografia e ne studia i pattern per determinare il numero, ruolo, posizioni e salute delle api al suo interno.



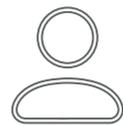
### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Apicoltori
- Hobbisti



Utenza reale

- Apicoltori
- Hobbisti



Spunti progettuali

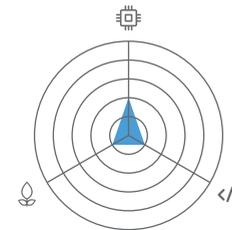
- Riproducibilità
- Attenzione ai materiali
- Sensori virtuali

## Farmbot

Farmbot è una piattaforma agricola CNC Open Source. Permette, attraverso un braccio robotico che opera su 3 assi con l'utilizzo di diverse testine, di piantare, innaffiare e rimuovere le erbacce in maniera automatizzata. Il tutto è gestito tramite app o web. Il costo iniziale è piuttosto alto, ma i produttori prevedono un periodo di ritorno dell'investimento compreso tra i tre e i cinque anni, permettendo in seguito il soddisfacimento del fabbisogno di verdure di una persona. Oltre 400 istituzioni educative hanno acquistato i kit FarmBot per coinvolgere e ispirare le prossime generazioni.



### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Chiunque abbia spazio
- Disabili
- Ricercatori



Utenza reale

- Istituzioni
- Enti educativi
- Alcuni privati
- Ricercatori



Spunti progettuali

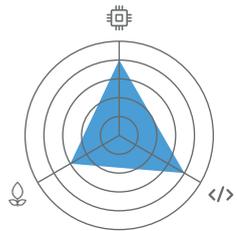
- Interfaccia
- Possibilità di controllare altri attuatori dalla stessa interfaccia
- Possibilità di preassemblaggio

## OpenAG - MIT

Il Personal Food Computer OpenAg™ è una piattaforma desktop per l'agricoltura in ambiente controllato che utilizza sistemi per controllare e monitorare le condizioni ambientali, l'energia utilizzata e la crescita delle piante. Assieme ai sensori per l'anidride carbonica, la temperatura dell'aria, l'umidità, l'ossigeno disciolto, l'idrogeno potenziale, la conducibilità elettrica e la temperatura della zona delle radici, possiede anche un modulo camera che permette l'analisi del fenotipo della pianta. La sua struttura modulare nel facilita l'espansione e l'integrazione di nuovi moduli.



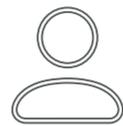
### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Nerdfarmers
- Ricercatori
- Educatori



Utenza reale

- Nerdfarmers
- Ricercatori
- Educatori



Spunti progettuali

- Struttura modulare ad incastro
- Accessibilità dei dati da remoto
- Espansione facilitata

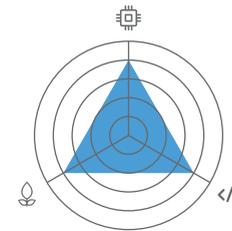
## Open Garden kits

La piattaforma Open Garden è composta da tre diversi kit Arduino compatibili, ciascuno pronto per uno specifico tipo di scenario vegetativo: indoor (case e serre), outdoor (giardini e campi) e idroponica (piante in impianti ad acqua).

La piattaforma permette di controllare lo stato delle piante rilevando diversi parametri. Data la sua estrema flessibilità, è possibile integrare i dispositivi Open Garden all'interno di coltivazioni con altri dispositivi Open Source.



### Competenze necessarie



### Analisi caso studio



### Opportunità e valore



Utenza prevista

- Hobbisti



Utenza reale

- Hobbisti



Spunti progettuali

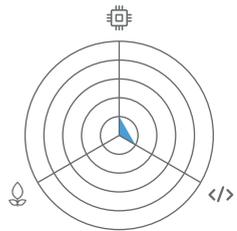
- Flessibilità
- Diversi moduli
- Low-Cost

## Smart Citizens Kit

Lo Smart Citizen Kit è una piattaforma che comprende tre livelli tecnologici: un dispositivo hardware con incorporati sensori ambientali; un sito web e API online; ed infine un'applicazione mobile. Consente di visualizzare le misurazioni effettuate, condividere i dati con altri utenti e visualizzare ciò che gli altri utenti della propria comunità o di tutto il mondo stanno segnalando. L'obiettivo dichiarato è servire come nodo per la costruzione di indicatori produttivi e aperti, e di strumenti distribuiti in modo da andare a formare una costruzione collettiva dell'ambiente città.



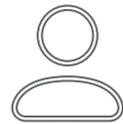
### Competenze necessarie



### Analisi caso studio

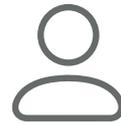


### Opportunità e valore



- Potenzialmente chiunque

Utenza prevista



- Cittadini Smart  
- Istituti

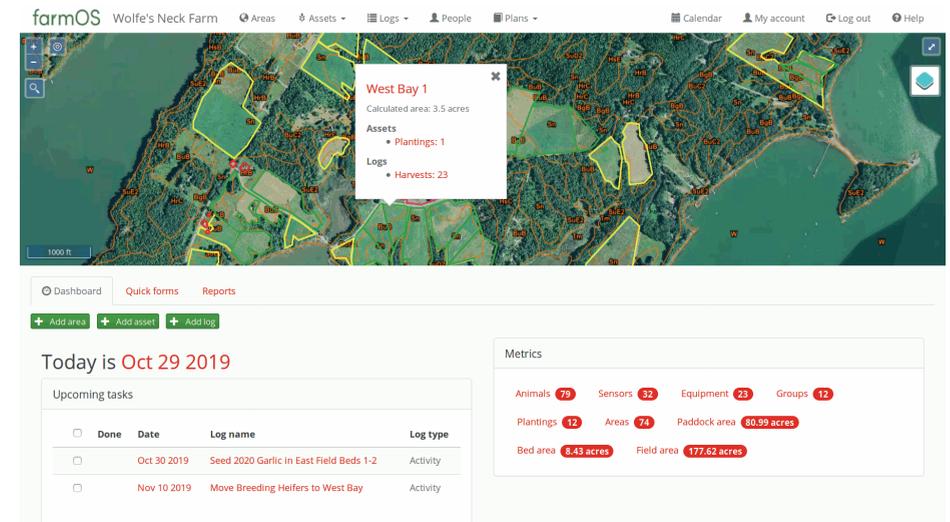
Utenza reale



Spunti progettuali

- Interfaccia
- Compattezza
- Apertura ad altre possibilità
- Gestione dell'alimentazione

## Piattaforma: FarmOS



FarmOS è un'applicazione basata sul web per la gestione, la pianificazione e la registrazione delle aziende agricole. Essa è sviluppata da una comunità di agricoltori, sviluppatori, ricercatori e organizzazioni con l'obiettivo di fornire una piattaforma standard per la raccolta e la gestione dei dati agricoli. Permette l'inserimento dei parametri riguardanti gli elementi presenti all'interno della coltivazione: non solo piante, ma anche numero di animali, attrezzature, gruppi di lavoro, area dei campi ed altri, permettendo il monitoraggio di più variabili.



- Agricoltori  
- Sviluppatori  
- Ricercatori

Utenza prevista



- Agricoltori  
- Sviluppatori  
- Ricercatori

Utenza reale



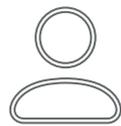
Spunti progettuali

- Condivisione dei dati
- Conoscenza distribuita
- Partecipazione della community
- Interfaccia WebBased

## Piattaforma: Growobservatory



Growobservatory è una piattaforma per il monitoraggio scientifico ambientale. Si basa su una rete di hardware vario in grado di monitorare il livello di umidità del suolo, temperatura, luce ed infine di mapparla. È un progetto a livello europeo che coinvolge coltivatori, scienziati e altri appassionati della terra. Gli obiettivi dichiarati dalla mission di Growobservatory sono la salvaguardia del suolo e l'adattamento al cambiamento climatico.



Utenza prevista

- Agricoltori
- Sviluppatori
- Ricercatori



Utenza reale

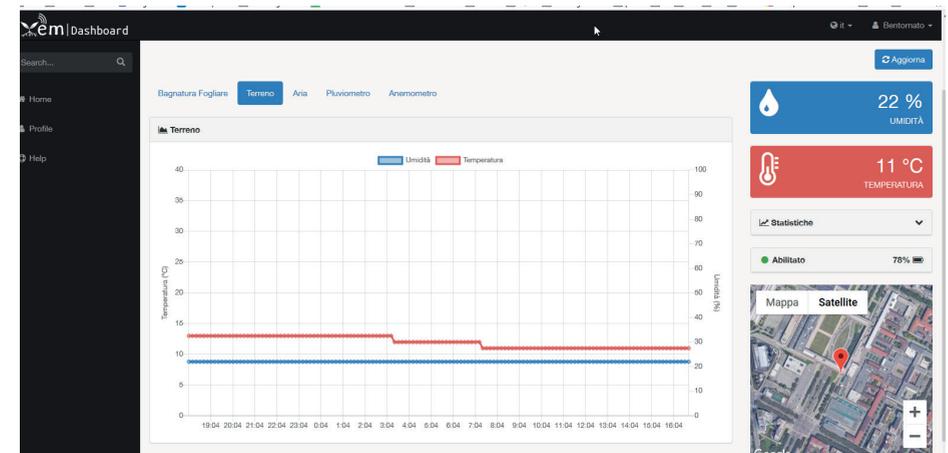
- Agricoltori
- Sviluppatori
- Ricercatori



Spunti progettuali

- Condivisione dei dati
- Conoscenza distribuita
- Interfaccia WebBased
- Data visualization

## Piattaforma: iXem Wine



iXemWine è una banca dati aperta che permette all'utente, a prescindere dal sistema di monitoraggio dei dati ambientali in un ambiente agricolo, di condividere i propri dati con la community e di avere accesso ai dati degli altri utenti. È basato su sensori brevettati ma integra i dati rilasciandoli tramite una piattaforma Open Source, e il suo punto di forza è il fatto che i dati possono provenire anche da sistemi di monitoraggio proprietari, ma la loro condivisione e il loro accesso da parte degli utenti resta comunque gratuito.



Utenza prevista

- Viticoltori



Utenza reale

- Viticoltori



Spunti progettuali

- Modello economico
- Interfaccia WebBased
- Data visualization

### 7.3.1 Apps

Una ricerca su alcune app<sup>6</sup> per mobile valutate tra le migliori nell'ambito della coltivazione, ha portato ad identificare le maggiori funzioni attualmente proposte dai servizi:

- management temporale (calendario)
- organizer spaziale di colture
- divulgazione su pratiche agricole
- funzione di attrattore di community
- divulgazione di conoscenza in ambito idroponico
- identificazione di specie
- identificazione di malattie
- identificazione di specie e malattie tramite intelligenza artificiale
- marketplace

### 7.3.2 Considerazioni sui casi studio

L'analisi dei casi studio ha permesso di derivare le seguenti considerazioni aggiuntive rispetto gli spunti progettuali elencati puntualmente:

- Innanzitutto riscontriamo che i progetti Open Source spesso hanno sì bisogno di un certo livello di competenze pregresse per la comprensione, il setup e l'uso (curva di apprendimento molto bassa), ma permettono di avere outcomes diversificati, spesso educativi, con uno svantaggio per quanto riguarda la produttività. Spesso sono progetti la cui utenza fa riferimento ad hobbisti più o meno avanzati, ad eccezione delle piattaforme selezionate, le quali prevedono un range di utenza che arriva al settore professionale.
- Si ritiene che le piattaforme siano potenzialmente molto utili, in particolare per chi è del settore o per le governances, infatti la restituzione dati, spesso sotto forma di grafici tecnici, è da interpretare e non rappresenta uno strumento conoscitivo per utenti meno competenti.
- La tecnologia, soprattutto nei casi studio chiusi, è spesso celata e ciò

6] Urban veggie garden; Gardenize - Garden Planner and Plant Journal; Garden Answers Plant Identifier; Hydroponic Tech - Técnicas Hidropónicas; Agrio - Protect your crops. Harvest more!; Planter - Garden Planner; Gardroid - Vegetable Garden; Garden Tags - Plants & gardens; FlowerChecker, plant identify; GKH Gardening Companion; Leafsnap; My Soil; Garden Organizer: Manager & Planner; Moon & Garden; GrowIt!™ The Plant Community; SmartPlant: Plants Made Simple; Gardenate; Sowing Calendar - Gardening; Plantix - your crop doctor.

impedisce all'utente di comprendere i processi di funzionamento.

- C'è una correlazione tra costo del prodotto e capacità produttiva nei progetti inerenti la coltivazione.
- In generale, si nota che l'ultimo grafico, quello indicante opportunità e creazione di valore, non è molto sviluppato.
- Molti progetti selezionati hanno ricevuto contributi europei.
- Quasi nessun progetto ha una community di sviluppo alle sue spalle tale da contribuire all'implementazione di esso in maniera costante e qualitativa.
- I progetti meccatronici puntano essenzialmente sull'automatizzazione dei processi.

## 7.4 Concept

Considerata la ricerca, le considerazioni riguardo il paragrafo "vision", i risultati delle indagini e l'analisi dei casi studio esposti nell'elaborato, si è proceduto alla definizione del concept:

*Favorire l'emergenza di pratiche agroecologiche, attraverso un sistema cyber-fisico Open Source in grado di acquisire, raccogliere, elaborare, restituire conoscenza, responsabilità e competenze; ed evolvere, specializzandosi, per rispondere ad esigenze contestuali, e anche fornire puntualmente supporto in termini di monitoraggio e controllo per la coltivazione su micro-scala.*

Si cerca di compiere ciò step by step:

A) inizialmente si ha necessità di sviluppare e prototipare uno strumento Open Source di acquisizione e restituzione dati flessibile e adattabile per vari scenari di coltivazione su micro-scala; Questo strumento è da considerarsi come il prodotto minimo funzionante (Minimum Viable Product "MVP").

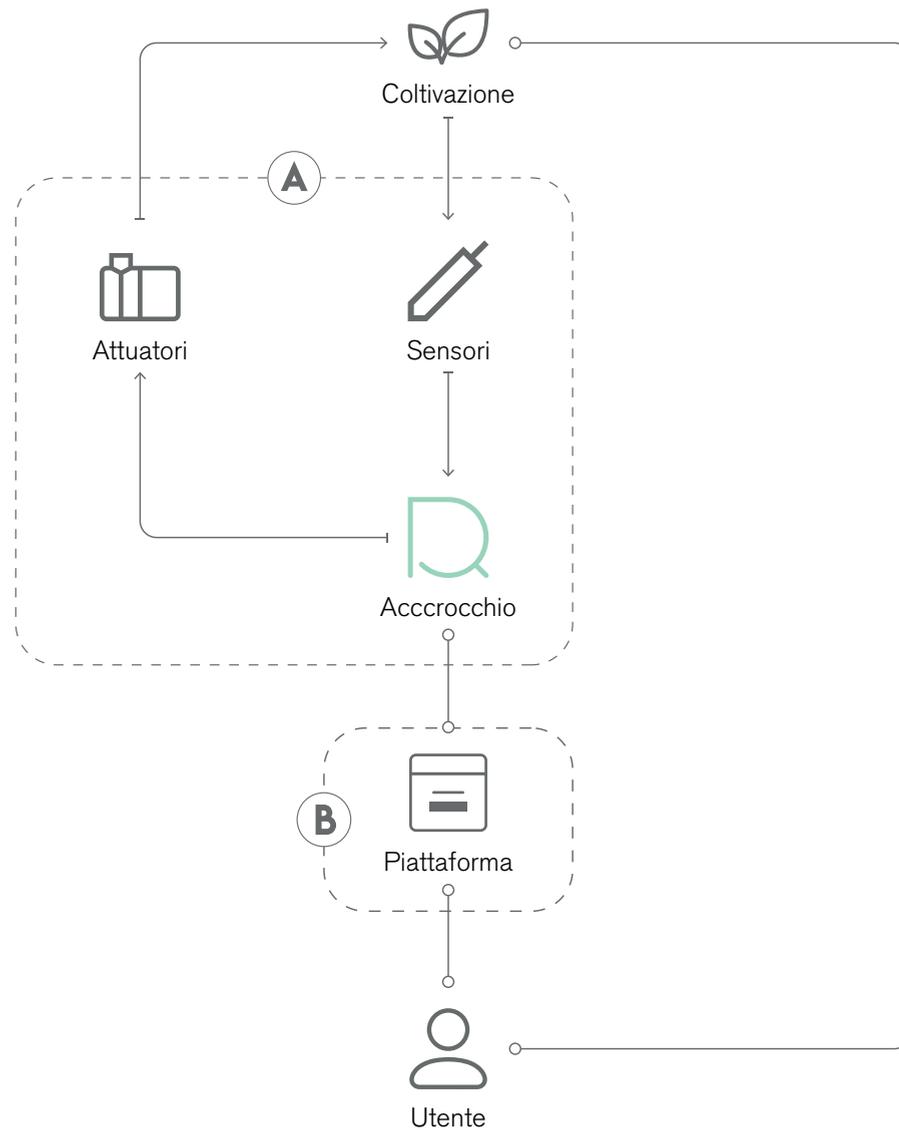
B) Inoltre si propone un framework, con le funzioni principali, di una piattaforma collaborativa da interfacciare con il sistema di acquisizione dati e controllo, al fine di abilitare la modellazione di complessità di dettaglio e di connessioni crescenti dei sistemi di riferimento, anche grazie all'implementazione e integrazione di funzioni e l'esplicitare le relazioni tra elementi da parte della community e di algoritmi di intelligenza artificiale.

La piattaforma, dunque, ospita il gemello digitale<sup>7</sup> del sistema di coltiva-

7] Un gemello digitale è la rappresentazione virtuale di un'entità fisica, vivente o non vivente, di una persona o di un sistema anche complesso. La componente digitale è connessa con la parte fisica, con la quale può scambiare dati e informazioni. Fonte: El Saddik, A. (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. IEEE MultiMedia, 25(2), 87-92. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167>

zione; agisce quindi da front-end per un ambiente di programmazione e uno spazio virtuale di modellazione e controllo.

Con “modellizzare” si intende una rappresentazione matematico-fisica del sistema di riferimento, restituita all'utente in una forma interattiva; la quale dapprima si basa su una semplificazione dei fenomeni biologici e ambientali, e successivamente, aggiungendo complessità, è in grado di ottimizzare e aumentare la resilienza del sistema agricolo e di aumentare la capacità osservativa dei fenomeni ambientali e biologici.

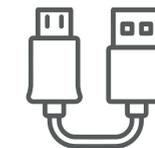


## 7.5 Linee guida

Si riassumono di seguito le linee guida progettuali valide sia per il punto A, sia per il punto B del concept.



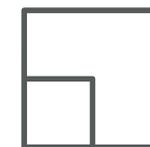
Open Source



Componenti e protocolli standard



Espandibilità



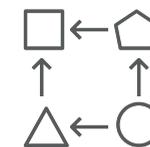
Scalabilità



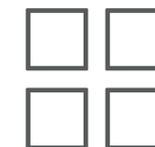
Riproducibilità



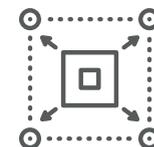
Auto-producibilità



Adattabilità



Modularità



Integrabilità

## 8 Progettazione

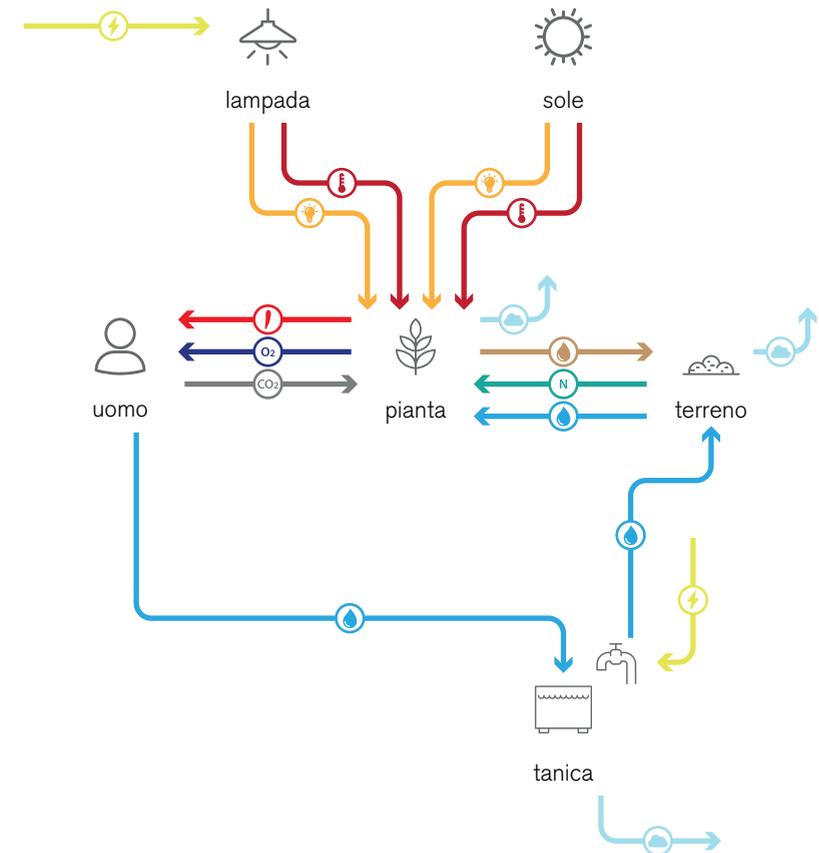
### 8.1 Mappatura dei flussi dei sistemi di coltivazione su micro-scala

Allo scopo di identificare i sensori e gli attuatori necessari per progettare un sistema di monitoraggio e controllo, si è provveduto a mappare i flussi di materia ed energia dei sistemi di coltivazione su micro-scala più utilizzati, ovvero coltivazione su suolo, idroponica, aeroponica e acquaponica.

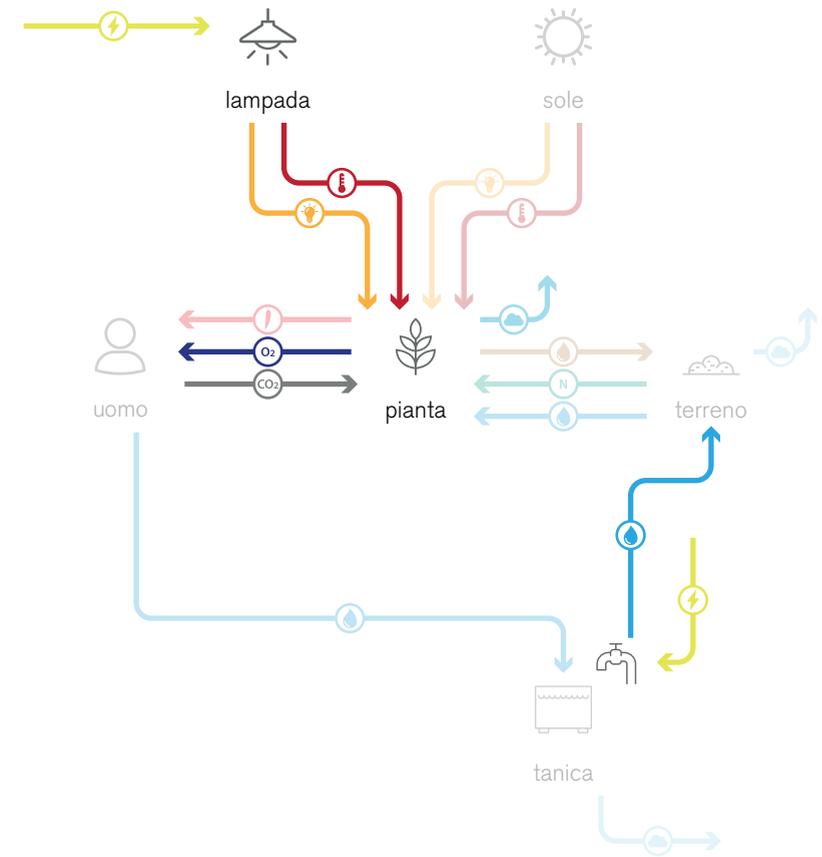
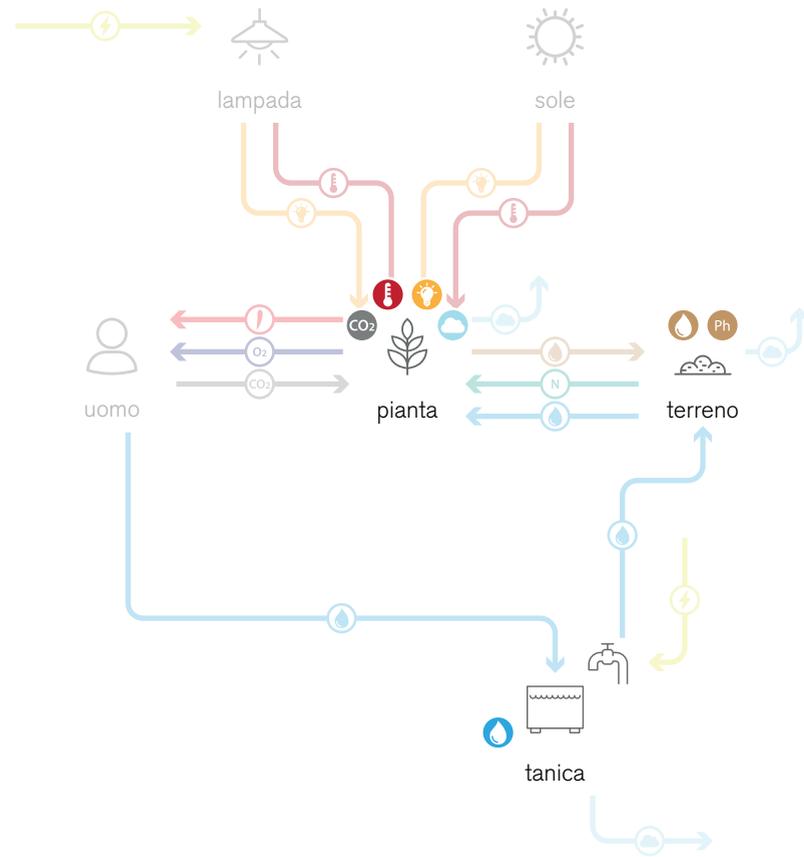
## 8.1.1 Coltivazione su suolo



Foto di Markus Spiske da Unsplash



- Frutti
- Ossigeno
- Anidride carbonica
- Acqua
- Calore
- Luce
- Vapore acqueo
- Acqua sporca
- Sostanze nutritive
- Energia elettrica



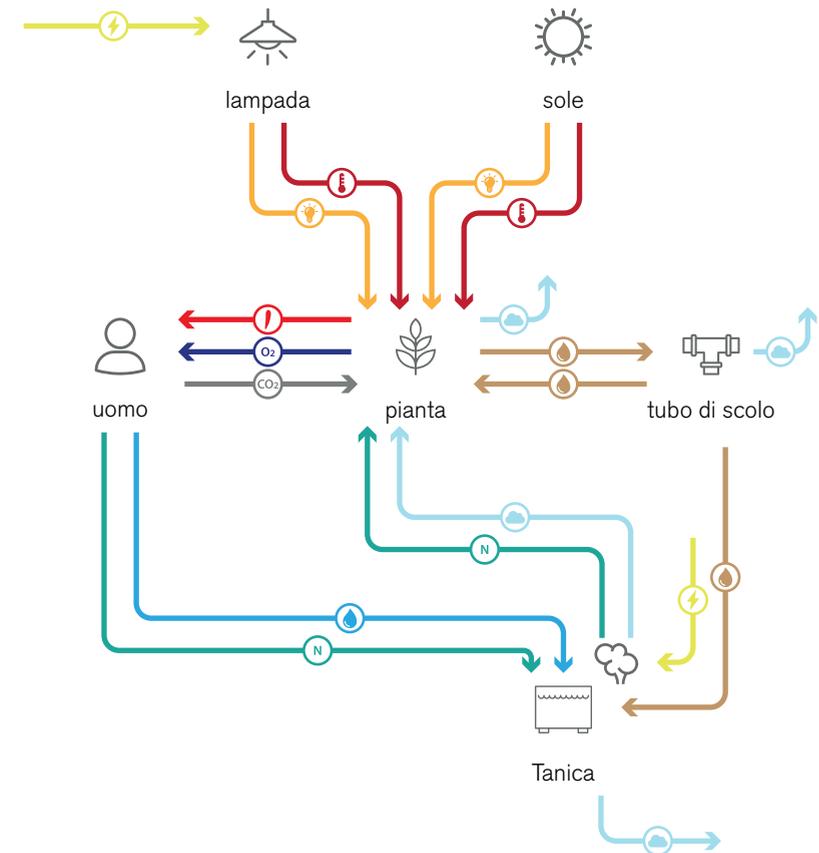
-  Qualità dell'aria  
PPM di CO<sub>2</sub>
-  Temperatura  
Indice di calore
-  Intensità luminosa  
Luce visibile  
Luce infrarossa
-  Umidità relativa
-  Umidità del terreno
-  Ph del terreno
-  Livello dell'acqua

-  Illuminazione  
agisce su:  
 
-  Riscaldamento  
agisce su:  
 
-  Aerazione  
agisce su:  
   
-  Irrigazione  
agisce su:  
  

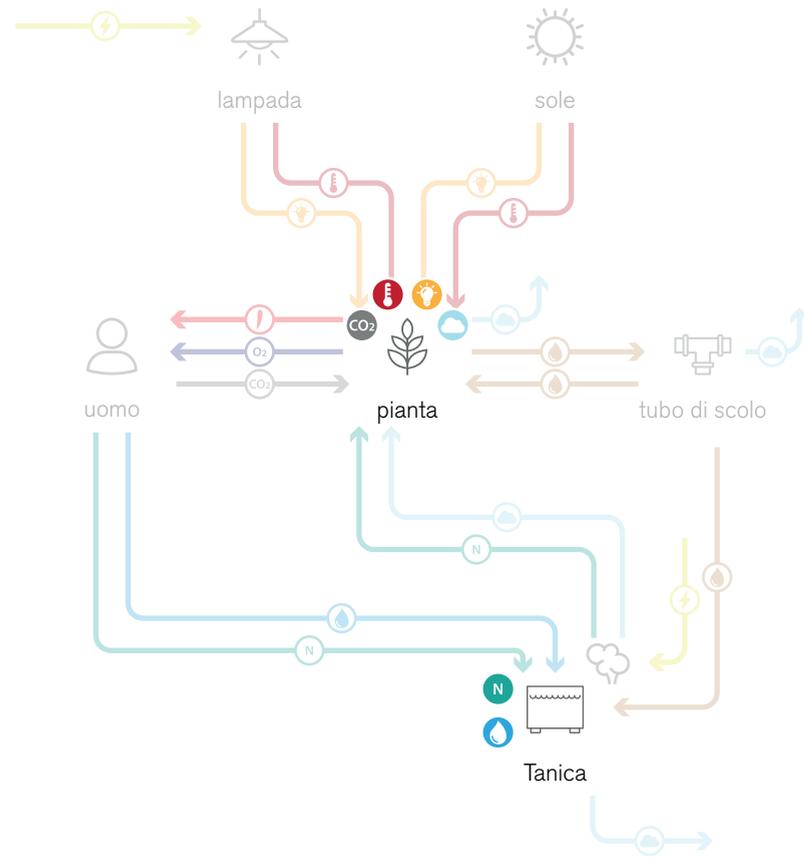
## 8.1.2 Idroponica



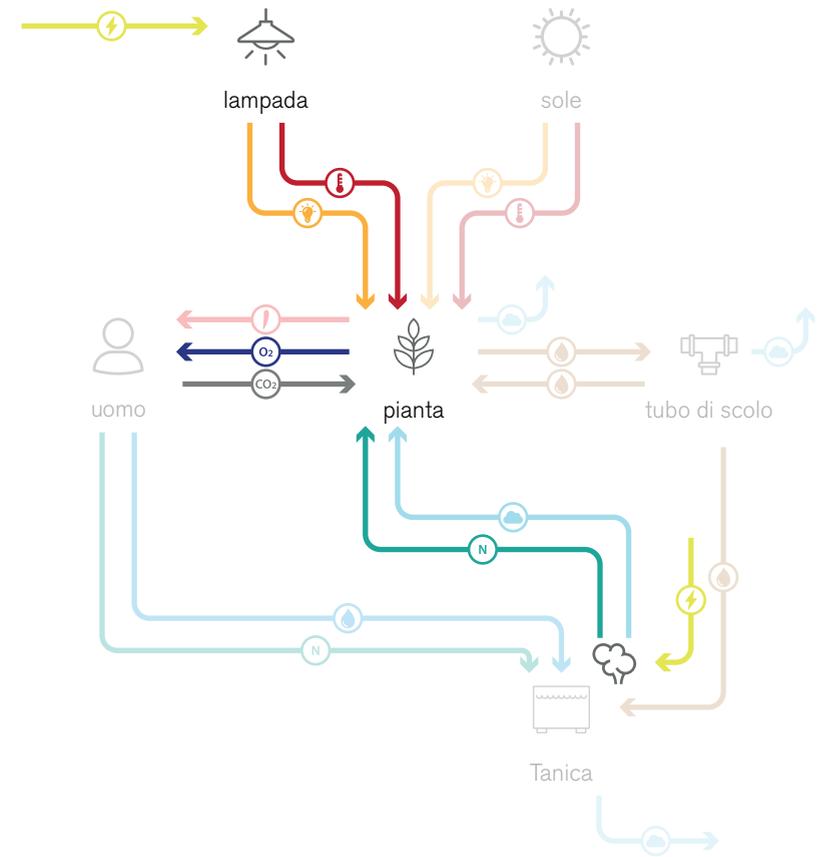
Foto di Shawn Ang da Unsplash



- 🍓 Frutti
- 🌬️ Ossigeno
- 🌫️ Anidride carbonica
- 💧 Acqua
- 🔥 Calore
- 💡 Luce
- ☁️ Vapore acqueo
- 🌡️ Acqua sporca
- 🌱 Sostanze nutritive
- ⚡ Energia elettrica



-  Qualità dell'aria  
PPM di CO<sub>2</sub>
-  Temperatura  
Indice di calore
-  Intensità luminosa  
Luce visibile  
Luce infrarossa
-  Umidità relativa
-  Livello dell'acqua
-  Nutrienti disciolti

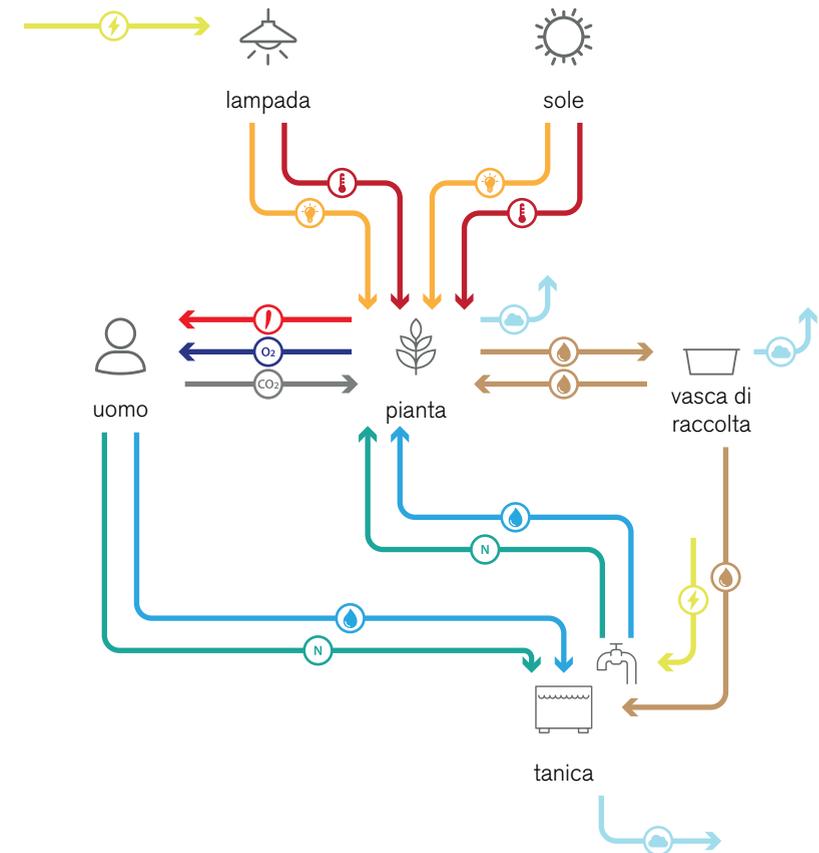


-  Illuminazione  
agisce su:  
 
-  Riscaldamento  
agisce su:  
 
-  Aerazione  
agisce su:  
   
-  Vaporizzazione  
agisce su:  
 

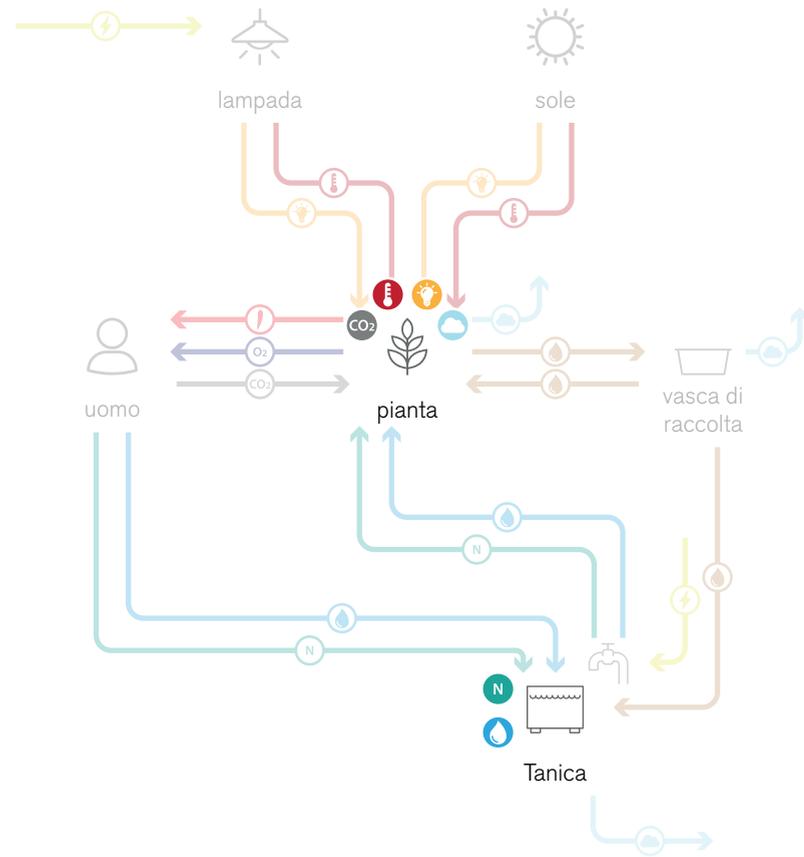
### 8.1.3 Aeroponica



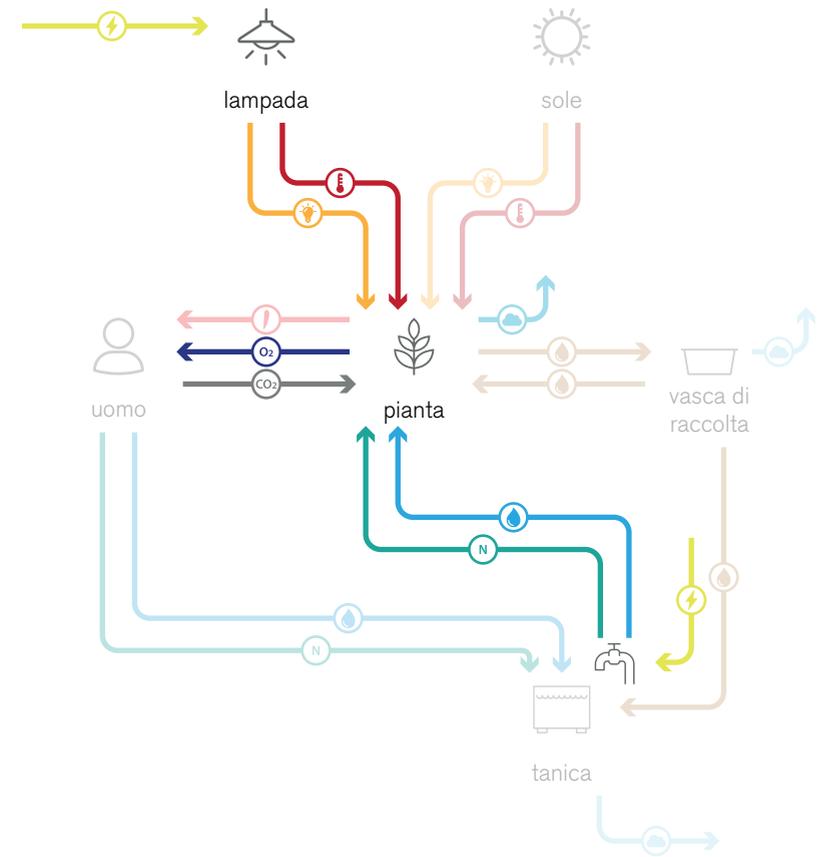
Foto di Bright Agrotech da Needpix.com



- 🍌 Frutti
- 🌬️ Ossigeno
- 🌫️ Anidride carbonica
- 💧 Acqua
- 🔥 Calore
- 💡 Luce
- ☁️ Vapore acqueo
- 🌡️ Acqua sporca
- 🍷 Sostanze nutritive
- ⚡ Energia elettrica



- Qualità dell'aria  
PPM di CO2
- Temperatura  
Indice di calore
- Intensità luminosa  
Luce visibile  
Luce infrarossa
- Umidità relativa
- Livello dell'acqua
- Nutrienti disciolti

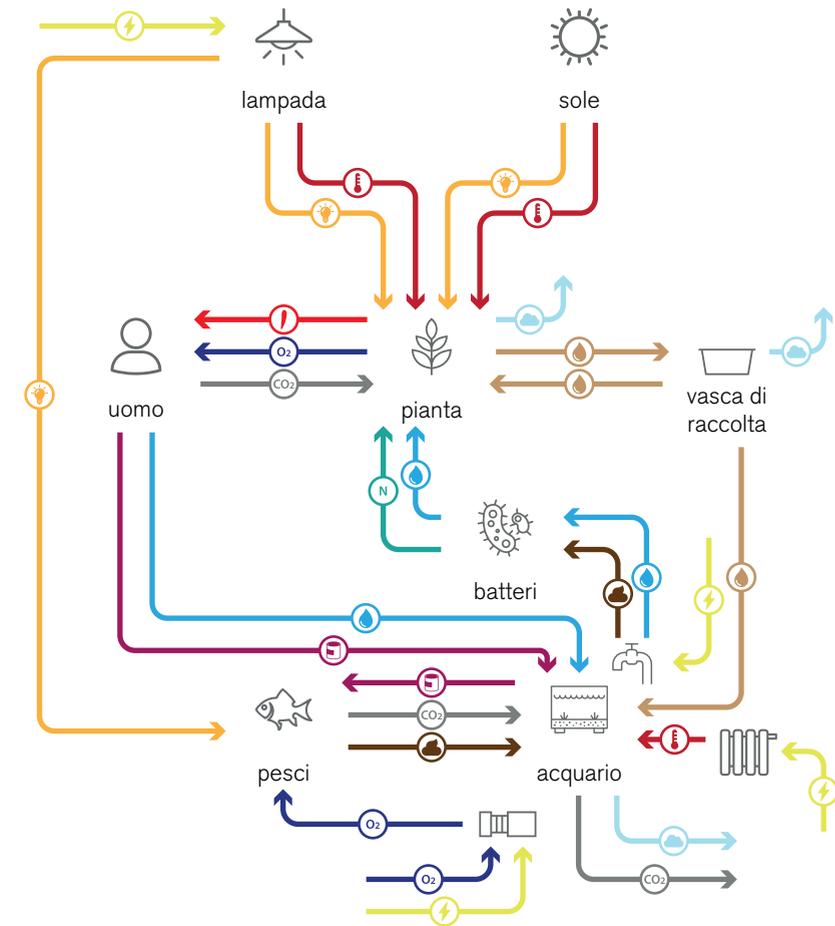


- Illuminazione  
agisce su:
- Riscaldamento  
agisce su:
- Aerazione  
agisce su:
- Irrigazione  
agisce su:

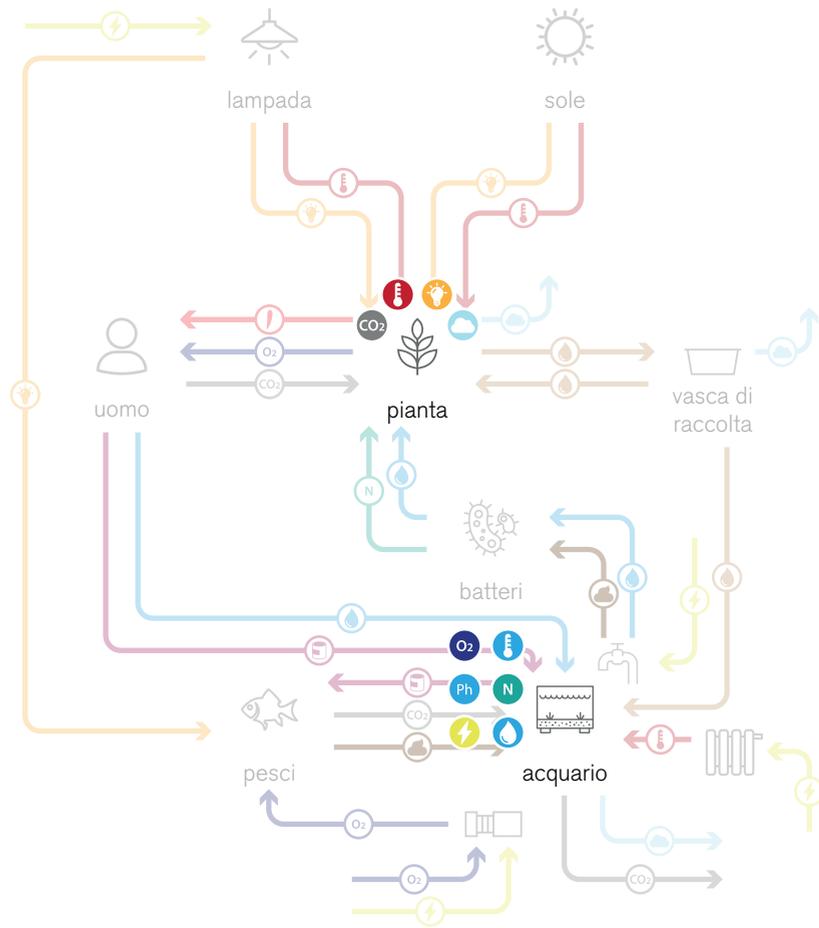
## 8.1.4 Acquaponica



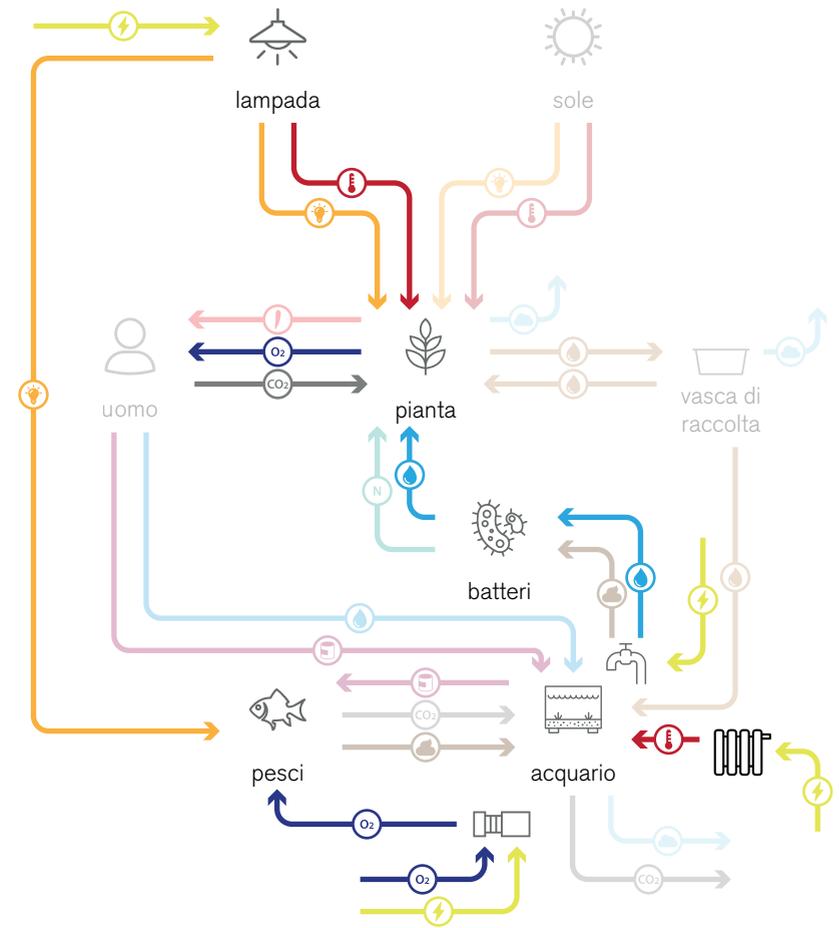
Foto di Kate Field da Flickr



- 🍌 Frutti
- 🌬️ O<sub>2</sub> Ossigeno
- 🌫️ CO<sub>2</sub> Anidride carbonica
- 💧 Acqua
- 🔥 Calore
- 💡 Luce
- ☁️ Vapore acqueo
- 🌫️ Acqua sporca
- 🌱 Sostanze nutritive
- ⚡ Energia elettrica
- 🍲 Mangime
- 🗑️ Scarti dei pesci



- Qualità dell'aria  
PPM di CO2
- Temperatura  
Indice di calore
- Intensità luminosa  
Luce visibile  
Luce infrarossa
- Umidità relativa
- Livello dell'acqua
- Nutrienti disciolti
- Temperatura dell'acqua
- Ph dell'acqua
- Ossigeno disciolto
- Conducibilità  
Salinità



- Illuminazione  
agisce su:
- Riscaldamento  
agisce su:
- Aerazione  
agisce su:
- Irrigazione  
agisce su:
- Riscaldamento dell'acqua  
agisce su:
- Ossigenazione dell'acqua  
agisce su:

## 8.2 Stato dell'arte dei sensori compatibili Open Source

## Sensori selezionati



### Qualità dell'aria

*MQ135*: NH3, Benzene, Alcol, Co2  
*CCS881*: Vari ossidi metallici  
*MG881*: CO2  
*MH-Z14*: CO2



### Luce

*SI1145*: Luce visibile, Luce infrarossa, Indice UV  
*TEMT6000*: Luce visibile  
*BH1750*: Intensità (digitale)  
*Fotorestore*: Intensità (analogico)



### Qualità dell'aria

*MQ135*: NH3, Benzene, Alcol, Co2  
*CCS881*: Vari ossidi metallici  
*MG881*: CO2  
*MH-Z14*: CO2



### Luce

*SI1145*: Luce visibile, Luce infrarossa, Indice UV  
*TEMT6000*: Luce visibile  
*BH1750*: Intensità (digitale)  
*Fotorestore*: Intensità (analogico)



### Temperatura

*DHT11*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*DHT22*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*TMP36*: Temperatura (analogico)  
*BME280*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita, Pressione barometrica, Altitudine



### Umidità

*DHT11*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*DHT22*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*BME280*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita, Pressione barometrica, Altitudine



### Temperatura

*DHT11*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*DHT22*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*TMP36*: Temperatura (analogico)  
*BME280*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita, Pressione barometrica, Altitudine



### Umidità

*DHT11*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*DHT22*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita  
*BME280*: Temperatura, Umidità, Temperatura percepita, Pressione barometrica, Altitudine



### Umidità del terreno

*Capacitivi*: Umidità relativa (analogico)  
*Resistivi*: Umidità relativa (analogico)



### Livello dell'acqua

*HC SR-04*: Distanza ad ultrasuoni  
*K-0135*: resistivo (analogico)



### Umidità del terreno

*Capacitivi*: Umidità relativa (analogico)  
*Resistivi*: Umidità relativa (analogico)



### Livello dell'acqua

*HC SR-04*: Distanza ad ultrasuoni  
*K-0135*: resistivo (analogico)



### Temperatura dell'acqua

*DS18B20*: Temperatura (impermeabile)  
*PT1000*: Temperatura (impermeabile)



### Ph dell'acqua

*Ph BNC*: Ph (analogico)



### Conducibilità / Salinità

*SEN0223*: Salinità  
*Circuito dedicato*: conducibilità



### Ossigeno disciolto

*Galvanic DO*: Ossigeno disciolto

## 8.3 A - Accrocchio

### 8.3.1 Identificazione dei moduli

In seguito si sono identificati quattro moduli rispondenti alle esigenze dei sistemi di coltivazione analizzati.

- Modulo Ambiente, composto da:
  - Sensori: qualità dell'aria, luce, temperatura, umidità dell'aria, umidità del terreno.
- Modulo Irrigazione:
  - Sensori: livello dell'acqua.
  - Attuatori: pompe per l'irrigazione.
- Modulo Growbox (enclosure):
  - Attuatori: lampade, ventole, riscaldatori.
- Modulo Acquario:
  - Sensori: livello dell'acqua, temperatura dell'acqua, pH dell'acqua, conducibilità/salinità, ossigeno disciolto.
  - Attuatori: pompe per l'acqua, pompe per l'aria, termoriscaldatori.

Stando all'analisi dei flussi delle diverse pratiche di coltivazione domestiche, queste sono formate da vari elementi che, in molti casi, sono collocati distanti spazialmente l'uno dall'altro; basti pensare alla distanza che separa le vasche per l'acquacoltura dalle piante nelle coltivazioni acquaponiche, e le distanze (seppur minori) tra il serbatoio o fonte dell'acqua e le piante nella coltivazioni geoponica, idroponica e aeroponica.

Considerando queste caratteristiche strutturali, la progettazione di una struttura all-in-one che comprenda tutti gli elementi del sistema risulterebbe poco funzionale.

Inoltre, la divisione delle funzioni in moduli permette i seguenti benefici:

- Sostituibilità: i moduli permettono una migliore sostituibilità delle parti in caso di deperimento dei componenti.
- Accessibilità: Rispetto ad una singola unità all-in-one, i moduli permettono una maggiore flessibilità di configurazione e di espansione del sistema: a partire dall'unità dedicata solo al monitoraggio dell'ambiente dove la pianta è inserita (che compone l'unità minima per abilitare il monitoraggio), è possibile annessere al sistema le altre unità, abilitando la possibilità d'accesso anche per chi ha interesse nel coltivare sul balcone senza nessun tipo di controllo automatizzato.



- **Componibilità:** Il fatto di avere diverse unità predisposte a compiti diversi ma che "dialogano" grazie alla loro natura di dispositivi IOT, si ritiene sia un'affordance per l'utente per cambiare (o migliorare) il modo in cui coltiva: la singola unità di monitoraggio, per esempio, può essere integrata con un'unità di irrigazione che permette l'automazione dell'irrigazione attraverso delle soglie stabilite dall'utente. In seguito il sistema può essere ulteriormente integrato con una growbox per il controllo delle condizioni ambientali di crescita: in questo caso l'unità di monitoraggio viene posizionata all'interno del growbox perchè l'ambiente da monitorare diventa quello interno al growbox, e il growbox agisce attraverso i suoi attuatori andando a modificare le condizioni ambientali, e andando a costituire dei cicli di feedback-loop con il modulo di monitoraggio a partire dalle condizioni dettate dall'utente. Il modulo Acquario permette l'integrazione di un ulteriore elemento per abilitare una coltivazione acquaponica
- Il modulo Growbox non ha al suo interno un modulo di monitoraggio, questo per evitare un costo maggiore, ma anche per favorire l'annessione di una

nuova unità da parte dell'utente: se l'utente ha già un modulo di monitoraggio che vuole integrare con un modulo Growbox, e se il modulo Growbox avesse già al suo interno il modulo Ambiente, l'utente si troverebbe con un modulo di monitoraggio inutilizzato. In questo caso invece l'utente non deve riconfigurare nulla, ma deve solo posizionare il modulo Ambiente all'interno del modulo Growbox in quanto il growbox fornirebbe i limiti fisici (enclosures) del nuovo ambiente di coltivazione.

- Il modulo Acquario potrebbe funzionare autonomamente anche senza l'integrazione con gli altri moduli.
- IOT: I moduli non hanno bisogno di collegamenti fisici tra di loro in quanto sono elementi autonomi che funzionano come dispositivi IOT. La natura dei moduli come dispositivi IOT permette appunto una maggiore flessibilità spaziale rispetto ad un'unità all-in-one.
- Integrazione: Data la natura dei moduli come dispositivi IOT, è possibile connettere al sistema altri dispositivi (anche chiusi) esterni a quelli del progetto. In questo modo, l'utente non è vincolato a comprare o costruire da zero, ma può utilizzare eventualmente unità di monitoraggio/controllo IOT già in suo possesso connettendole al sistema.

Si è proceduto, dunque, con la progettazione dei primi due moduli IoT, ovvero quello atto al monitoraggio ambientale e quello per il controllo dell'irrigazione, in quanto costituiscono il proof of concept.

Il sistema cyber-fisico prototipato, che costituisce il proof of concept in versione prodotto minimo funzionante (MVP) si avvale di un modulo Ambiente, con il quale vengono monitorate le condizioni ambientali di temperatura, umidità, quantità di luce visibile e quantità di radiazione infrarossa, la qualità dell'aria e l'umidità del terreno; un modulo Irrigazione che controlla l'irrigazione e monitora il livello dell'acqua all'interno di un recipiente; e infine un Raspberry Pi B3+ configurato con un broker MQTT, il quale gestisce tutti i flussi di informazioni in entrata e in uscita attraverso Node-RED.

L'utente è in grado di accedere ai grafici dei dati in locale dalla dashboard creata all'interno di Node-RED e da remoto attraverso l'app di Blynk, e sia da locale che da remoto, può accedere all'ultima lettura fatta dai sensori attraverso l'utilizzo di un BOT di Telegram, attraverso il quale, inoltre, è in grado di attivare o disattivare le notifiche e l'irrigazione automatica ed impostare i valori per le soglie di irrigazione e i nomi delle piante.

In aggiunta, si abilita la ricezione di notifiche vocali da parte di un dispositivo Google Home Mini integrato nel sistema, e la ricezione di dati meteorologici e climatici attraverso l'API di OpenWeatherMap.

Gli attuatori previsti per automatizzare il processo produttivo consistono in



quattro pompe per l'acqua (una per ogni vaso monitorato).

In seguito si documentano i processi progettuali che hanno portato alla prototipazione dei sistemi cyber-fisici.

I passaggi che non sono documentati all'interno di questo elaborato poiché, avendo usato solo procedure, hardware e software Open Source, sono facilmente reperibili online, sono:

- La composizione e il funzionamento elettrico/elettronico dei singoli componenti;
- La procedura di installazione dei driver per i moduli NodeMCU;
- L'installazione delle varie librerie utilizzate per la comunicazione con i sensori;
- L'analisi degli sketch completi caricati sui moduli NodeMCU (C++);
- La creazione e la configurazione di un BOT di Telegram;
- La procedura di installazione del sistema operativo sul Raspberry Pi;
- La procedura di installazione e di configurazione di Mosquitto sul

Raspberry Pi;

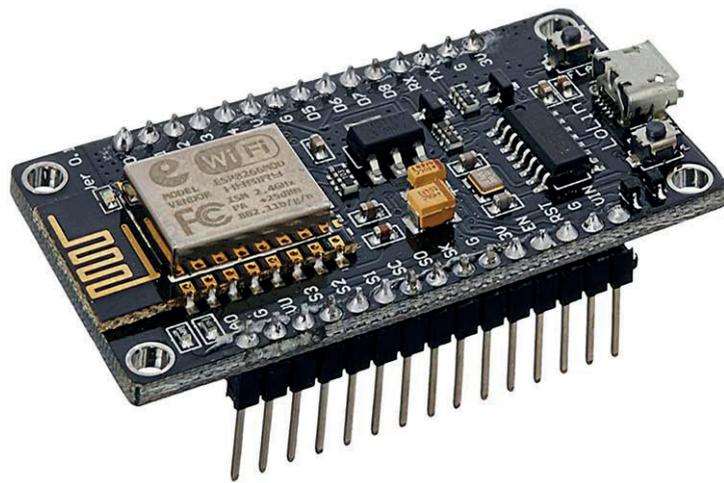
- La procedura di installazione, di configurazione di Node-RED sul Raspberry Pi;
- L'analisi degli sketch all'interno dei nodi Function di Node-RED (JavaScript);
- L'installazione e la configurazione dei nodi MQTT, Telegram e Google Home su Node-RED;
- La creazione di un template per la dashboard di Node-RED;
- La creazione della dashboard nell'app di Blynk.

### 8.3.2 Tecnologie abilitanti

#### NodeMCU

Le main board che abbiamo utilizzato sono dei microcontrollori programmati chiamati NodeMCU.

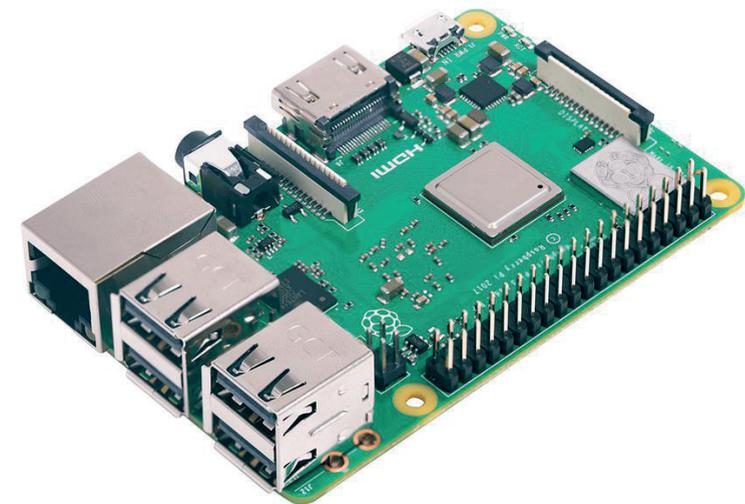
Queste sono schede basate sul modulo transceiver Wi-Fi ESP8266 (quindi è una scheda che nasce già con un modulo Wi-Fi a bordo) e sul convertitore USB-UART CP2102. Si tratta di board compatte Open Source, e sono l'ideale per lo sviluppo e la prototipazione di applicazioni IOT. Le schede utilizzate sono configurate come MQTT client in modo che possano trasmettere via Wi-Fi le letture dei sensori (entrambe le schede), mentre una sola è predisposta a ricevere comandi (sempre via MQTT) dal Raspberry.



#### Raspberry Pi B3+

Il single board computer che abbiamo utilizzato è un Raspberry Pi B3+. Si tratta di un dispositivo che viene spesso utilizzato come centrale per la smart home, così da gestire ed ottimizzare il funzionamento di tutti gli apparecchi domotici.

Al suo interno è stato installato Stretch come sistema operativo, e i software installati per gestire il progetto sono Mosquitto e Node-RED. Nel nostro progetto è interfacciato con un broker MQTT e come board di controllo dei dati attraverso Node-RED.



#### MQTT

Il protocollo di comunicazione e scambio dati MQTT è specificatamente studiato per le situazioni in cui è richiesto un basso consumo e dove la banda è limitata, ciò fa di lui il protocollo ideale per lo scambio dati nel mondo dell'IOT.

Il protocollo MQTT adotta, a differenza del modello client/server HTTP, un sistema di pubblicazione e sottoscrizione per scambiare messaggi tramite un apposito "message broker": al posto di inviare messaggi a un determinato numero di destinatari, i mittenti (publisher) pubblicano i messaggi su un certo argomento (detto topic) sul message broker: ogni destinatario (subscriber) sottoscrive agli argomenti che lo interessano e, ogni volta che un nuovo messaggio viene pubblicato su uno specifico argomento, il message broker lo

ridistribuisce a tutti i destinatari. In questo modo si configura una messaggistica uno-a-molti. Per la semplicità di utilizzo, e grazie alla moltitudine di materiale disponibile online, è stato scelto Mosquitto come servizio di broker MQTT.

Mosquitto è uno degli MQTT broker di messaggi Open Source (con licenza EPL/EDL) più comuni, e nel nostro progetto è installato sul Raspberry Pi. È leggero ed è adatto per l'uso su tutti i dispositivi, dai computer a scheda singola a bassa potenza ai server completi.

Un broker MQTT è un programma che gestisce code per conto di client remoti che si collegano tramite Internet (TCP/IP): come già detto, i client (nel nostro caso le schede NodeMCU) possono sia pubblicare messaggi testuali nel broker (publisher) e/o possono connettersi al broker ed essere notificati di tutti o alcuni messaggi trasmessi da qualche pubblicatore (subscribers). Nel nostro caso, le schede NodeMCU che funzionano da client, possono essere sia publisher nel caso dei valori rilevati tramite i sensori, che subscribers nel caso di controllo degli attuatori.

Un broker MQTT è come amministratore di un numero imprecisato di code, ciascuna caratterizzata da un proprio argomento, chiamato appunto topic. Questo permette ai client sottoscrittori che si connetteranno al broker di essere informati solo di alcuni messaggi, appartenenti cioè a quei topic che hanno selezionato al momento della sottoscrizione.

Un client pubblicatore dovrà associare un topic ad ogni messaggio, così il broker capirà se accodare il messaggio in qualche coda, se la coda per quel topic già esiste, o creare una nuova coda per un topic non usato in precedenza. Questo modello gerarchico conferisce ad MQTT una estrema flessibilità e generalità di utilizzo.

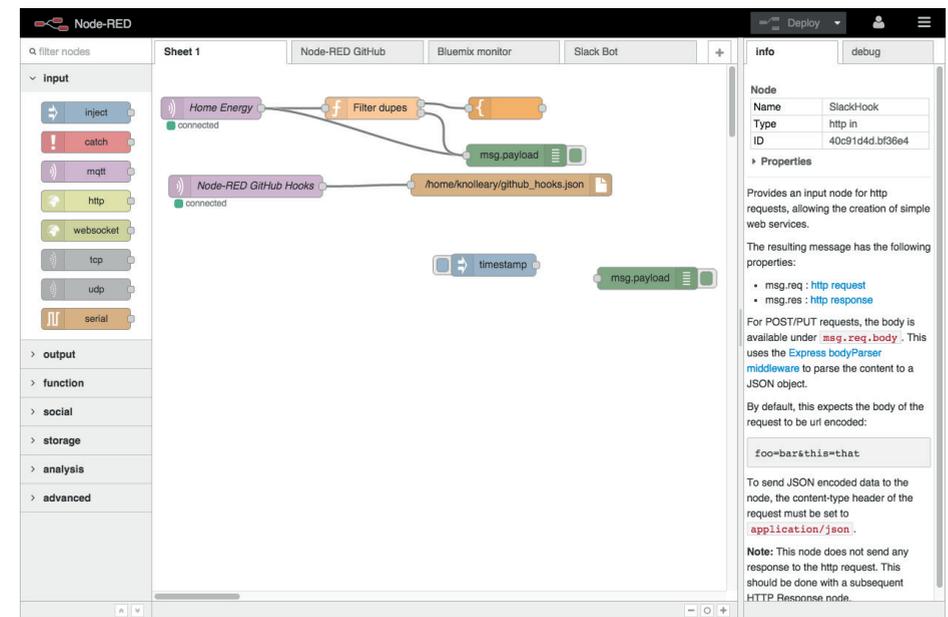


## Node-RED

Node-RED è uno strumento di sviluppo basato sul flusso per la programmazione visiva, e sviluppato originariamente da IBM per il collegamento di dispositivi hardware, API e servizi online come parte dell'IoT.

Node-RED fornisce un editor di flusso basato su browser Web, che può essere utilizzato per creare funzioni JavaScript, che possono essere salvate o condivise per il riutilizzo.

Basato su JavaScript con Node.js, Node-RED è uno strumento nato con l'idea di gestire il mondo dell'IoT tramite il paradigma dei flussi di dati, il quale sfrutta tutte le sue potenzialità e la sua estesa documentazione e community. Nei flussi viaggiano dati a pacchetti tramite il protocollo MQTT ed in formato .JSON, che saltano da un nodo all'altro innescando eventi tramite javascript verso siti web, dashboard, sensori ed apparecchi interfacciati.



Schermata dell'area di lavoro di Node-RED

Fonte: <https://github.com/node-red/node-red>

## Telegram BOT

I BOT sono applicazioni di terze parti eseguite all'interno di Telegram. Gli utenti possono interagire con i bot inviando loro messaggi, comandi e richieste in linea. In altre parole, i BOT sono un comodo sistema per automatizzare alcune interazioni con gli utenti, fornendo risposte prestabilite e "precompilate" alle loro domande e richieste.

Nel nostro caso, il BOT provvede all'invio dei valori di monitoraggio ambientale (su richiesta), provvede alla comunicazione di una notifica quando avvengono determinati eventi, e interagisce con l'utente ad un livello base.

## Blynk

Blynk è una delle piattaforme di sviluppo IOT (Internet of Things) più utilizzata, che tramite applicazione per iOS e Android permette di controllare board collegate ad internet: Raspberry Pi, Arduino, ESP8266 ecc.

La componente principale di Blynk che ci permetterà di interagire con la nostra scheda sono i widget, che nel nostro caso sono due Graph Board, dove viene visualizzato l'andamento grafico dell'umidità del terreno per ognuna delle quattro piante e l'andamento grafico della luce visibile e della luce infrarossa.

La potenzialità di Blynk è che ogni progetto realizzato nell'app Blynk può essere esportato come app autonoma e pubblicato su App Store e Google Play.

## OpenWeatherMap

OpenWeatherMap è un servizio Open Source creato nel 2012 da OpenWeather Ltd, e si occupa di fornire dati meteorologici. Il punto di forza di questo servizio sono le oltre venti API (acronimo di Application Programming Interface, ovvero Interfaccia di programmazione delle applicazioni) per ottenere diversi tipi di dati meteorologici a partire da dati climatici simulati, servizi meteorologici ufficiali, dati provenienti da stazioni meteorologiche aeroportuali e da stazioni meteorologiche private, queste ultime, in particolare, danno la possibilità ad utenti non-business di partecipare al progetto condividendo i propri dati.

Attraverso le API, è in grado di fornire all'utente una serie di previsioni, con profondità e fasi di misurazioni diverse:

- Previsioni ogni minuto con un orizzonte temporale massimo di un'ora;

- Previsioni ogni ora con un orizzonte temporale massimo di quattro giorni;
- Previsioni ad intervalli di tre ore con un orizzonte temporale massimo di cinque giorni;
- Previsioni giornaliere con un orizzonte temporale massimo di sedici giorni;
- Previsioni climatiche con un orizzonte temporale massimo di trenta giorni.

Un altro punto di forza di OpenWeatherMap è l'integrabilità: può essere infatti inserito in varie applicazioni (attraverso appunto le varie API) come fonte di dati meteorologici locali per fare previsioni sul clima.

Permette infine all'utente di accedere ad uno storico delle previsioni a livello globale per i quarant'anni trascorsi, dandogli la possibilità di accedere a:

- Dati meteorologici storici;
- Dati meteorologici statistici;
- Dati meteorologici di previsioni storiche.

## Google Home

Google Home è l'assistente personale per la casa di Google. È un sistema indipendente che non ha la necessità di uno smartphone per funzionare: lo si posiziona in casa dove può essere utilizzato a piacimento da più persone. È possibile utilizzarlo per impostare promemoria, chiedere informazioni sul meteo, far squillare il proprio telefono perso o interagire con servizi di terze parti e dispositivi di domotica.

Google Home è compatibile con moltissimi dispositivi e di marchi di aziende terze per il controllo della temperatura (riscaldamento/condizionatori) della musica, della luce, di prese di corrente e di altri dispositivi di domotica.

Nel nostro caso viene utilizzato per la comunicazione di notifiche riguardo il livello dell'acqua all'interno della tanica, ma non si esclude la possibilità di utilizzo come interfaccia utente vocale del progetto.

Attualmente stiamo valutando anche l'integrazione dell'Home Assistant Alexa all'interno del progetto, solo per la possibilità di avere un feedback luminoso, meno invasivo di quello sonoro.

## DeepSleep

Avere un modulo NodeMCU in modalità di sospensione profonda significa interrompere le attività che consumano più energia durante il funzionamento (come il Wi-Fi) ma lasciare attività sufficienti per riattivare il microcontrollore dopo un preciso intervallo di tempo. Impostando la funzione `deepSleep()` si

riducono i consumi energetici.

Esistono tre diversi tipi di modalità di sospensione : modemSleep , lightSleep e deepSleep:

Oggetto	ModemSleep	LightSleep	DeepSleep
Wi-Fi	OFF	OFF	OFF
System Clock	ON	OFF	OFF
RTC	ON	ON	ON
CPU	ON	Pending	OFF
Consumi	15 mA	0.4 mA	20 uA

Tutto è sempre spento, tranne il Real Time Clock (RTC), che ovvero il modo nel quale il modulo NodeMCU tiene traccia del tempo. Questa è l'opzione più efficiente dal punto di vista energetico tuttavia, se si utilizza una scheda di sviluppo con funzionalità complete con programmatore incorporato, LED e così via, non sarà possibile raggiungere uno stato di consumo così basso.

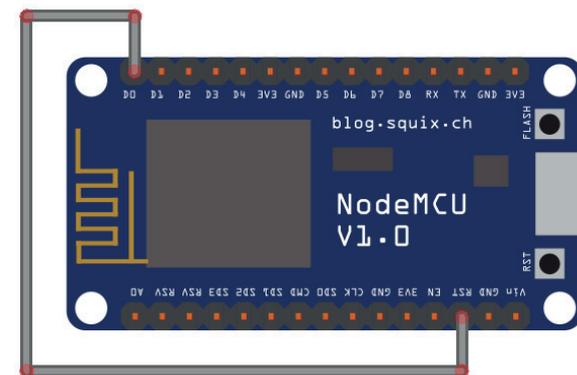
Per abilitare il dispositivo alla modalità deepSleep è necessario collegare il pin D0 al pin RST del NodeMCU. Il pin RST del modulo NodeMCU è sempre impostato su HIGH mentre questo è in esecuzione. Tuttavia, quando il pin RST riceve un segnale LOW, riavvia il microcontrollore.

Se si imposta un timer di deepSleep, al termine il pin D0 (WAKE) invia un segnale LOW, +permettendo di riattivare il modulo NodeMCU dopo un determinato periodo di tempo.

Se si collega direttamente il pin D0 con il pin RST non è possibile ri-programmare la scheda quando "dorme" perchè il pin D0 fornisce un forte segnale HIGH durante il deepSleep, ed un eventuale collegamento per la comunicazione seriale di un altro dispositivo con il modulo NodeMCU fornisce un segnale HIGH di intensità minore impedendo quindi il caricamento di un nuovo sketch sulla scheda. È possibile risolvere questi inconvenienti aggiungendo al collegamento tra i due pin un resistore da 330 ohm che rende il segnale HIGH del pin D0 meno forte, rendendo quindi più alto il valore HIGH necessario alla comunicazione seriale, ma per ragioni di usabilità, per non dover estrarre di volta in volta la scheda dall'enclosure, è stata scelta la modalità di programmazione OverTheAir (OTA), della quale parleremo in seguito.

Per attivare l'opzione deepSleep() è necessario inserire all'interno del void loop().

In questo caso il deepSleep dura 10 minuti ( $10 \cdot 60 \cdot 10^6$  microsecondi).



D0 NodeMCU -> RST NodeMCU

### Programmazione OTA

La programmazione OTA (Over The Air) è una tipologia di scambio dati che consente l'aggiornamento del software di un dispositivo (nel nostro caso le schede microcontrollore NodeMCU) tramite una comunicazione punto-punto e per mezzo di una rete wireless, nel nostro caso una comunicazione Wi-Fi: la tecnologia dell'aggiornamento OTA permette infatti di installare aggiornamenti senza le complicate procedure tramite bootloader, recupero dati o appositi programmi installati sul pc, nel nostro caso senza avere la scheda fisicamente connessa al pc e comunicante con l'IDE di Arduino tramite comunicazione seriale (n.d.r. per intenderci è come si fa l'aggiornamento degli smartphone).

I vantaggi di questa tecnologia sono molteplici, nel nostro caso specialmente in contesti in cui vivaisti o coltivatori in campo si potrebbero trovare a dover aggiornare lo sketch dei microcontrollori: senza la programmazione OTA dovrebbero smontare Accrocchio, estrarre la scheda, connetterla al pc, aggiornarla, ricollocarla nell'enclosure e rimontare Accrocchio. Con questo tipo di tecnologia invece è possibile fare tutto via Wi-Fi, o comunque da un dispositivo non connesso fisicamente: quando i moduli NodeMCU si "svegliano" dallo stato di deepSleep, come prima cosa si collegano al wifi e ricercano eventuali aggiornamenti allo sketch, se questi sono disponibili le schede vengono aggiornate, altrimenti proseguono il loro percorso collegandosi al broker MQTT, facendo le rilevazioni (o attivando dei sensori) e inviando i dati

di risposta al broker sotto forma di argomenti MQTT. Infine tornano a “dormire” per il tempo stabilito.

La programmazione OTA al momento non è abilitata, ma si prevede di abilitarla negli step futuri.

### Schema dei dispositivi

Per il funzionamento, tutti i moduli Accrocchio e il modulo Raspberry Pi devono essere collegati alla rete Wi-Fi locale.

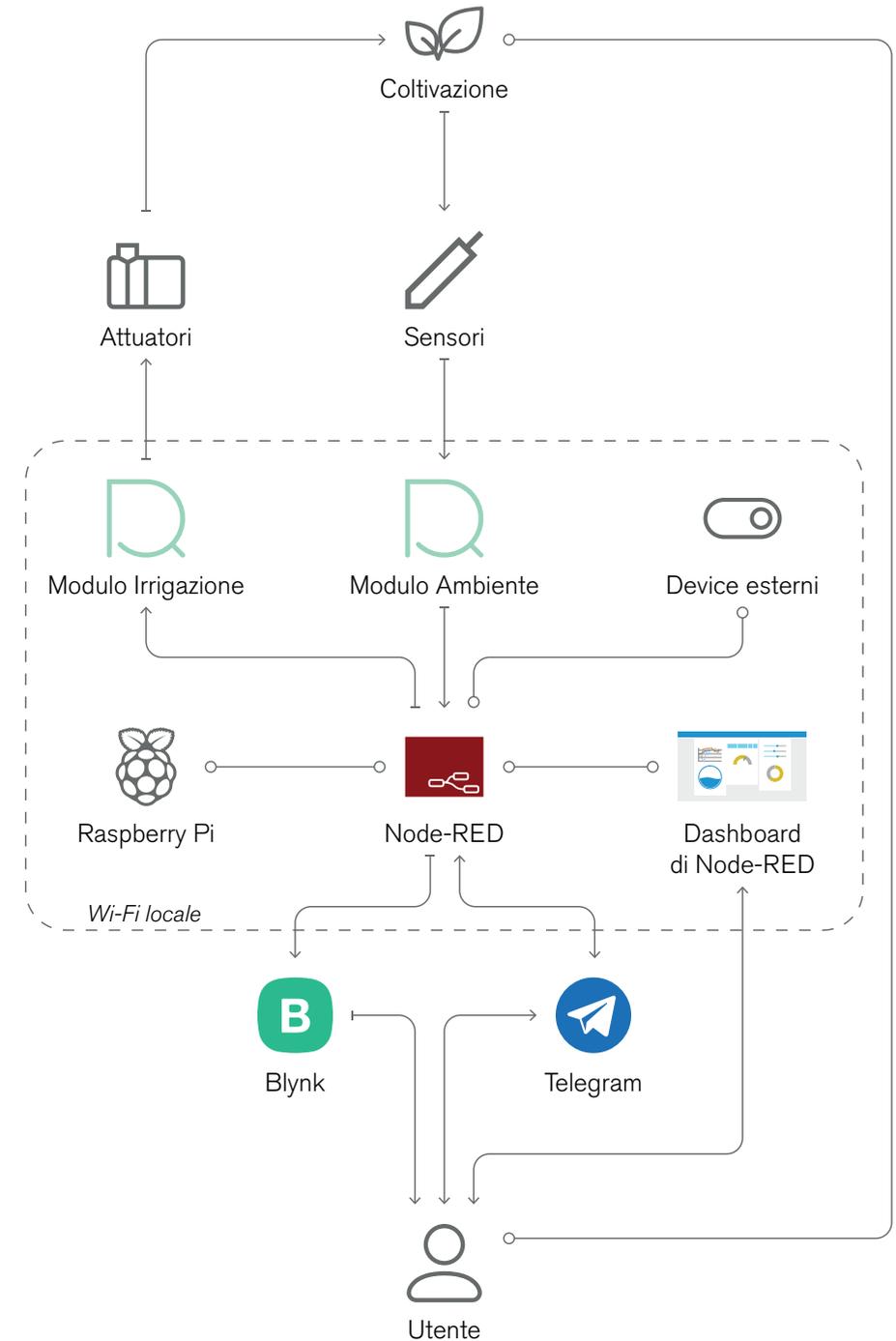
Il modulo Ambiente è predisposto all'acquisizione dei dati relativi ai parametri ambientali delle piante e non prevede nessun attuatore. Questo modulo invia ogni 10 minuti le letture dei sensori a Node-RED tramite argomenti MQTT.

Il modulo Irrigazione controlla le quattro pompe dell'irrigazione e ha un sensore di distanza ad ultrasuoni per comunicare il livello dell'acqua all'interno della tanica. Gli attuatori vengono attivati tramite eventi MQTT dal flusso dei nodi di Node-RED all'interno del Raspberry Pi.

Una volta che i moduli hanno rilevato periodicamente le misurazioni, i relativi topic MQTT vengono inviati al broker MQTT, e in seguito vengono 'smistati' dal Raspberry attraverso l'utilizzo di Node-RED. All'interno di quest'ultimo, tutti i valori delle letture vengono visualizzati nei grafici dell'interfaccia UI dedicata. L'interfaccia UI dedicata all'interno di Node-RED è visualizzabile solo se il dispositivo dal quale vi si vuole accedere è connesso alla rete Wi-Fi locale. Se si vogliono visualizzare i dati dall'esterno, è possibile farlo attraverso un BOT di Telegram, ma questo visualizzerà solo gli ultimi valori trasmessi, mentre tramite l'app Blynk è ora possibile accedere all'andamento grafico dello stato dell'umidità delle singole piante e dell'illuminazione visibile e infrarossa.

Attraverso Node-RED è possibile non solo ricevere le letture dei sensori, ma anche interagire con degli attuatori: in questo caso gli attuatori sono connessi al modulo Irrigazione per controllare, appunto, l'irrigazione. Non solo, è possibile collegare al flusso anche dispositivi esterni e proprietari: per dimostrare questo abbiamo collegato un dispositivo Google Home Assistant, il quale notifica all'utente se il livello dell'acqua è al di sotto di una certa soglia.

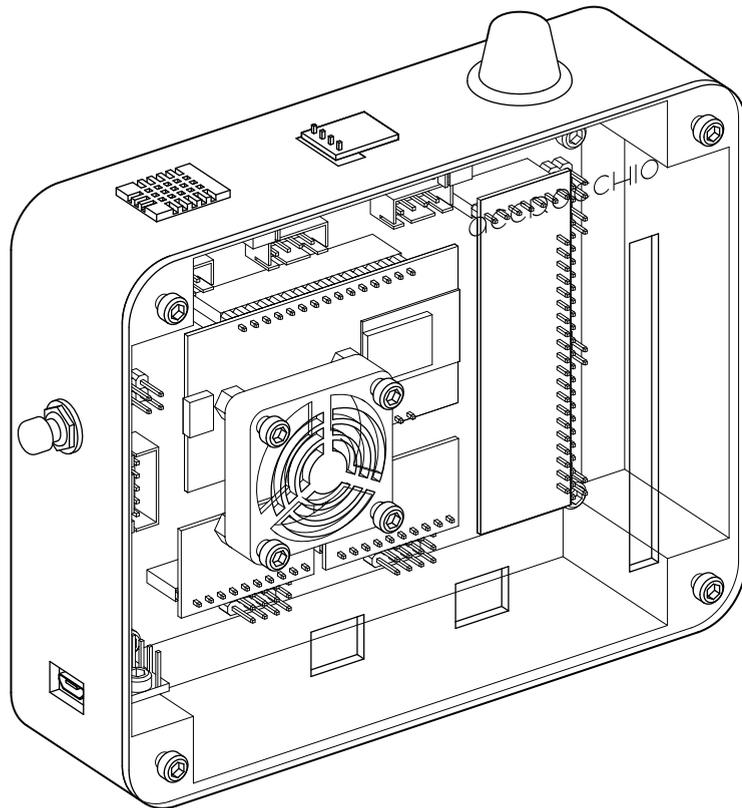
L'ultimo elemento che fa parte del flusso, è stato il servizio Open Source di OpenWeatherMap, attraverso la cui API l'utente è in grado di accedere ai dati del servizio che riguardano la temperatura massima, minima e media rilevata, l'umidità dell'aria, la pressione barometrica, la velocità e la direzione del vento e le condizioni meteorologiche, sia nell'istante delle rilevazioni, sia entro un orizzonte temporale di cinque giorni.



### 8.3.3 Modulo Ambiente

Il modulo Ambiente è quello che attua più rilevazioni: si occupa infatti di misurare l'umidità del terreno di ciascuno dei quattro vasi, di misurare l'umidità e la temperatura dell'aria, di misurare la quantità di radiazione visibile e infrarossa che raggiunge il sensore, e di misurare la quantità di PPM di CO2 nell'aria. Calcola inoltre virtualmente, a partire dai valori rilevati fisicamente, la temperatura percepita (heat index) e l'indice UV (UV index). È connesso al Wi-Fi, e da questo al broker MQTT per l'invio dei dati. Gli unici attuatori sono il led blu integrato nella board che lampeggia quando il dispositivo si connette al Wi-Fi, e in seguito al broker MQTT (attuatore di feedback), e una ventola da 5V per il raffreddamento della circuitazione in quanto il sensore per la rilevazione della qualità dell'aria si riscalda sensibilmente.

La scheda NodeMCU e la ventola sono alimentati dai 5V provenienti dall'alimentazione, mentre tutti gli altri sensori sono alimentati tramite i 3.3V della scheda NodeMCU.



#### Distinta base modulo Ambiente

##### Componenti elettronici

- NodeMCU
- Micro USB 5V breakout board
- Pulsante NO di reset
- Capacitive Soil Moisture (x8)
- ADS1115 (x2)
- DHT11
- SI1145
- MQ135
- MCP23017-E/SS
- Ventola 5V

##### Componenti custom realizzati con tecnologie di riproduzione Open Source

- Case stampato in 3D
- Pannello frontale in metacrilato tagliato al laser
- Scheda pcb incisa con CNC

##### Componenti per l'assemblaggio

- Connettori Dupont male da saldare alla pcb
  - Verde: strip da 2 pin (x2)
  - Blu: strip da 2 pin (x2)
  - Rosso: strip da 2 pin (x3), strip da 4 pin (x2)
  - Nero: strip da 2 pin (x3), strip da 4 pin (x2)
  - Giallo: strip da 4 pin (x2)
  - Bianco: strip da 8 pin (x2)
- Connettori Dupont female da saldare alla pcb
  - Strip da 15 pin (x4)
  - Strip da 10 pin (x2)
  - Strip da 7 pin
  - Strip da 20 pin
- Connettori JST da saldare alla pcb
  - Connettore a 3 pin
  - Connettore a 4 pin (x2)
  - Connettore a 5 pin
- Cavi

- Viti M3 da 7mm
  - Per fissaggio Micro USB 5V breakout board al case stampato in 3D (x2)
  - Per fissaggio pcb al case stampato in 3D (x4)
- Viti M3 da 12mm
  - Per fissaggio Ventola 5V al pannello frontale (x4)
  - Per fissaggio pannello frontale al case stampato in 3D (x4)
- Dadi M3
  - Per fissaggio Ventola 5V al pannello frontale (x4)

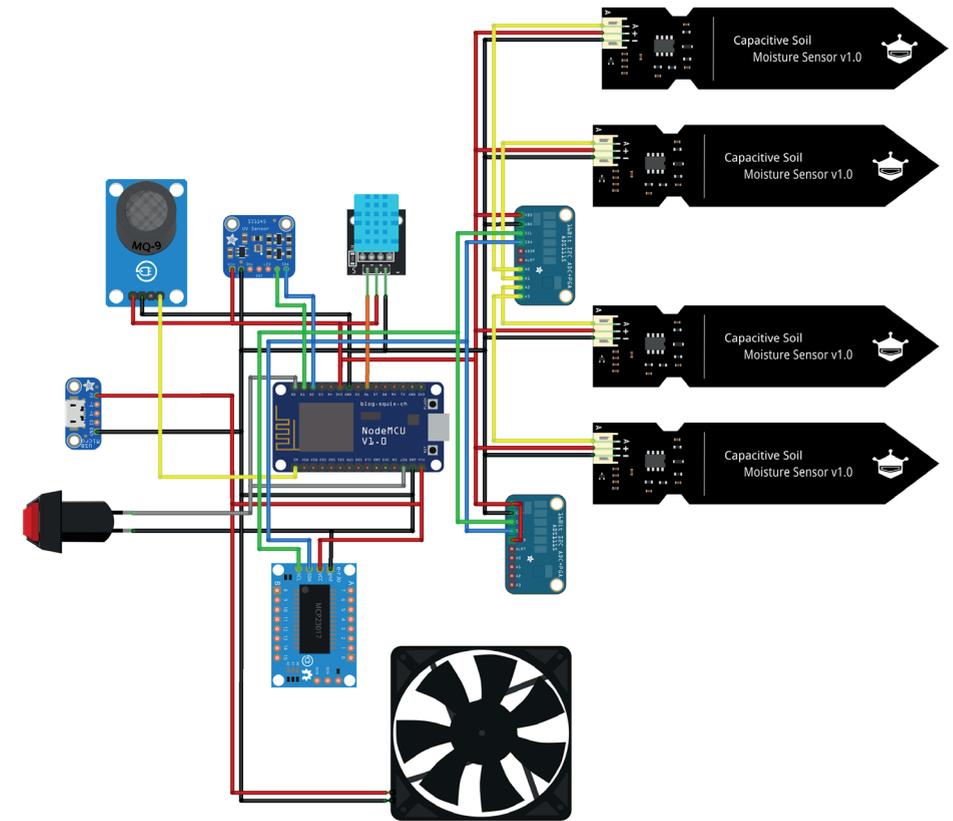
### Componenti elettronici

- I componenti che sono parte del circuito del modulo Ambiente sono:
- Micro USB 5V breakout board per l'alimentazione di tutto il circuito;
  - Capacitive Moisture (x8) per una lettura analogica dell'umidità del terreno;
  - ADS1115 (x2) per la conversione delle letture dei sensori da analogiche a digitali;
  - DHT11 per la rilevazione della temperatura e dell'umidità dell'aria, e da queste calcolare inoltre la temperatura percepita;
  - SI1145 per calcolare la quantità di radiazione visibile e la quantità di radiazione infrarossa, e da queste calcolare l'indice UV;
  - MQ135 per la rilevazione della qualità dell'aria, in seguito elaborata tramite una serie di nodi Function all'interno del flusso di Node-RED per ottenere il valore delle parti di CO2 per milione;
  - MCP23017-E/SS per l'aggiunta dei pin digitali di espansione;
  - Ventola 5V da 30mm per il raffreddamento dei componenti;
  - Led blu integrato nella board che funge da feedback per quando il modulo si connette al Wi-Fi ed in seguito al broker MQTT.

Componente	Tipologia	Consumi	Interfaccia
NodeMCU (Wi-Fi ON)	Microcontrollore	80 mA	Arduino IDE
Capacitive moisture x8	Sensore di umidità del terreno	5 mA l'uno (40 mA max)	Analogico
ADS1115 x2	Convertitore 16 bit analogico-digitale	0.15 mA l'uno (0.3 mA max)	I2C
DHT11	Sensore di temperatura e umidità dell'aria	0,3 mA	Single-bus
SI1145	Sensore di luce visibile e infrarossa	0,01 mA	I2C
MQ135	Sensore di qualità dell'aria	800 mA	Analogico
MCP23017-E/SS	Espansore di porte GPIO digitali	125 mA	I2C
Ventola 5V	Ventola di raffreddamento	100 mA	Nessuna
Consumi totali (picco)		1046 mA max	

Il passo successivo per ridurre i consumi, sarà quello di sostituire il modulo DHT11 con un modulo BME280 (che può eventualmente monitorare anche la pressione barometrica), e sostituire il modulo MQ135 con il modulo CSS811. Sostituendo il modulo MQ135 con il modulo CSS811 non sarà più necessaria la ventila, e i consumi saranno quelli della tabella successiva:

Componente	Tipologia	Consumi	Interfaccia
NodeMCU (Wi-Fi ON)	Microcontrollore	80 mA	Arduino IDE
Capacitive moisture x8	Sensore di umidità del terreno	5 mA l'uno (40 mA max)	Analogico
ADS1115 x2	Convertitore 16 bit analogico-digitale	0.15 mA l'uno (0.3 mA max)	I2C
BME280	Sensore di temperatura e umidità dell'aria e pressione barometrica	0,1 mA	I2C
SI1145	Sensore di luce visibile e infrarossa	0,01 mA	I2C
CSS811	Sensore di qualità dell'aria	30 mA	I2C
MCP23017-E/SS	Espansore di porte GPIO digitali	125 mA	I2C
Consumi totali (picco)		275 mA max	

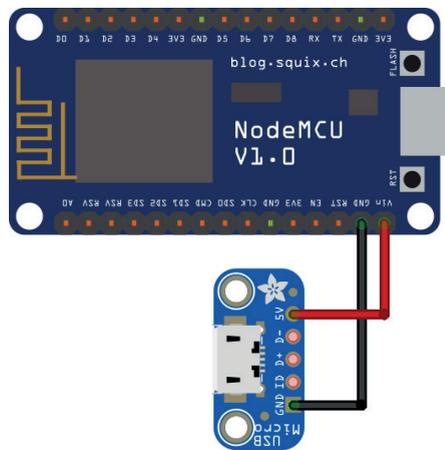


Schema dei componenti elettronici

### Micro USB 5V breakout board

Il connettore Micro USB 5V è stato utilizzato per alimentare tutto il circuito attraverso una tensione di 5V. La scelta della tipologia di connettore è ricaduta su un connettore Micro USB female in quanto è stato ritenuto uno standard di alimentazione molto diffuso, dando quindi la possibilità all'utente di utilizzare un alimentatore già in suo possesso, piuttosto che indirizzarlo verso l'acquisto di uno nuovo.

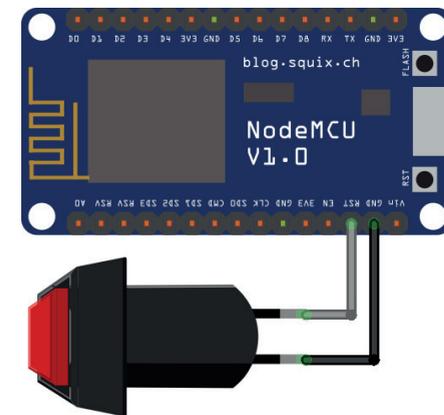
È necessario un alimentatore in grado di erogare almeno 1A.



VCC Micro USB -> Vin NodeMCU  
GND Micro USB -> GND NodeMCU

### Pulsante NO di reset

Per dare la possibilità all'utente di resettare il dispositivo e far ripartire il ciclo del codice interrompendo la modalità deepSleep, è stato inserito un pulsante NO (Normally Open) di reset. Alla pressione da parte dell'utente il circuito viene chiuso connettendo i pin GND e RST della scheda NodeMCU. Al suo rilascio, il circuito viene nuovamente aperto in modo da riavviare la scheda.



Reset+ -> GND plug  
Reset- -> RST NodeMCU

### Capacitive Soil Moisture

I sensori di misurazione capacitivi sono composti da due piastre di metallo o elettrodi, separati da un sottile strato di film polimerico non conduttivo. Il film attira l'umidità del terreno e quando l'umidità entra in contatto con le piastre di metallo crea una variazione di tensione. La sonda non è direttamente esposta all'acqua grazie ad un rivestimento polimerico permeabile.

Questi sensori misurano il contenuto assoluto dell'acqua in un volume di terreno. Questa misurazione volumetrica esprime la concentrazione dell'acqua in % (metro cubo acqua per metro cubo terra). Il valore ottenuto dipende dal tipo del terreno e non è comparabile con altri oggetti di misurazione. In grado minore influiscono anche la salinità e la temperatura del terreno, questo grazie al rivestimento polimerico.

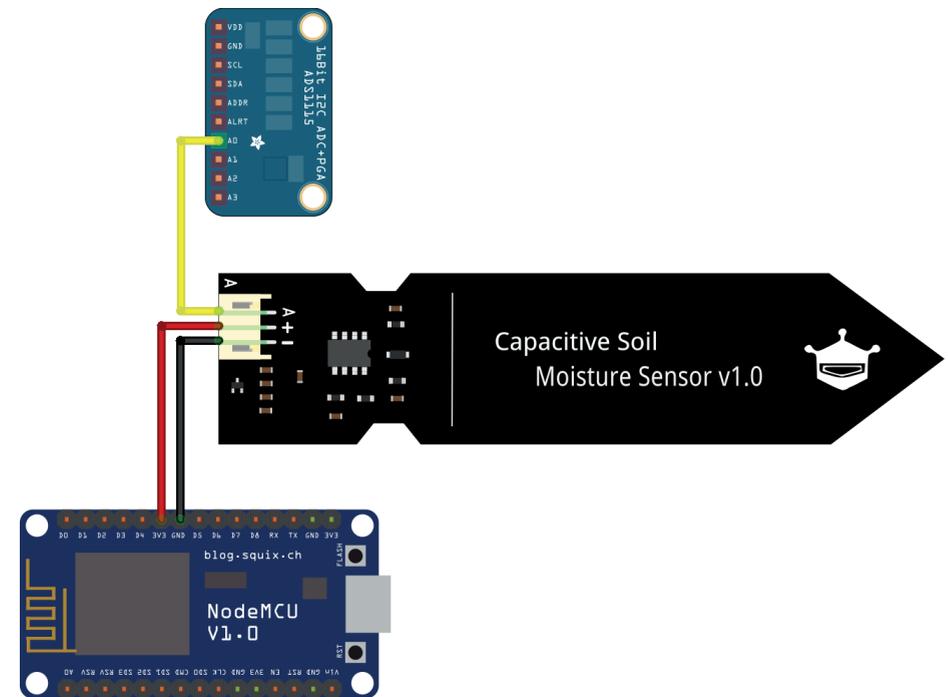
La misurazione della tensione di uscita viene acquisita e visualizzata tramite quadrante analogico. Normalmente la lettura analogica delle schede Arduino e simili va da 0 a 1024 ma, dato che i moduli NodeMCU hanno un solo ingresso analogico (A0), le quattro sonde vengono collegate alla scheda tramite il convertitore analogico-digitale ADS1115. L'inconveniente è che il modulo ADS1115 lavora a 16 bit, per cui è necessaria una taratura più precisa.

I sensori di misurazione dell'umidità del terreno possono operare a delle tensioni comprese tra i 3 e i 5 volt, per cui si prestano perfettamente all'utilizzo delle schede NodeMCU.

Le rilevazioni ottenute con questa sonda sono risultate molto precise e, con una tolleranza massima dell'1%, il sensore va molto raramente fuori scala garantendo un'alta ripetibilità nelle misurazioni. Ha un ottimo rapporto volume del vaso/superficie del sensore grazie all'ampia area esposta al terreno umido che comporta una maggiore portata della misurazione, e ha un'elevata durabilità. Nonostante questo, le misurazioni hanno bisogno di un po' di tempo per stabilizzarsi ad un valore ben preciso, le sonde hanno quindi una minore prontezza nella misurazione.

L'unico inconveniente è che la parte con il connettore ha i componenti del circuito integrato esposti ad eventuale acqua e terreno bagnato, problema risolvibile mediante la realizzazione di una protezione.

I sensori che abbiamo utilizzato precedentemente erano i sensori di misurazione resistivi, ma sono stati immediatamente scartati: nonostante fossero velocissimi nel captare le variazioni di umidità del terreno, questi andavano facilmente fuori scala dando spesso delle letture altalenanti e molto poco precise. Oltre questo, questi sensori erano estremamente soggetti ad elettrolisi, la quale rendeva le sonde utilizzabili anche solo dopo pochi giorni di immersione nel terreno.



```
A Capacitive -> AX ADS1115
+ Capacitive -> 3.3V NodeMCU
- Capacitive -> GND NodeMCU
```

## ADS1115

Il modulo convertitore ADC 16-bit a 4 Canali ADS1115 può essere utilizzato con microcontrollori non dotati di convertitore ADC, per aumentare il numero di pin analogici, oppure quando si desidera un'elevata precisione nella misurazione.

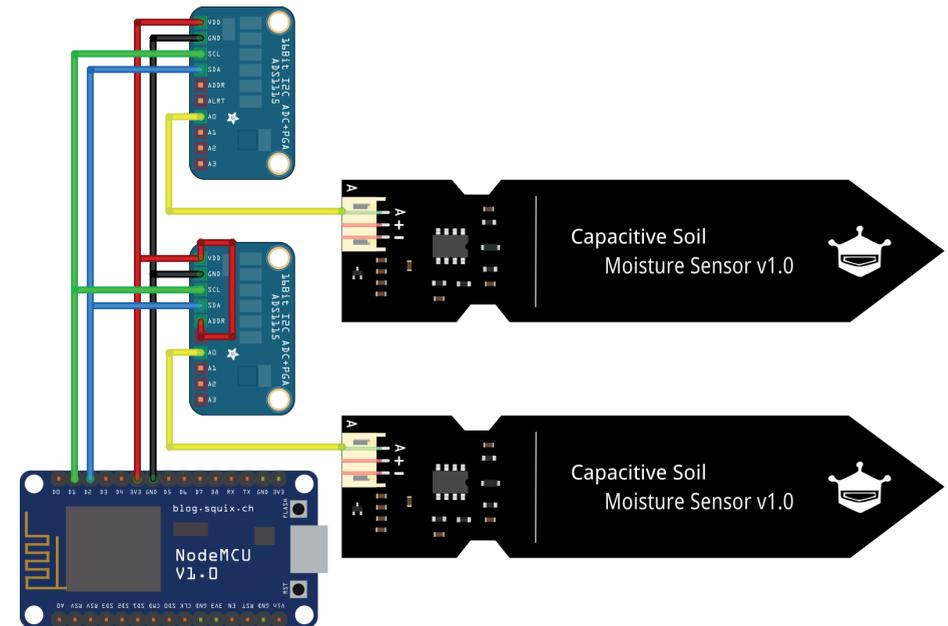
L'ADS1115 ha una precisione di 16-bit e i 4 ingressi possono essere configurati come 4 canali singoli oppure come 2 canali differenziali.

Il modulo si collega tramite un'interfaccia I2C, il cui indirizzo può essere impostato con 4 valori diversi permettendo di utilizzare fino a 4 ADS1115 contemporaneamente.

L'alimentazione necessaria va da 2 a 5 volt, il che lo rende adatto a progetti che utilizzano che scheda un NodeMCU, e i bassi consumi (150uA durante la conversione) lo rendono ideale per progetti alimentati a batteria. L'interfaccia I2C lo rende estremamente versatile ed estremamente facile da usare.

Per funzionare con le schede NodeMCU e simili è necessario installare la libreria Wire.h in modo che la comunicazione attraverso protocollo I2C venga inizializzata.

Il primo dispositivo ADS1115 comunica attraverso l'indirizzo I2C 0x48, mentre il secondo attraverso l'indirizzo I2C 0x49, questo perchè il pin ADDR è collegato al pin VDD. Senza questo espediente, non sarebbe stato possibile utilizzare entrambi i moduli ADS1115.



```
VDD ADS1115 n1 -> 3.3V NodeMCU
GND ADS1115 n1 -> GND NodeMCU
SCL ADS1115 n1 -> D1 NodeMCU
SDA ADS1115 n1 -> D2 NodeMCU
AX ADS1115 n1 -> A moistureX
```

```
VDD ADS1115 n2 -> 3.3V NodeMCU
GND ADS1115 n2 -> GND NodeMCU
SCL ADS1115 n2 -> D1 NodeMCU
SDA ADS1115 n2 -> D2 NodeMCU
ADDR ADS1115 n2 -> VDD ADS1115
AX ADS1115 n2 -> A moistureX
```

## DHT11

Il sensore DHT11 è un sensore di temperatura e umidità con uscita dei dati in formato digitale con una discreta affidabilità e una buona stabilità.

I suoi elementi sensibili sono connessi con un processore 8-bit single-chip.

Ogni sensore di questo modello è compensato in temperatura e calibrato in un'apposita camera di calibrazione che determina in modo preciso il valore di calibrazione il cui coefficiente viene salvato all'interno della memoria OTP.

Le sue piccole dimensioni e suo basso consumo unite ad una distanza massima di trasmissione di 20m permettono al sensore DHT11 di essere adatto per molti tipi di applicazioni, e i tre pin rendono facile la connessione alla scheda.

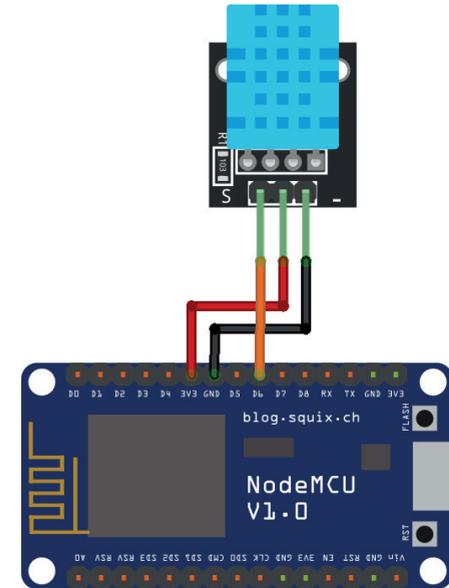
Il sensore rileva l'umidità relativa dell'aria in un range che va dal 20% al 90% con una tolleranza del 4%, mentre rileva la temperatura in un range che va da 0 a 50 °C con una tolleranza di 1°C. È capace autonomamente di ricavare la temperatura percepita a partire dalla temperatura in gradi Celsius, dalla temperatura in gradi Fahrenheit, e dall'umidità relativa. Il tempo di rilevazione medio è di 2 secondi.

L'alimentazione necessaria va da 3 a 5.5 volt, il che lo rende adatto a progetti che utilizzano che scheda un NodeMCU, e i bassi consumi (150uA durante la rilevazione) lo rendono ideale per progetti alimentati a batteria.

I dati vengono comunicati alla scheda attraverso una comunicazione Single-Bus.

Per funzionare con le schede NodeMCU e simili è necessario installare la libreria DHT.h in modo che la comunicazione con il sensore venga inizializzata.

Prevediamo in futuro che questo sensore venga sostituito in via progettuale con il BME280, che consuma meno fornendo gli stessi dati, e che eventualmente può fornire all'utente anche dati sulla pressione barometrica e, in maniera approssimativa, sull'altitudine a partire dal livello del mare.



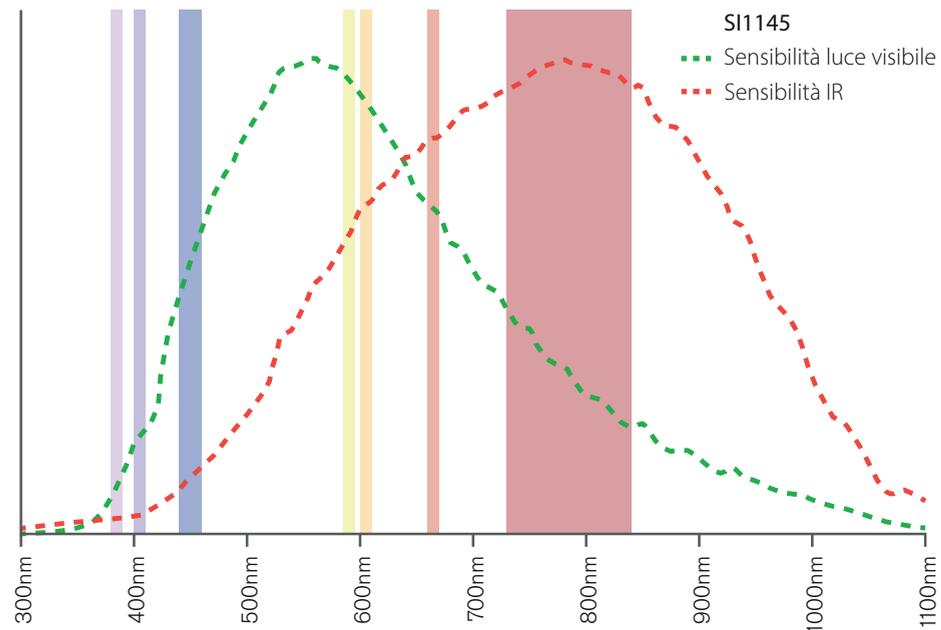
```
+ DHT11 -> 3.3V NodeMCU
- DHT11 -> GND NodeMCU
S DHT11 -> D6 NodeMCU
```

## SI1145

L'SI1145 è un sensore con un algoritmo di rilevamento della luce calibrato in grado di calcolare l'indice UV. Non contiene un vero e proprio elemento di rilevamento UV, ma lo approssima sulla base della luce visibile e della luce IR del sole.

Si tratta di un sensore digitale che funziona su I2C, quindi qualsiasi microcontrollore può utilizzarlo. Il sensore è dotato anche di sensori per la luce visibile e di sensori IR in modo da poter misurare praticamente qualsiasi tipo di luce. Purtroppo i programmatori hanno scritto la libreria solo per elaborare i dati grezzi piuttosto che per calcolare i valori esatti di IR e luce visibile, ma forse questo potrebbe essere possibile utilizzando i dati ricavati e implementandoli con un sensore virtuale. I dati grezzi danno comunque un'idea generale affidabile della radiazione visibile e della radiazione infrarossa. Si può potenzialmente collegare un led IR e utilizzare la capacità di base del sensore di prossimità che si trova sul modulo ma non ci interessa, almeno per ora.

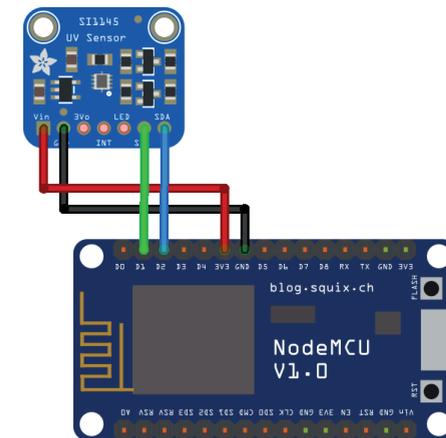
La scelta è ricaduta su questo sensore in quanto le bande che rileva corrispondono esattamente ai valori dello spettro luminoso che servono alla pianta dalla germinazione alla fioritura:



L'alimentazione necessaria va da 3 a 5.5 volt, il che lo rende adatto a progetti che utilizzano una scheda un NodeMCU, e i bassi consumi lo rendono ideale per progetti alimentati a batteria. Ha inoltre dimensioni così ridotte perché è nato per essere utilizzato in stazioni meteorologiche Open Source.

Per funzionare con le schede NodeMCU e simili è necessario installare la libreria Wire.h per inizializzare la comunicazione I2C, e la libreria SI1145.h per la comunicazione con il sensore e per la rilevazione dei dati.

Quello da noi effettivamente utilizzato è il modulo GY1145, gemello dell'SI1145 con gli stessi componenti e lo stesso funzionamento, ma di dimensioni ridotte.



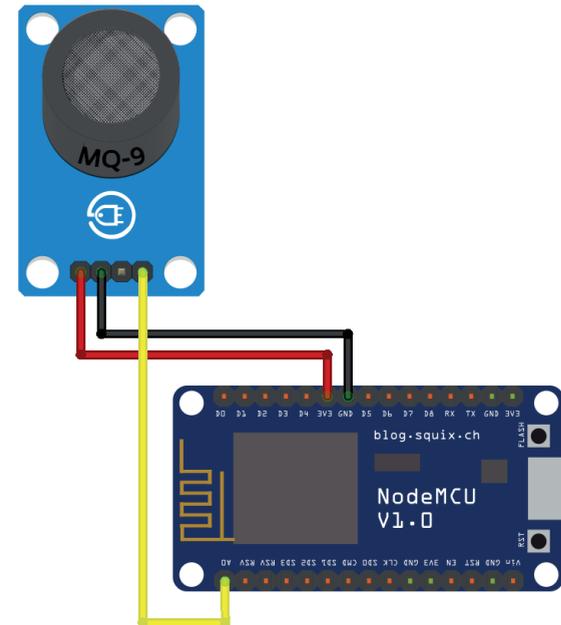
```
Vin SI1145 -> 3.3V NodeMCU
GND SI1145 -> GND NodeMCU
SCL SI1145 -> D1 NodeMCU
SDA SI1145 -> D2 NodeMCU
```

### MQ135

Il modulo sensore di gas MQ-135 viene utilizzato per la verifica della qualità dell'aria, ha una alta sensibilità ai vapori di ammoniaca, agli ossidi di azoto dovuti alla combustione ed al benzene, è anche sensibile al fumo e ad altri gas nocivi, tra cui la CO<sub>2</sub>. Quando viene rilevato un aumento della presenza di un gas, la conducibilità dell'elemento sensibile aumenta, l'elettronica a bordo trasforma questo cambio in una variazione del livello della tensione in uscita. Il sensore rileva delle concentrazioni con un intervallo che va da da 10 a 1000 ppm.

Si tratta di un sensore analogico ad alta velocità di risposta e sensibilità, che però necessita di un tempo di pre-riscaldamento di 12-24 ore affinché si possa ottenere una lettura stabile. Attraverso la calibrazione che parte da un fattore di correzione basato sulla temperatura e l'umidità relativa rilevata (in questo caso il sensore DHT11 sopra citato), è possibile ottenere un valore accurato di PPM di CO<sub>2</sub>. Normalmente il calcolo di questi valori viene gestito da una libreria inserita nello sketch di Arduino caricato all'interno del modulo NodeMCU, ma nel nostro caso si è preferito riportare questa calibrazione, come riportato più avanti, mediante l'utilizzo di nodi Function all'interno del flusso di Node-RED: questo sia per alleggerire i calcoli necessari al modulo NodeMCU per restituire i valori, sia per praticità di inserimento dei valori di temperatura e umidità relativa per ottenere un valore corretto.

La nota dolente è che non è un sensore a basso consumo in quanto assorbe circa 800mA. Questo problema può essere ovviato mediante l'utilizzo di un sensore CCS811 per la qualità dell'aria che consuma sensibilmente di meno (circa 30mA), ma che risulta molto più costoso (circa 20€) a parità di prestazioni. Prevediamo comunque in futuro la possibilità di sostituzione con il sensore a minore consumo.



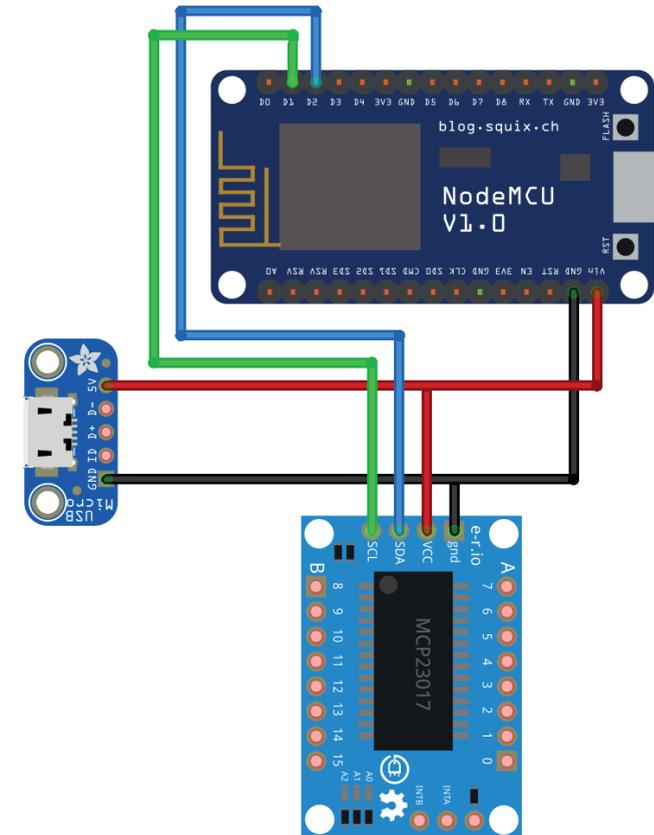
```
A0 MQ135 -> NodeMCU A0
VCC MQ135 -> NodeMCU 3.3V
GND MQ135 -> NodeMCU GND
```

### MCP23017-E/SS

Il MCP23017 é un port expander I2C con 16 uscite GPIO che permettono l'espansione dei pin disponibili ad ospitare ulteriori componenti. La necessità di espandere le porte disponibili è stata dettata dal limitato numero di porte native del modulo NodeMCU (9 porte input/output digitali e una porta input analogica), le quali però vengono utilizzate anche per altre funzioni, come ad esempio la comunicazione master/slave o la comunicazione seriale, rendendo difficoltosa l'implementazione di nuove periferiche in fase di avvio dell'apparecchio. L'espansione dell'unità di monitoraggio attraverso nuove tipologie di sensori non previsti nella configurazione iniziale ha come conseguenza un possibile ed eventuale branching del sistema di monitoraggio da parte degli utenti, ma anche per permettere una maggiore flessibilità di utilizzo. Funziona tramite comunicazione I2C, e quindi non va ad occupare altre porte sulla scheda NodeMCU. È inoltre un componente a basso consumo in quanto necessita di massimo 125mA (tutte e 16 le porte configurate come output e accese), mentre in standby consuma 1 mA. Non è possibile purtroppo il controllo di attuatori mediante impulsi PWM.

Nella libreria i pin sono nominati da 0 a 15 dove il pin 0 è il bit 0 della porta A, il pin 7 è il bit 7 della porta A, il pin 8 è il bit 0 della porta B e il pin 15 è il bit 7 della porta B.

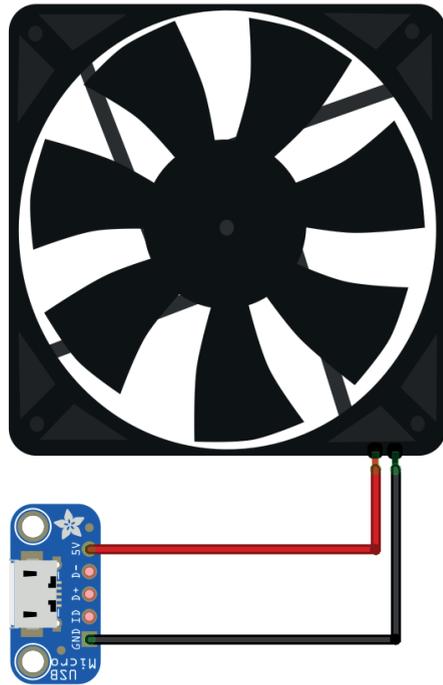
Per l'utilizzo è necessaria la libreria <Adafruit\_MCP23017.h>, mentre per l'utilizzo delle porte GPIO aggiuntive è necessario semplicemente compilare lo sketch in maniera tradizionale aggiungendo all'inizio della stringa di codice la dicitura "mcp." (ad esempio "mcp.pinMode()" al posto di "pinMode()").



```
VCC MCP23017 -> VCC Micro USB
GND MCP23017 -> GND Micro USB
SCL MCP23017 -> D1 NodeMCU
SDA MCP23017 -> D2 NodeMCU
```

### Ventola 5V

A causa dell'alta temperatura di funzionamento del sensore MQ135, si è deciso di inserire nel circuito una piccola ventola da 5V grande 30x30mm. La ventola non fa parte del circuito controllato dal modulo NodeMCU, in quanto viene accesa quanto il modulo viene collegato alla corrente. Sposta l'aria calda dall'interno all'esterno con un consumo di 100 mA.



VCC ventola -> VCC Micro USB  
GND ventola -> GND Micro USB

### LED integrato

L'attuatore presente nativamente, integrato nella scheda, è un LED blu e utilizzato per avere un feedback visivo durante i diversi processi di connessione.

Il LED lampeggia ogni secondo quando la board cerca di connettersi al Wi-Fi. Quando si connette al broker MQTT lampeggia più velocemente, e rimane accesa fino a quando terminano le letture dei sensori e vengono trasmessi i valori nei relativi argomenti MQTT.

### Sketch

Lo sketch è programmato tramite l'IDE di Arduino con linguaggio di programmazione C++.

Il primo passaggio consiste nella dichiarazione e nella compilazione delle variabili corrispondenti ai pin dei sensori (qualora non si tratti di sensori I2C) e della compilazione dei campi relativi alla rete Wi-Fi e all'indirizzo e al nome IP del dispositivo broker MQTT:

```
const char* ssid = "*****";  
const char* password = "*****";  
const char* mqtt_server = "192.168.1.*";  
const char* nodeMCUname = "PlantSensors";
```

La funzione void setup() inizializza la connessione Wi-Fi, e in seguito la funzione callback() inizializza la comunicazione publish-subscribe con il broker MQTT attraverso l'invio dei topic. Se si hanno diversi moduli NodeMCU collegati via MQTT, è necessario cambiare i vari nomi, i campi da compilare (tutti allo stesso modo) sono:

```
WiFiClient *****; //in global variables  
PubSubClient client(*****); //in global variables  
  
if (client.connect("*****")) //in void reconnect()
```

In questo modo i vari moduli non si andranno a sovrapporre nelle comunicazioni.

A questo punto ogni sensore rileva i dati delle letture, li elabora, e in seguito li pubblica prima in un relativo topic MQTT (il quale deve essere univoco per ogni dato), e infine li pubblica sul monitor seriale. Questo è un esempio del sensore DHT11:

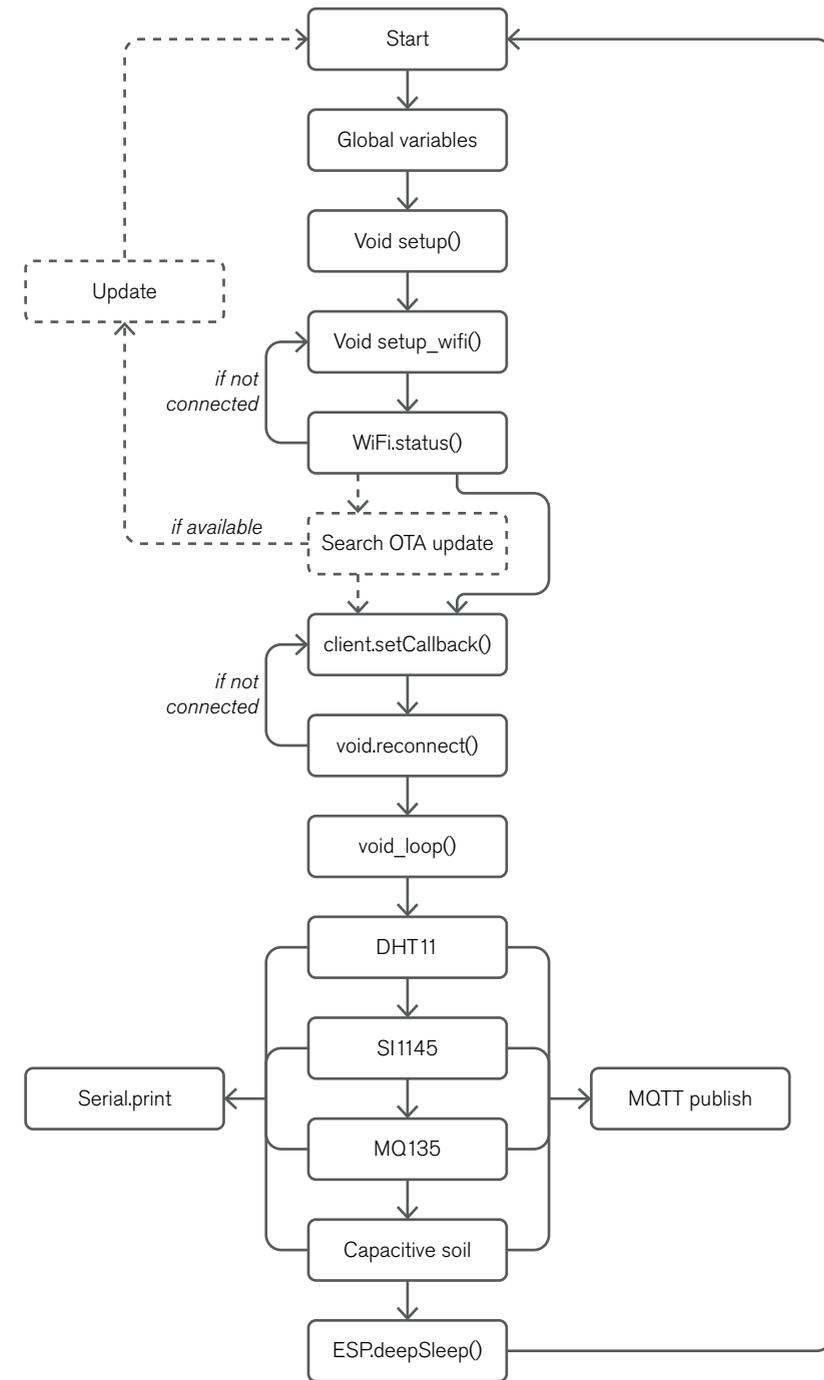
```
int t = dht.readTemperature(); //reading temperature from
DHT11

static char temperatureTemp[7]; //value conversion
dtostrf(t, 3, 0, temperatureTemp); //value conversion
client.publish("room/garden/temperature", temperatureTemp);
//publishing of topic ".../temperature" called
"temperatureTemp"

Serial.println("Temp: " + String(t) + " "); //print on serial
monitor
```

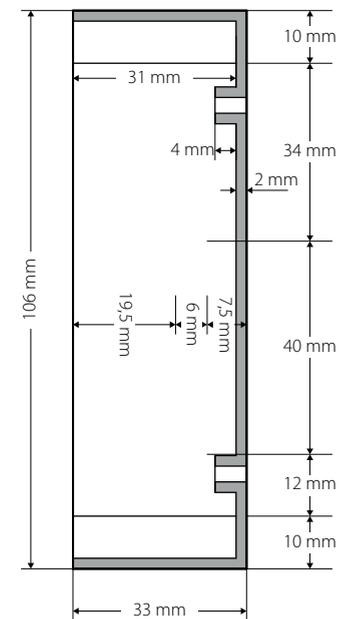
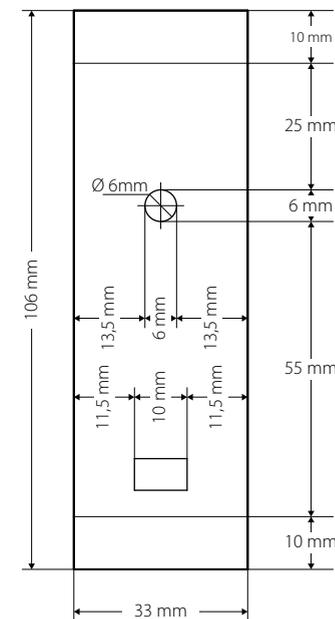
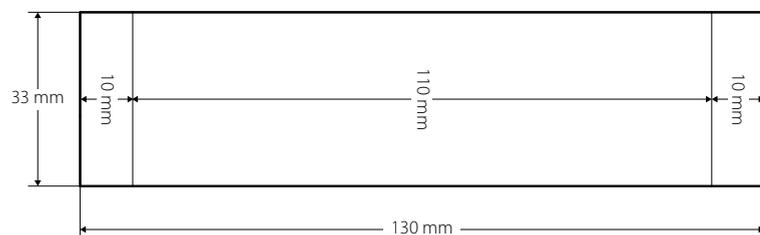
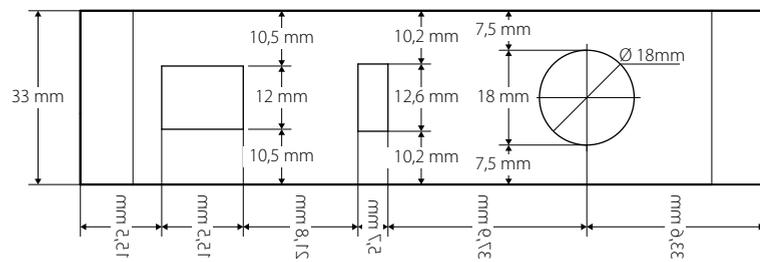
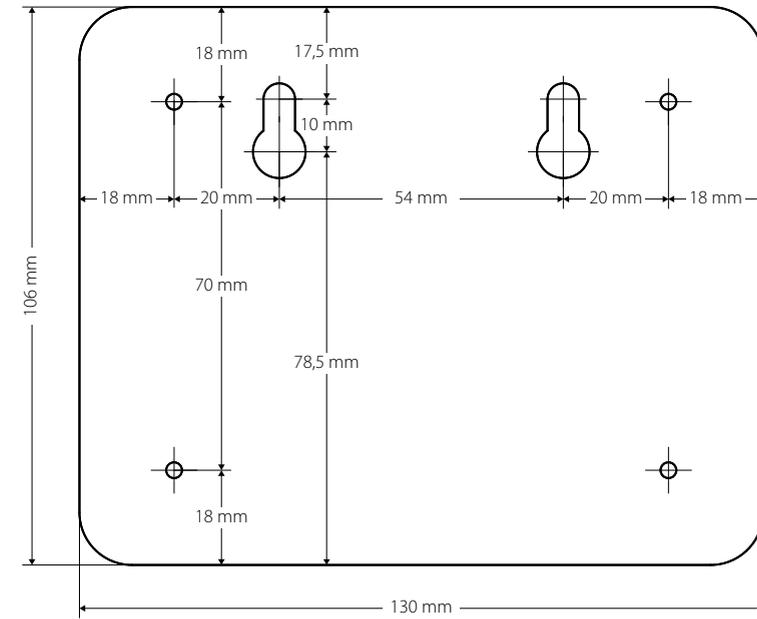
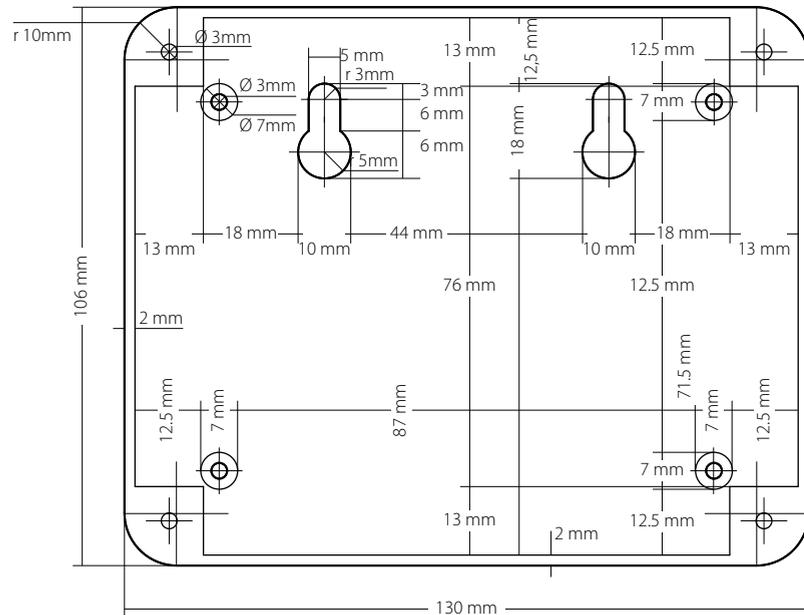
Arrivati a questo punto i sensori hanno fatto le letture, hanno trasmesso i dati al broker MQTT e hanno stampato i dati sul monitor seriale, per cui tutto quello che si doveva fare è stato fatto.

Inizialmente, si è pensato di utilizzare il modulo NodeMCU scollegato dalla corrente e alimentato da una batteria, per cui nello sketch è stata inserita la funzione deepSleep() che 'iberna' la scheda per un tempo preimpostato riducendo i consumi elettrici.

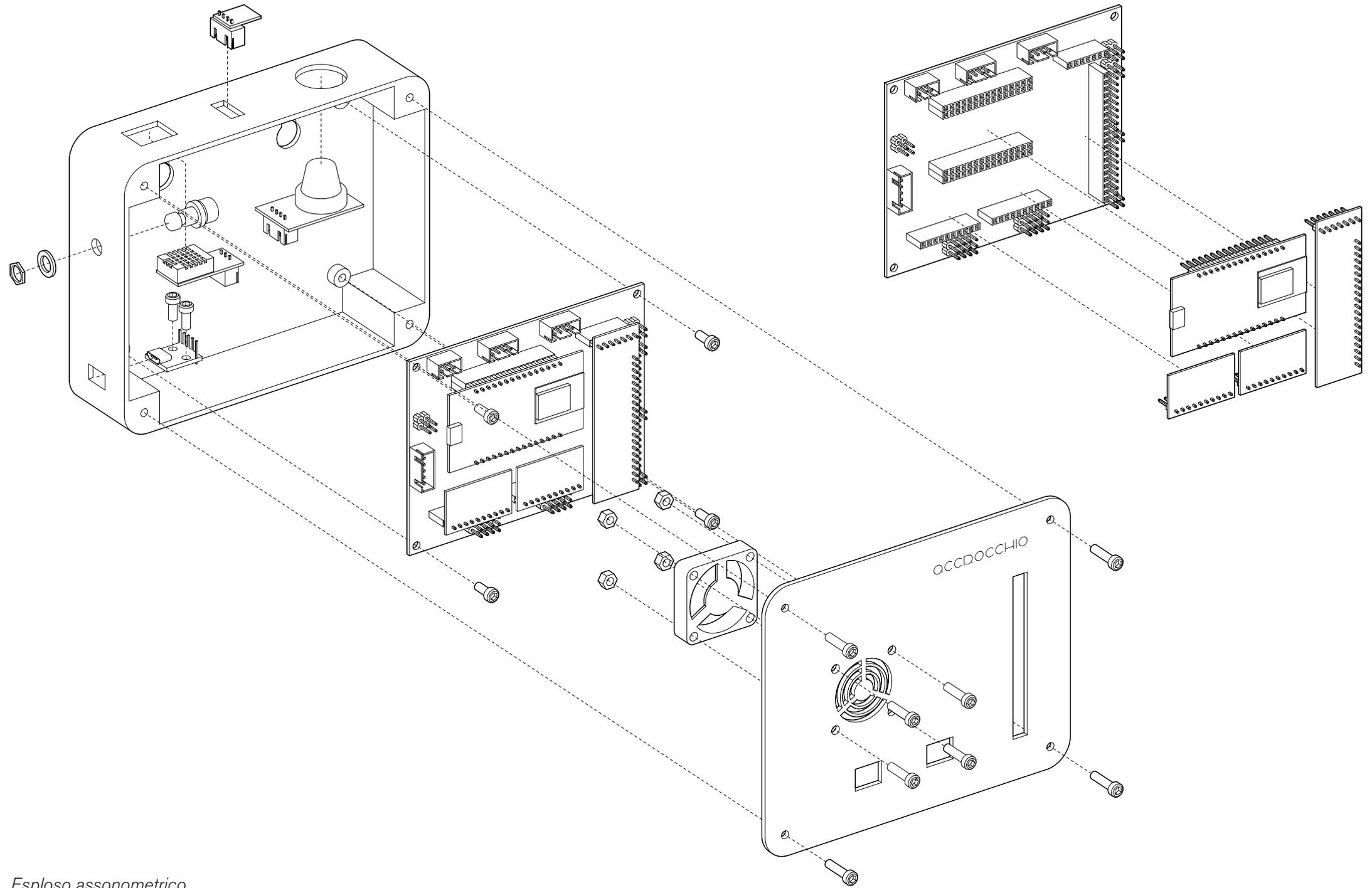


Componenti custom:

Case stampato in 3D, prospetti quotati e sezione quotata.

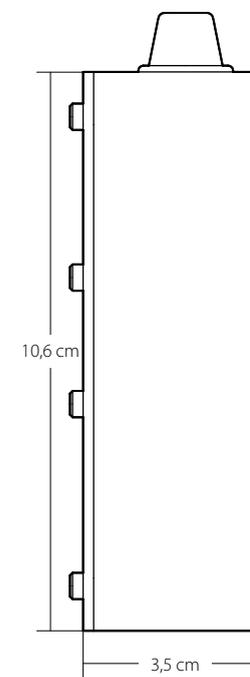
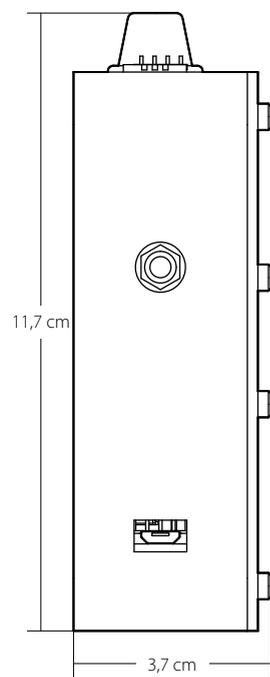
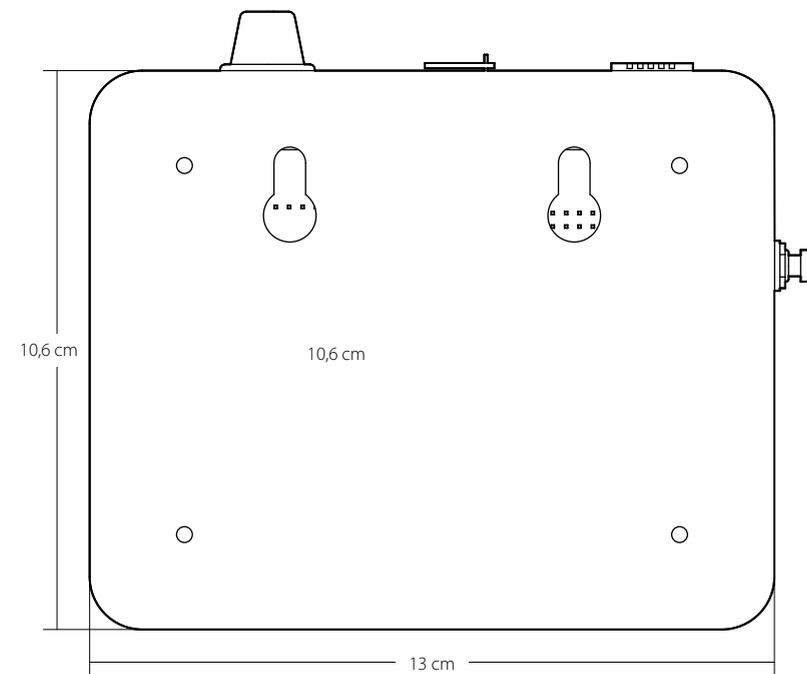
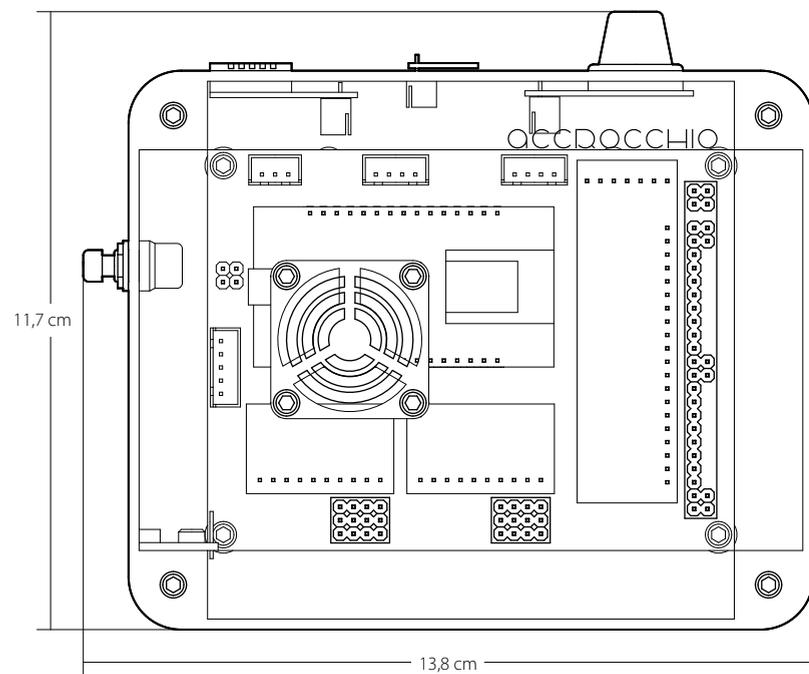




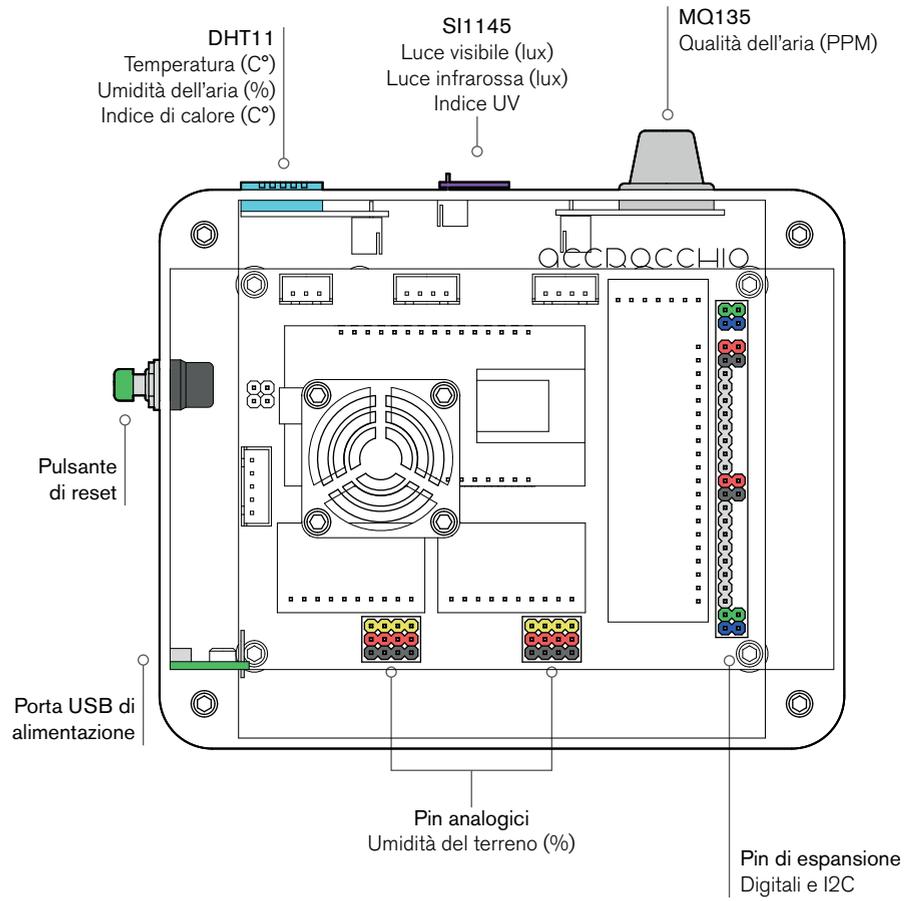


*Esploso assometrico.*

Accrocchio modulo Ambiente assemblato; prospetti e ingombri.

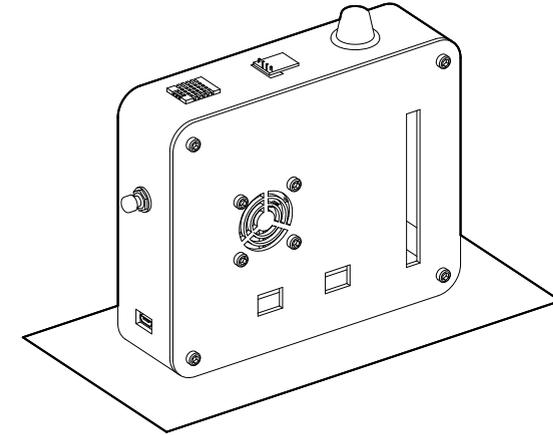


Accrocchio modulo Ambiente; punti di interesse.

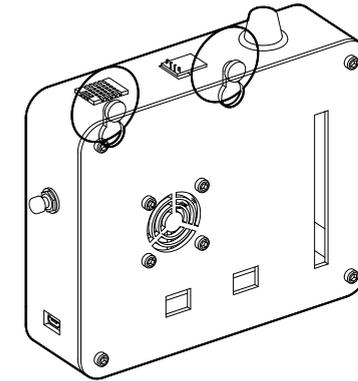


Accrocchio modulo Ambiente; applicazioni.

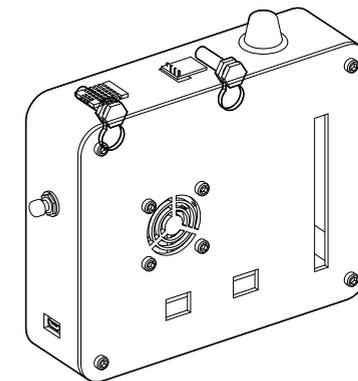
Poggiato

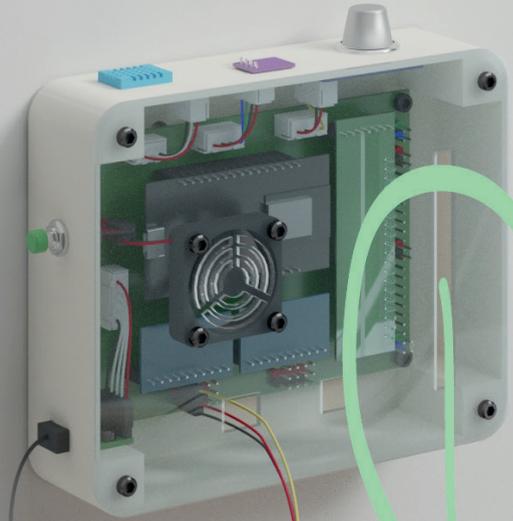


Ventose



Avvitato

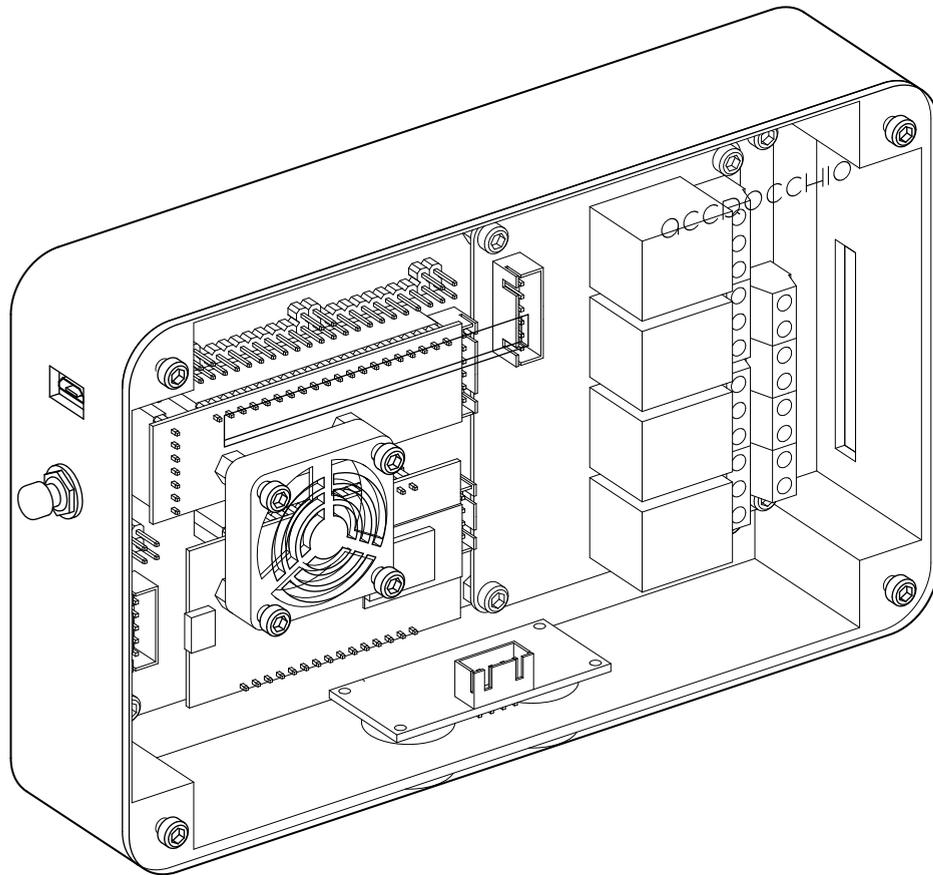




### 8.3.4 Modulo Irrigazione

Il modulo Irrigazione consiste in una scheda NodeMCU collegata a un modulo relay a 4 canali, dove ognuno di questi controlla una pompa per l'acqua, una per ogni pianta di cui si monitora l'umidità del terreno, e ad un sensore di distanza ad ultrasuoni che monitora il livello dell'acqua all'interno della tanica per l'irrigazione.

È presente un led integrato nella board che, come nel caso del modulo Ambiente, notifica la connessione Wi-Fi e la connessione al Broker MQTT.



#### Distinta base modulo Irrigazione

##### Componenti elettronici

- NodeMCU
- Micro USB 5V breakout board
- Pulsante NO di reset
- HC SR-04
- Modulo relay a quattro canali
- Pompe per l'acqua (x4)
- MCP23017-E/SS
- Ventola 5V

##### Componenti custom realizzati con tecnologie di riproduzione Open Source

- Case stampato in 3D
- Pannello frontale in metacrilato tagliato al laser
- Scheda pcb incisa con CNC

##### Componenti per l'assemblaggio

- Connettori Dupont male da saldare alla pcb
  - Verde: strip da 2 pin (x2)
  - Blu: strip da 2 pin (x2)
  - Rosso: strip da 2 pin (x3)
  - Nero: strip da 2 pin (x3)
  - Bianco: strip da 8 pin (x2)
- Connettori Dupont female da saldare alla pcb
  - Strip da 15 pin (x4)
  - Strip da 7 pin
  - Strip da 20 pin
- Connettori JST da saldare alla pcb
  - Connettore a 3 pin
  - Connettore a 5 pin
  - Connettore a 6 pin
- Cavi
- Viti M3 da 7mm
  - Per fissaggio Micro USB 5V breakout board al case stampato in 3D (x2)
  - Per fissaggio modulo relay a 4 canali a pcb (x4)
  - Per fissaggio pcb al case stampato in 3D (x4)

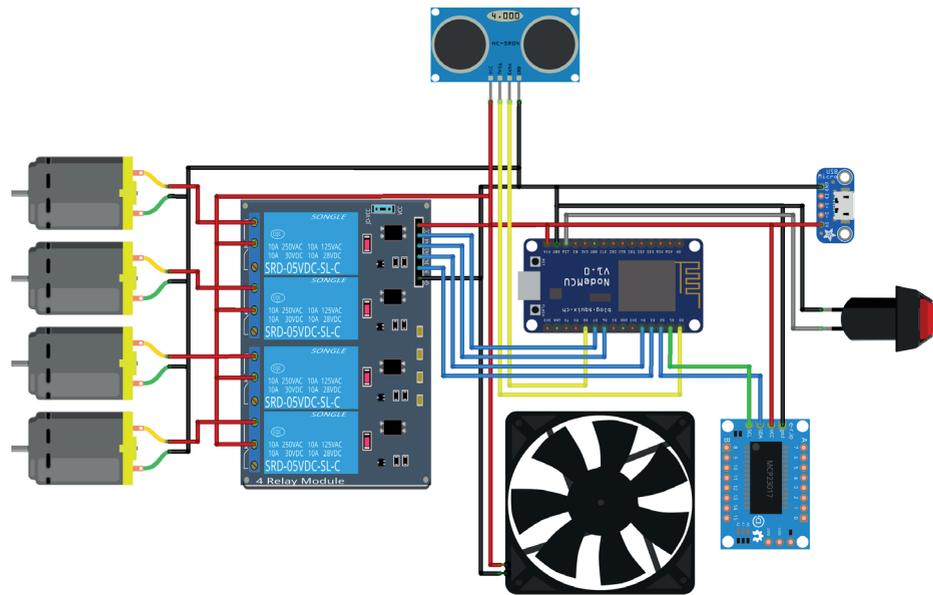
- Viti M3 da 12mm
  - Per fissaggio Ventola 5V al pannello frontale (x4)
  - Per fissaggio pannello frontale al case stampato in 3D (x4)
- Dadi M3 x12
  - Per fissaggio Ventola 5V al pannello frontale (x4)
  - Per fissaggio modulo relay a 4 canali a pcb (x8)

### Componenti elettronici

I sensori che sono parte del circuito del modulo Irrigazione sono:

- Modulo alimentazione per alimentare sia il modulo Irrigazione che il modulo Ambiente;
- HC SR-04 per la lettura della distanza tramite ultrasuoni della superficie dell'acqua all'interno della tanica, in modo da poterne derivare il livello ;
- Modulo Relay a 4 canali per l'attivazione delle pompe per l'acqua;
- Pompe per l'acqua (x4) come attuatori per l'irrigazione, una per ogni pianta di cui si monitora l'umidità del terreno.
- È presente un led blu integrato nella board che funge da feedback per quando il modulo si connette al Wi-Fi ed in seguito al broker MQTT.
- In alternativa alle pompe per l'acqua (nel caso dell'aeroponica) è possibile collegare dei vaporizzatori a ultrasuoni.

Componente	Tipologia	Consumi	Interfaccia
NodeMCU (Wi-Fi ON)	Microcontrollore	80 mA	Arduino IDE
HC SR-04	Sensore di distanza ad ultrasuoni	15 mA	<NewPing.h>
Modulo relay 4 canali	Controllore degli attuatori	20 mA	Digitale
Pompe per l'acqua x4	Attuatori per l'irrigazione	200 mA l'uno (800 mA max)	Nessuna
Ventola 5V	Ventola di raffreddamento	100 mA	Nessuna
Consumi totali (picco)		1015 mA max	



Schema dei componenti elettronici

I seguenti componenti sono già stati descritti precedentemente, nella sezione riguardante il modulo Ambiente:

- Micro USB 5V breakout board
- Pulsante NO di reset
- Ventola 5V
- LED integrato
- MCP23017-E/SS

### HC SR-04

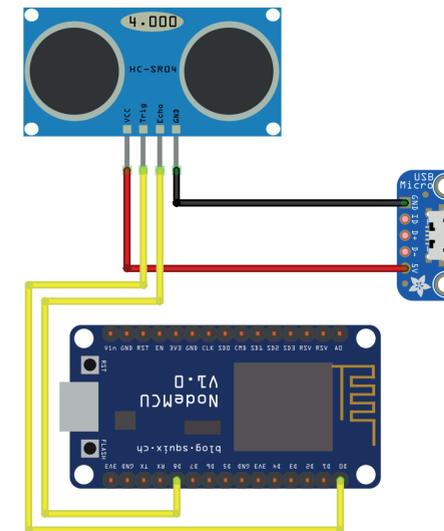
Il sensore HC SR-04 misura il tempo impiegato dalle onde sonore trasmesse dopo avere incontrato un oggetto che le riflette: ha un campo di misura che si estende da due centimetri a quattro metri con una precisione di 1 cm. Il modulo presenta un trasmettitore a ultrasuoni, un ricevitore e il circuito per il funzionamento.

Questi sensori ad ultrasuoni non misurano direttamente la distanza, ma forniscono il tempo impiegato da un segnale sonoro per raggiungere un ostacolo e ritornare di nuovo al sensore.

Quando la board setta a 1 il Pin Trigger, il sensore invia 8 impulsi ad ultrasuoni. Quando questi poi sono ricevuti, il sensore setta a 1 il pin Echo, viene quindi misurato il tempo che passa tra l'attivazione del pin Trigger ed il settaggio del pin Echo. Infine, nota la velocità del suono, converte il tempo misurato in una lunghezza e ricava quindi la distanza dell'ostacolo.

Il basso consumo (15mA durante la conversione) lo rendono ideale per progetti alimentati a batteria, ma il voltaggio di 5V rende necessaria un'alimentazione esterna al modulo NodeMCU.

Per funzionare necessita della libreria <NewPing.h>, ma può funzionare anche senza seppur in maniera più macchinosa.



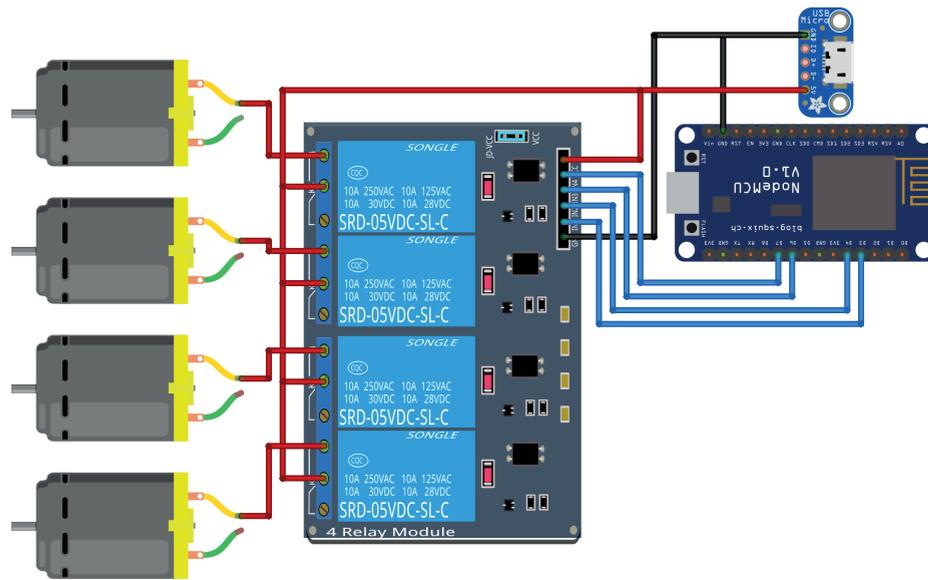
```
VDD HC SR-04 -> VCC Micro USB
Trig HC SR-04 -> D0 NodeMCU
Echo HC SR-04 -> D8 NodeMCU
GND HC SR-04 -> GND Micro USB
```

### Modulo Relay a 4 canali

Il Modulo Relè 5V a 4 canali permette di controllare contemporaneamente 4 relè individualmente, e nel nostro caso ogni canale controlla una pompa per l'irrigazione.

La corrente di pilotaggio è di 15-20 mA per canale, e necessita di un'alimentazione da 5V. Ha un indicatore LED diverso per lo stato di uscita dei relai.

Non necessita di librerie esterne.



```
VDD Relay ->VCC Micro USB
In1 Relay -> D3 NodeMCU
In2 Relay -> D4 NodeMCU
In3 Relay -> D6 NodeMCU
In4 Relay -> D7 NodeMCU
GND Relay -> GND Micro USB
NO Relay1 -> + Water pump 0
COM Relay1 -> VCC Micro USB
NO Relay2 -> + Water pump 1
COM Relay2 -> VCC Micro USB
NO Relay3 -> + Water pump 2
COM Relay3 -> VCC Micro USB
NO Relay4 -> + Water pump 3
COM Relay4 -> VCC Micro USB
```

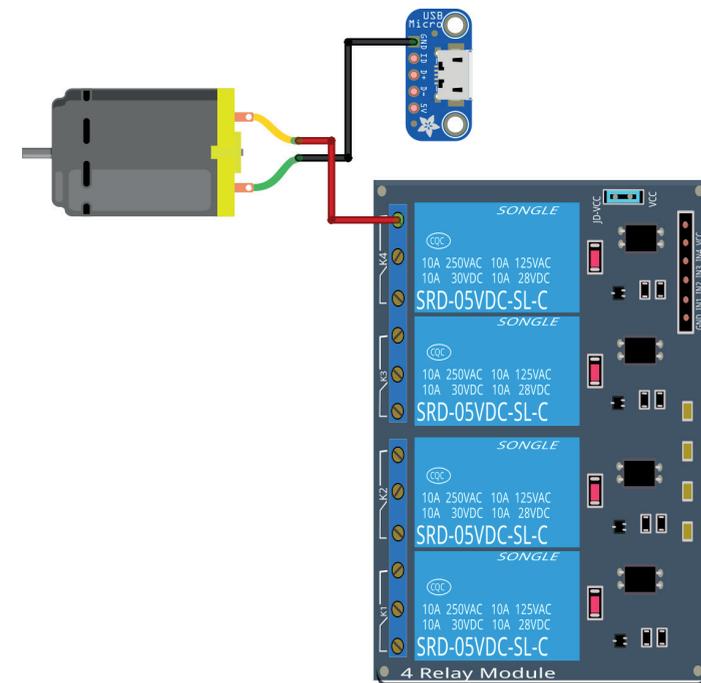
### Pompe per l'acqua

Gli attuatori che operano l'irrigazione delle piante sono quattro pompe per l'acqua, ognuna collegata ad un tubo trasparente di 75cm e immerse nella tanica sottostante il piano delle piante.

Possono operare ad un voltaggio compreso tra 3.3 e 5V, ma si è scelto di alimentarle a 5V in modo che siano più performanti.

Possono arrivare ad una portata di 100 litri ogni ora, ma vengono azionate solamente per 4 secondi quando l'umidità del terreno della relativa pianta scende al di sotto della soglia impostata del 65%.

Contengono ognuna un motore DC senza spazzole con guida magnetica.



```
+ Water pump X -> NO RelayX
- Water pump X -> GND Micro USB
```

### Sketch

Lo sketch è programmato tramite l'IDE di Arduino.

Il primo passaggio consiste nella dichiarazione e nella compilazione delle variabili corrispondenti ai pin dei sensori (qualora non si tratti di sensori I2C) e della compilazione dei campi relativi alla rete Wi-Fi e all'indirizzo e al nome IP del dispositivo broker MQTT:

```
const char* ssid = "*****";
const char* password = "*****";
const char* mqtt_server = "192.168.1.***";
const char* nodeMCUname = "WaterPump";
```

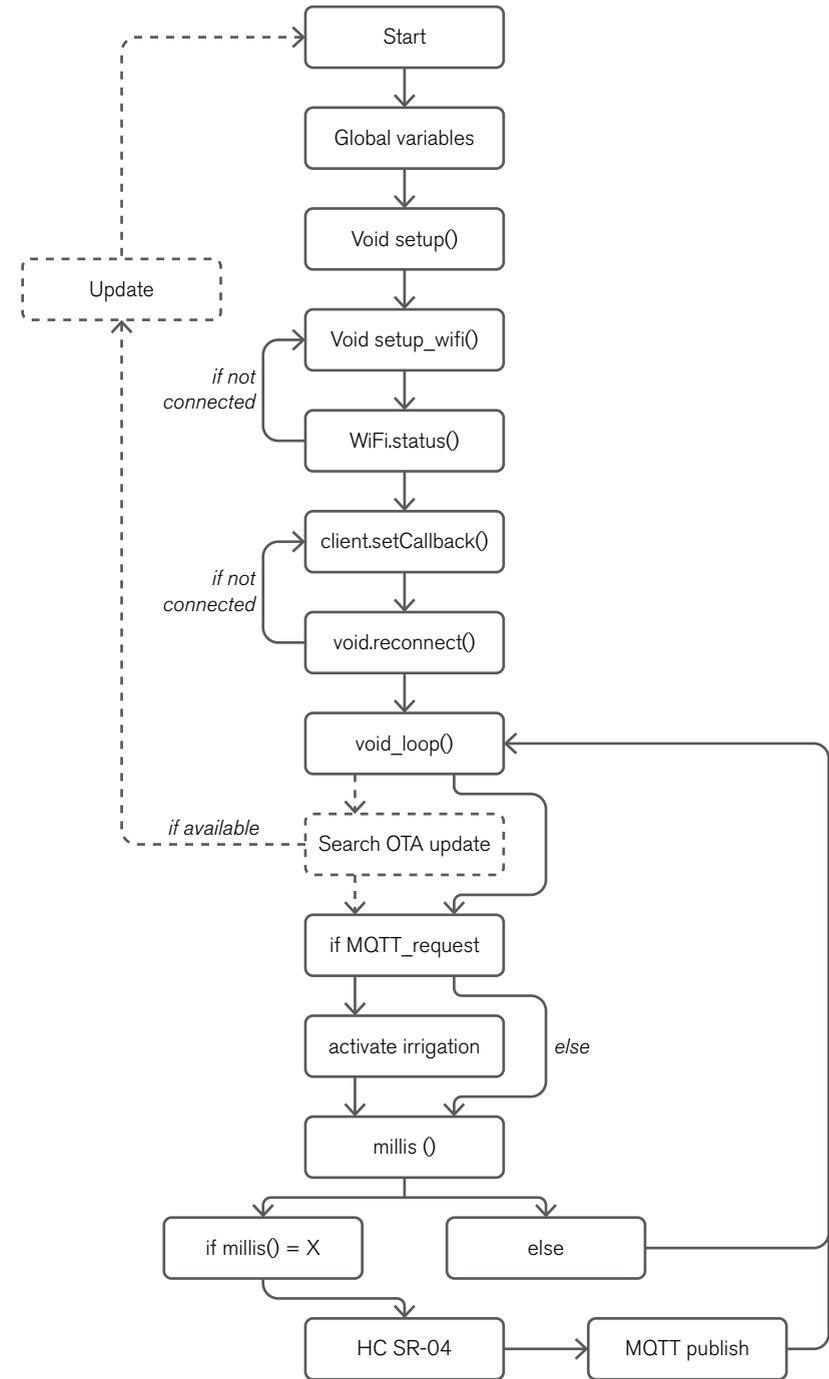
La funzione void setup() inizializza la connessione Wi-Fi, e in seguito la funzione callback() inizializza la comunicazione publish-subscribe con il broker MQTT attraverso l'invio dei topic. Se si hanno diversi moduli NodeMCU collegati via MQTT, è necessario cambiare i vari nomi, i campi da compilare (tutti allo stesso modo) sono:

```
WiFiClient *****; //in global variables
PubSubClient client(*****); //in global variables
if (client.connect("*****")) //in void reconnect()
```

In questo modo i vari moduli non si andranno a sovrapporre nelle comunicazioni.

Tramite la funzione callback(), attende un preciso topic MQTT, il quale accenderà una delle pompe quando l'umidità del terreno della relativa pianta scenderà sotto la soglia impostata.

```
const int timepump = 4000;
if (topic == "tank/pump/pump0") {
  if (messagePump == "startPump0") {
    Serial.print("Pump0 ");
    digitalWrite(pump0, LOW);
    delay(timePump);
    digitalWrite(pump0, HIGH);
    Serial.println("refilled.");
  } else {
    delay(10);
  }
}
```



È stata necessaria l'aggiunta della stringa riguardante il contenuto del messaggio in quanto, altrimenti, in fase di connessione del modulo con il Broker MQTT, quest'ultimo riceveva un topic che attivava le pompe per l'acqua, rendendo il controllo dell'umidità del terreno tramite attuatori completamente inutile.

Per rendere necessaria una richiesta in tempo reale da parte del broker MQTT, non è stata usata la funzione `delay()` perchè avrebbe bloccato il loop, ma è stata utilizzata la funzione `millis()`.

`millis()` è una funzione di Arduino che restituisce il numero di millisecondi trascorsi dall'istante in cui la scheda viene accesa. `millis()` si basa su di un contatore che viene aggiornato continuamente ogni millisecondo per l'appunto, e per questo motivo il suo valore cresce costantemente, non essendo influenzato dal codice dell'utente.

Unito allo sketch per la misurazione del livello dell'acqua all'interno della tanica e della successiva trasmissione del topic MQTT, lo sketch è il seguente:

```
#include <NewPing.h>           //HC SR-04 library
const int pinTrigger = D0;
const int pinEcho = D1;
const int USdistanza = 100;   //maximum distace read
NewPing sonar(pinTrigger, pinEcho, USdistance);
long now = millis();
long lastMeasure = 0;

now = millis();
if (now - lastMeasure > 600000) { //10*60*1000 milliseconds
    lastMeasure = now;

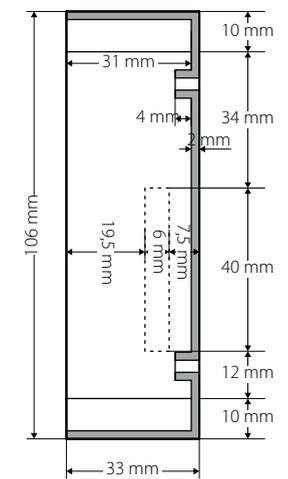
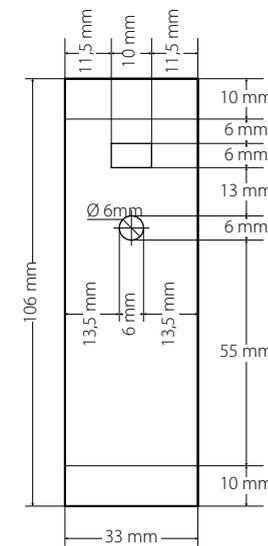
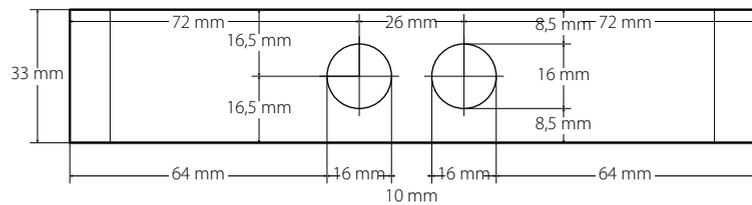
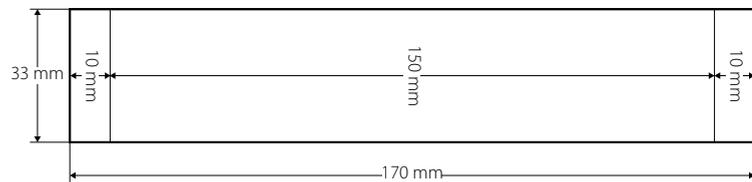
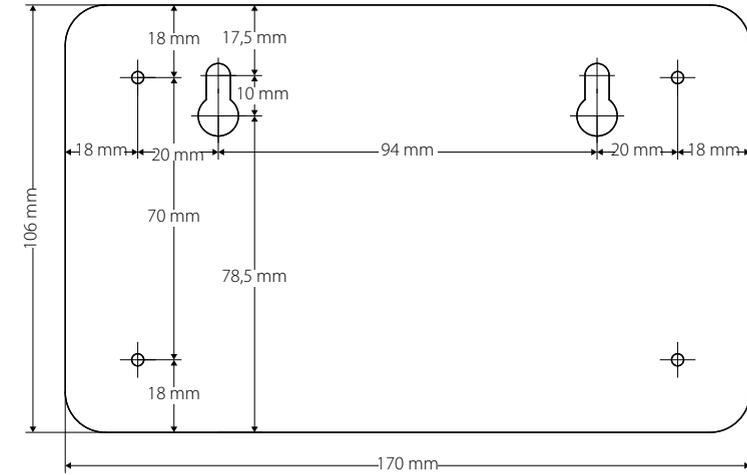
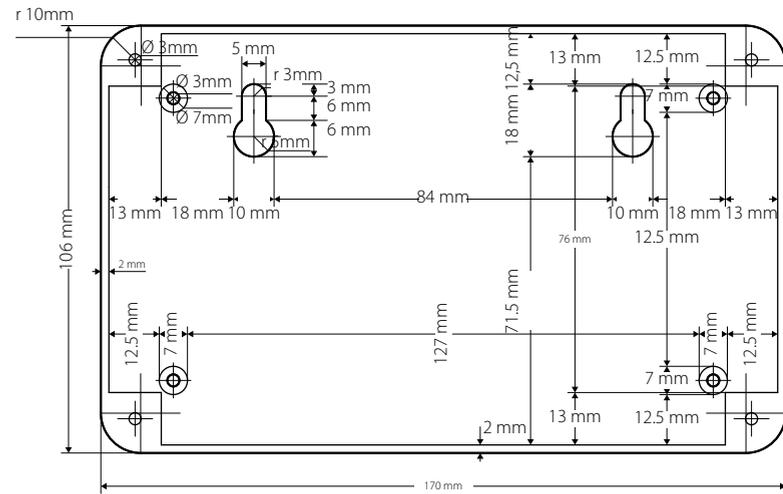
    int waterTank = sonar.ping_cm();
    Serial.println("Water distance: " + String(waterTank) + "
cm");

    static char waterLevel[7];
    dtostrf(waterTank, 3, 0, waterLevel);

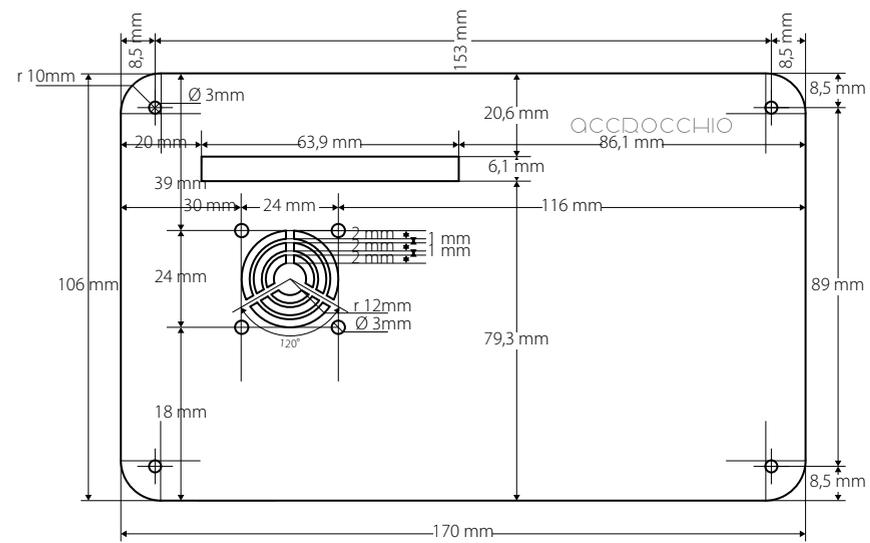
    client.publish("room/garden/waterTank", waterLevel);
}
```

Componenti custom:

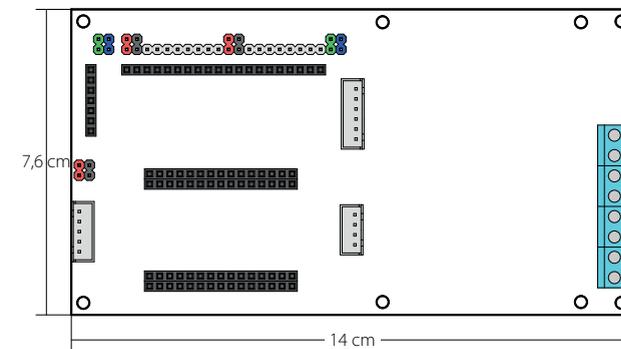
Case stampato in 3D, prospetti quotati e sezione quotata.

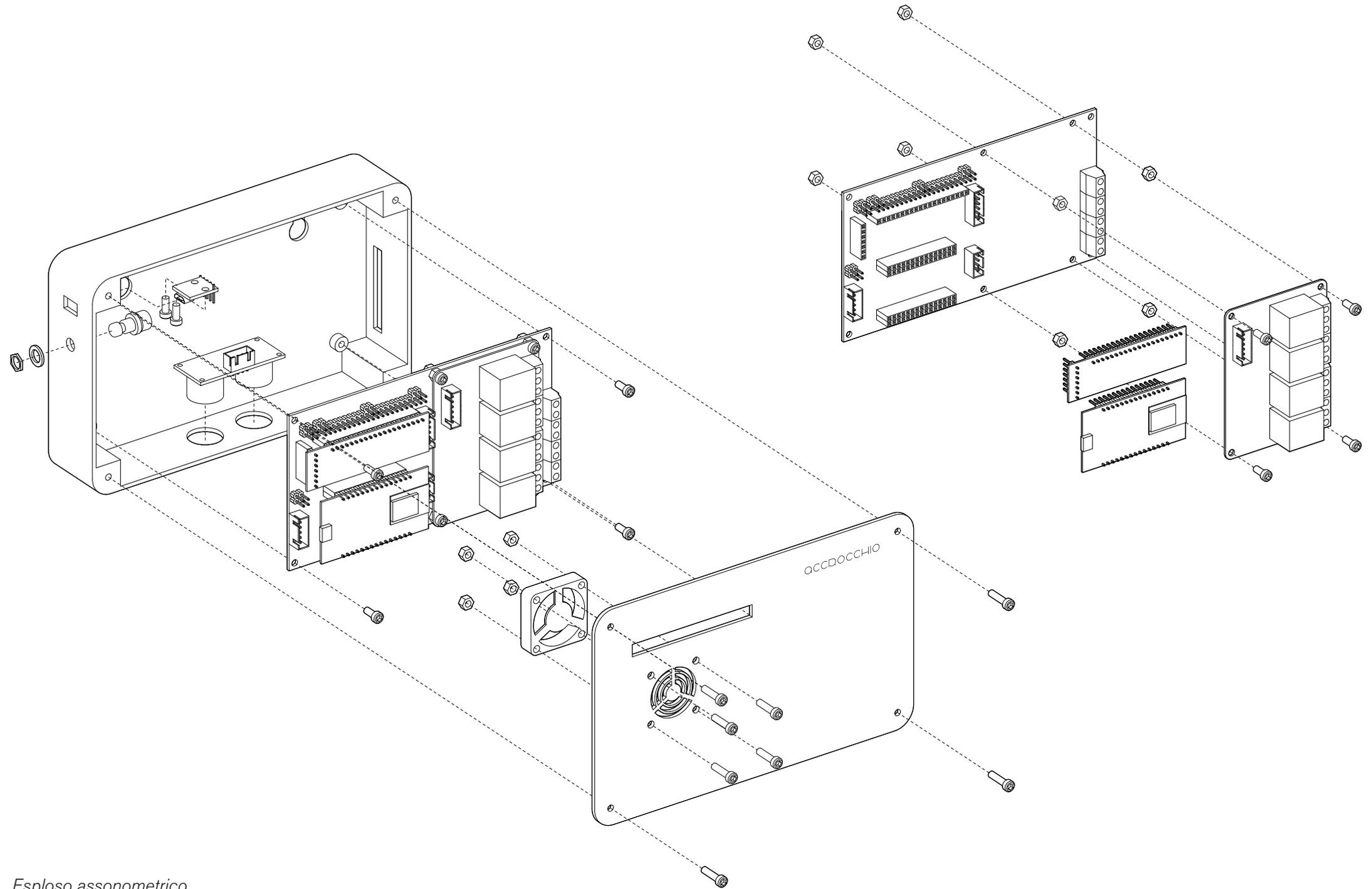


Pannello frontale in metacrilato tagliato al laser con quote.



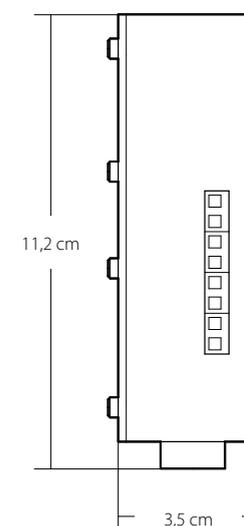
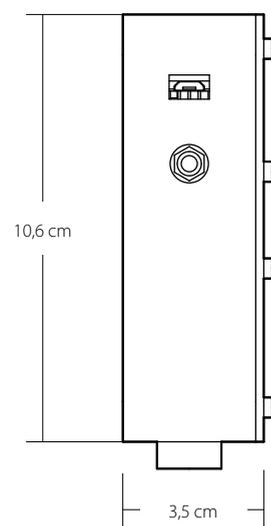
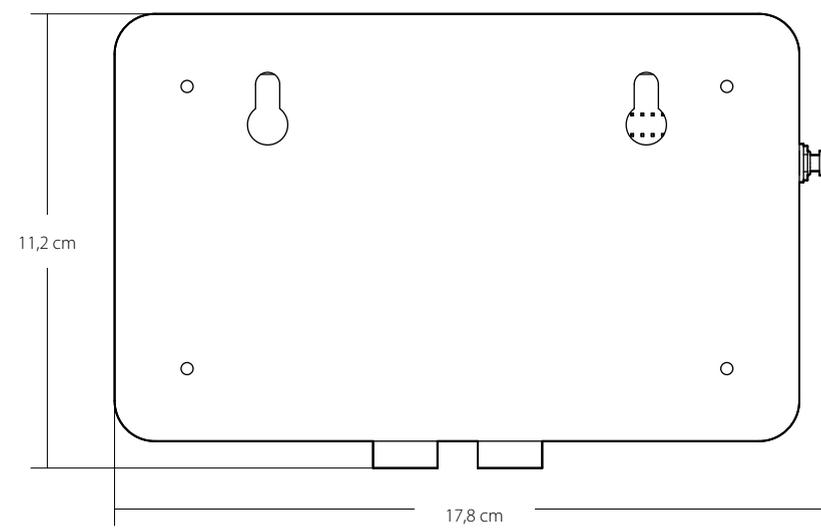
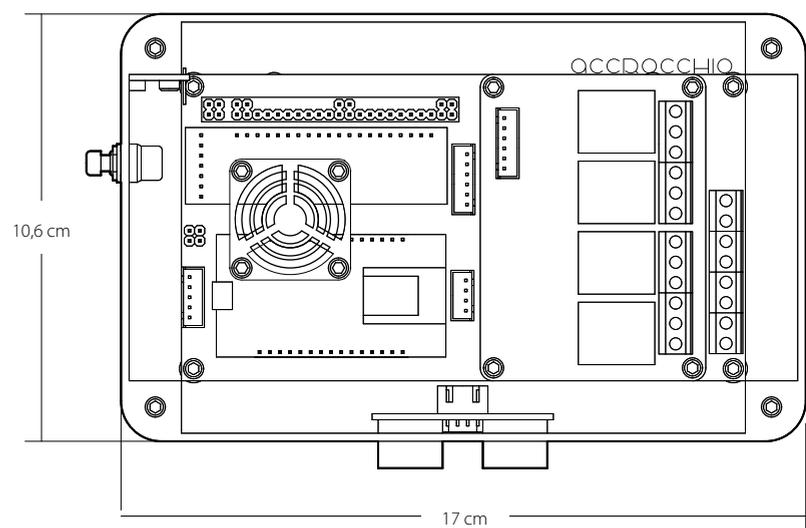
Scheda PCB incisa con CNC e connettori con dimensioni.



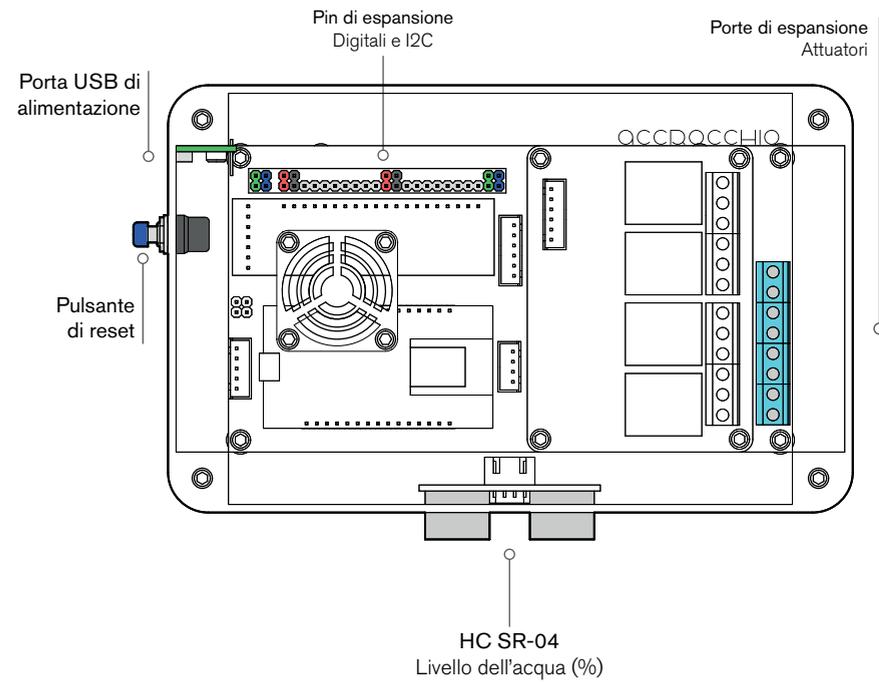


*Esploso assonometrico.*

Accrocchio modulo Irrigazione assemblato; prospetti e ingombri.

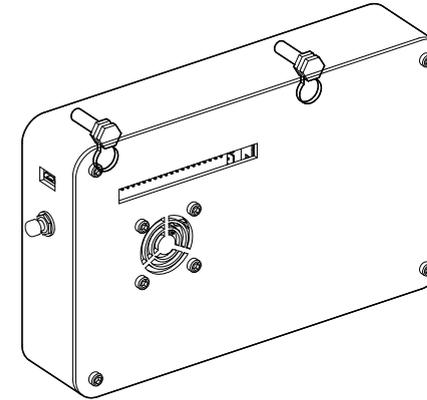


Accrocchio modulo Irrigazione; punti di interesse.

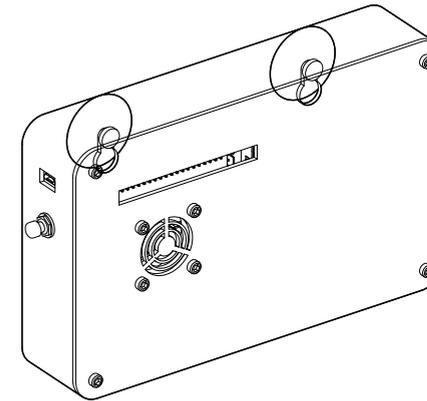


Accrocchio modulo Irrigazione; applicazioni.

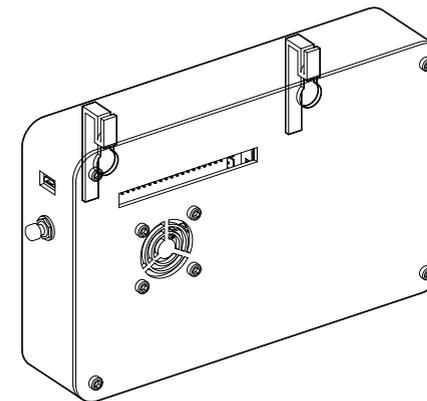
Avitato

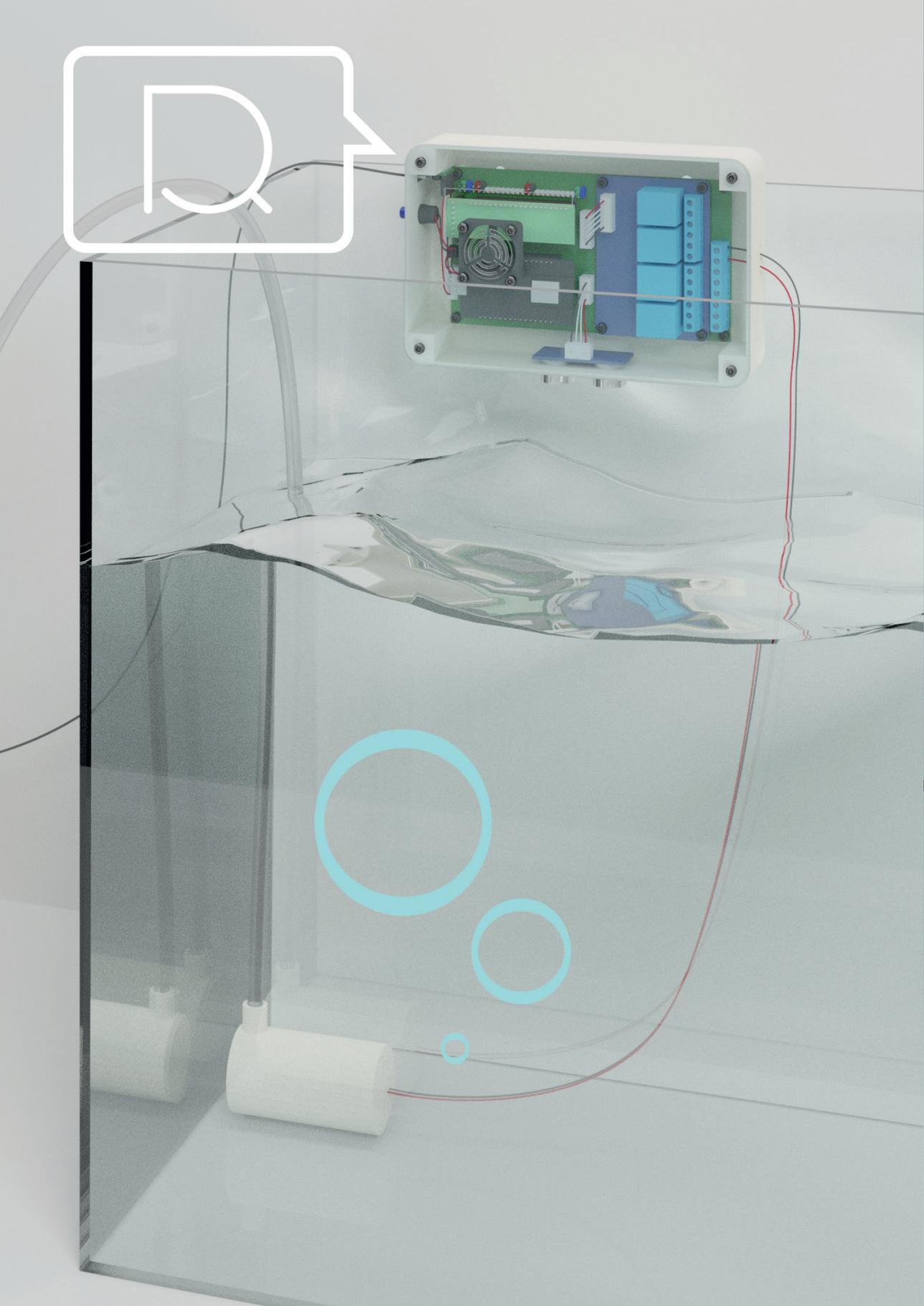


Ventose



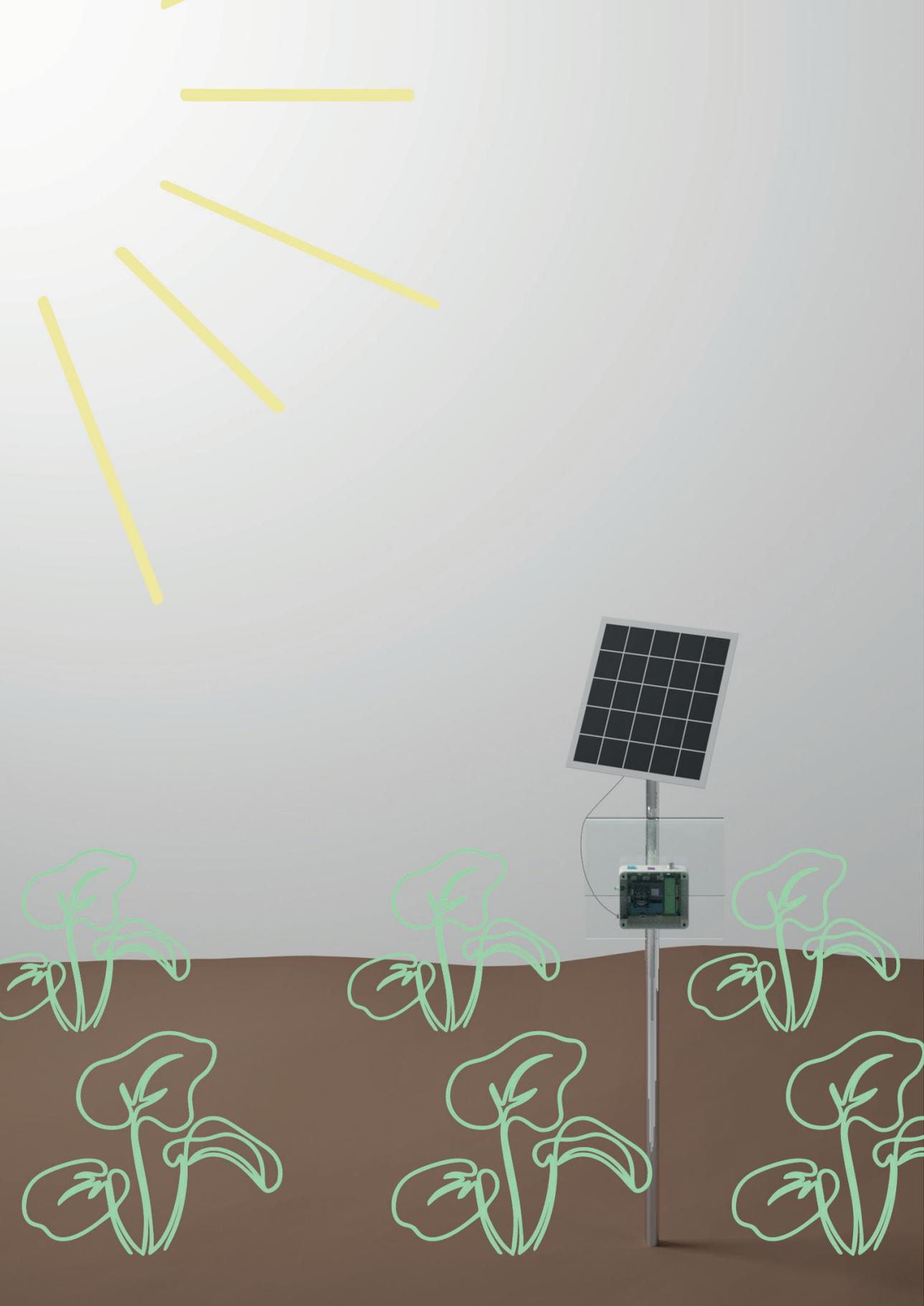
Agganciato











## 8.3.5 Back-end

### Nodi Node-RED

Le librerie di Node-RED che sono state utilizzate per creare un flusso di informazioni sono:

- *node-red-contrib-blynk-ws*
- *node-red-contrib-google-home-notify*
- *node-red-contrib-telegrambot*
- *node-red-dashboard*
- *node-red-nodeopenweathermap*

Mentre i nodi di Node-RED utilizzati all'interno del flusso sono:

- *Blynk Write* scrive il valore al numero di pin specificato;
- *Button* aggiunge un pulsante alla dashboard;
- *Buttons* permette di visualizzare dei bottoni sotto un messaggio ricevuto dal Bot di Telegram, dal quale permette un'interazione diversa a seconda del messaggio;
- *Change* imposta le proprietà di un messaggio dal flusso al contesto globale;
- *Chart* traccia i valori di ingresso su un grafico e li aggiorna con i successivi;
- *Command* permette l'attivazione di eventi a seconda del messaggio che il Bot riceve;
- *Delay* ritarda ogni messaggio che passa attraverso il nodo;
- *Function* programmazione JavaScript;
- *Gauge* aggiunge un widget di tipo gauge alla dashboard;
- *Google Home Notify* permette la ricezione di una notifica da parte di Google Home;
- *Inject* attiva un flusso manualmente o a intervalli regolari;
- *Keyboards* permette l'inizializzazione di una tastiera sottostante la schermata della chat, anch'essa contenente dei bottoni, i quali però sono statici;
- *MQTT Publish* pubblica un topic ad un client MQTT;
- *MQTT Subscribe* si collega a un broker MQTT e sottoscrive i messaggi dell'argomento specificato;
- *OpenWeatherMap* permette all'utente di accedere ai dati climatici e meteorologici di un punto (specificato tramite città o coordinate) e di avere delle previsioni degli stessi con un orizzonte temporale massimo di cinque giorni;
- *Parse* permette l'estrapolazione del contenuto di un messaggio permet-

tendo all'utente di impostare autonomamente e attraverso l'app di Telegram dei valori;

- *Range* traccia un valore numerico in un intervallo diverso;
- *Switch* attiva o disattiva la parte di flusso che lo segue;
- *Telegram Command* permette al flusso di interagire quando il BOT di Telegram riceve uno specifico comando da parte dell'utente;
- *Telegram Receiver* permette al flusso di interagire quando il BOT di Telegram riceve un qualsiasi messaggio da parte dell'utente;
- *Telegram Sender* permette di inviare un messaggio da parte del BOT di Telegram all'utente;
- *Text (dashboard)* visualizza un campo di testo non modificabile sulla dashboard
- *Text (Telegram)* permette l'invio di un messaggio preimpostato da parte del Bot all'attivazione di un evento.

### Flusso

Nel caso del sensore di temperatura e umidità dell'aria, i valori sono già tarati in fase di ricezione, per cui tramite Node-RED ci si occupa solo di renderli disponibili globalmente e di visualizzarli sulla dashboard come valori di testo (tutti) e su un grafico (solo temperatura e umidità dell'aria).

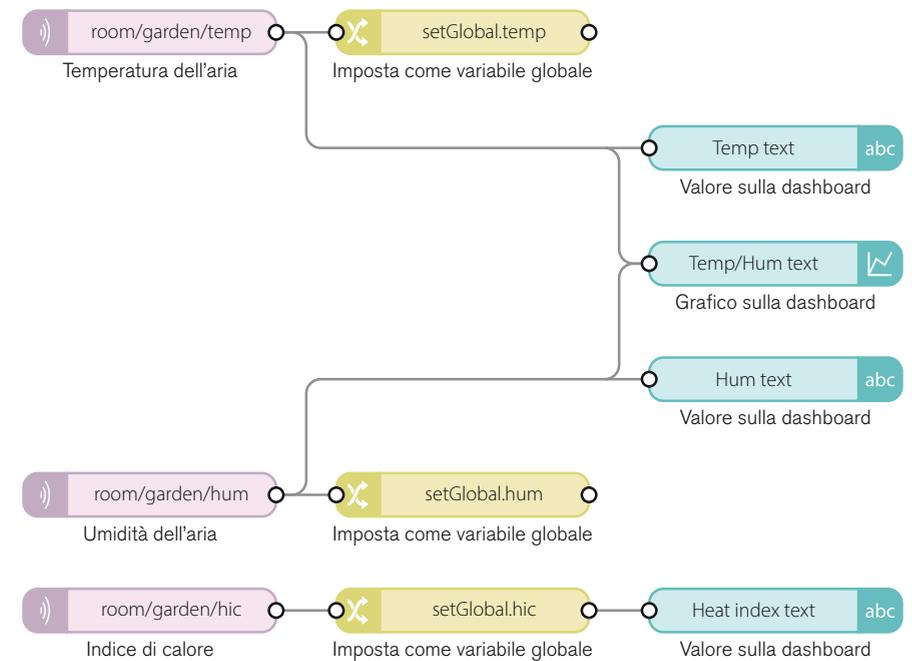
Nel caso del sensore di luminosità, il valore dell'indice UV arriva già tarato in fase di ricezione, mentre i valori di luce visibile e luce infrarossa arrivano grezzi, per questo devono passare attraverso un nodo function affinché possano essere convertiti in valori Lux. Sia i valori grezzi (luce visibile e luce infrarossa, umidità del terreno e qualità dell'aria) che i valori rifiniti (temperatura, umidità dell'aria e livello dell'acqua) vengono resi disponibili globalmente. Sulla dashboard di Node-RED vengono visualizzati come valori di testo tutti i valori rifiniti, mentre sul grafico vengono visualizzati solo i valori rifiniti di luce visibile e luce infrarossa. Gli stessi valori sono visualizzati anche sull'app Blynk come grafico.

Nel caso del sensore di prossimità per rilevare il livello di acqua nella tanica, il valore della lettura grezza viene reso disponibile globalmente. Parallelamente finisce in un nodo di Range che imposta un intervallo 0-100% a partire dai valori di tanica completamente vuota e completamente piena preimpostati. Il valore tarato viene ora reso disponibile globalmente e visualizzato nella dashboard. Se il valore scende al di sotto di una soglia preimpostata, Google Home avvisa con una notifica che è necessario riempire la tanica.

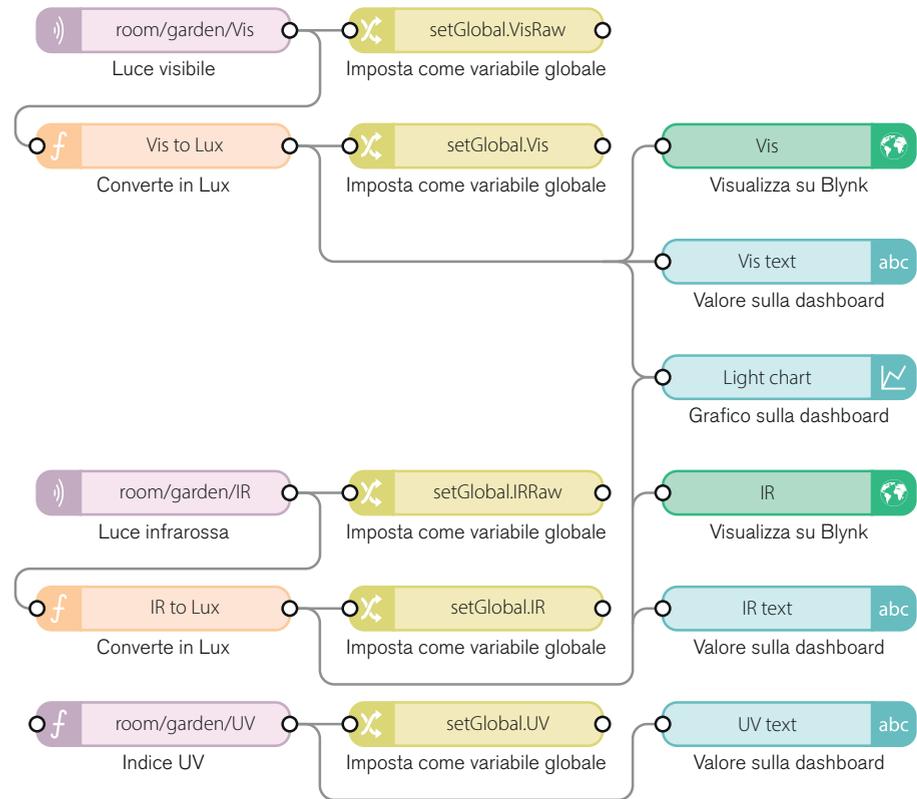
Per l'umidità del terreno il flusso diventa più complesso. Nella prima parte il flusso è molto simile alla procedura per i valori di luce visibile e luce infra-

rossa (ricezione, variabile globale grezza, taratura, variabile globale rifinita, testo sulla dashboard di Node-RED, grafico sulla dashborad di Node-RED, e grafico sull'app di Blynk). Nella seconda parte l'argomento in ingresso viene ritardato di 5 secondi, e in seguito passa attraverso un pulsante (visualizzato sulla dashboard di Node-RED) per il controllo dell'irrigazione attraverso un nodo function. L'irrigazione avviene solo se l'ultima lettura dell'umidità del terreno è sotto la soglia (preimpostata) del 65%. In questo caso il flusso continua nella definizione di un nuovo messaggio attraverso un nuovo nodo function e termina nella pubblicazione di un argomento MQTT che attiva la relativa pompa dell'acqua. Parallelamente, un terzo nodo function inserisce nel flusso la chat Id dell'utente in modo che questo possa essere avvertito, tramite una notifica di Telegram, dell'avvenuta irrigazione.

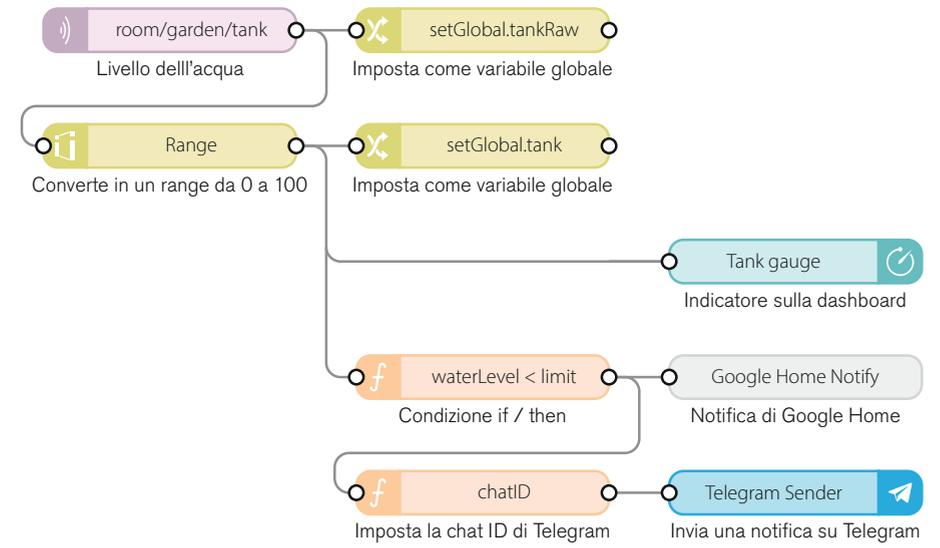
Ricezione dei topic MQTT contenenti i dati rilevati dal sensore di temperatura e umidità dell'aria e visualizzazione sulla dashboard.



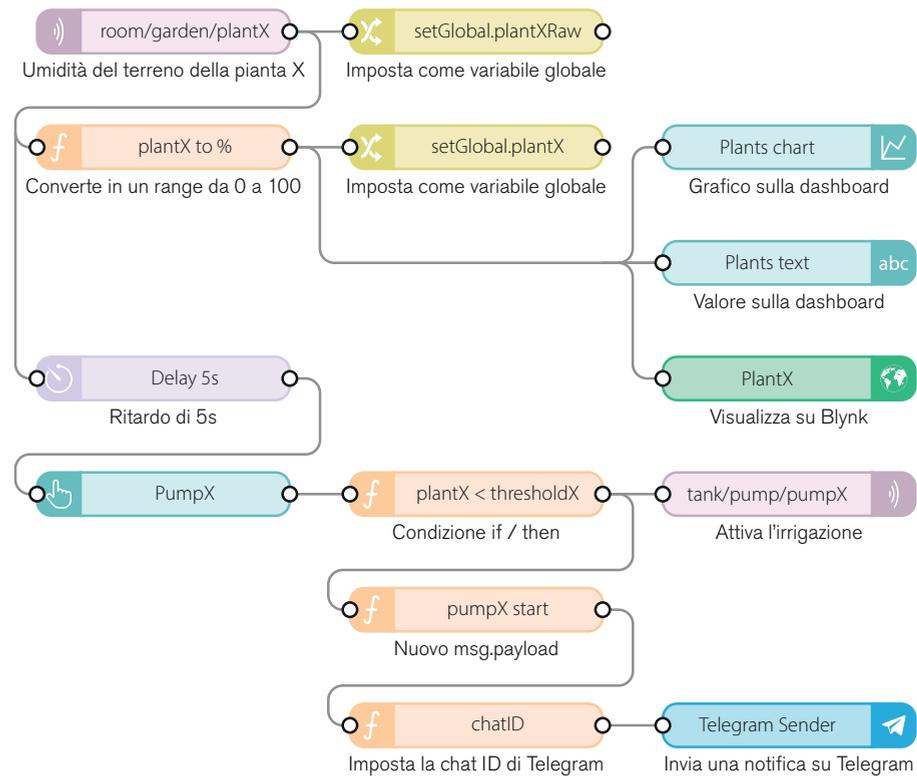
Ricezione dei topic MQTT contenenti i dati rilevati dal sensore di luce visibile e infrarossa da parte del broker MQTT e visualizzazione su dashboard e Blynk.



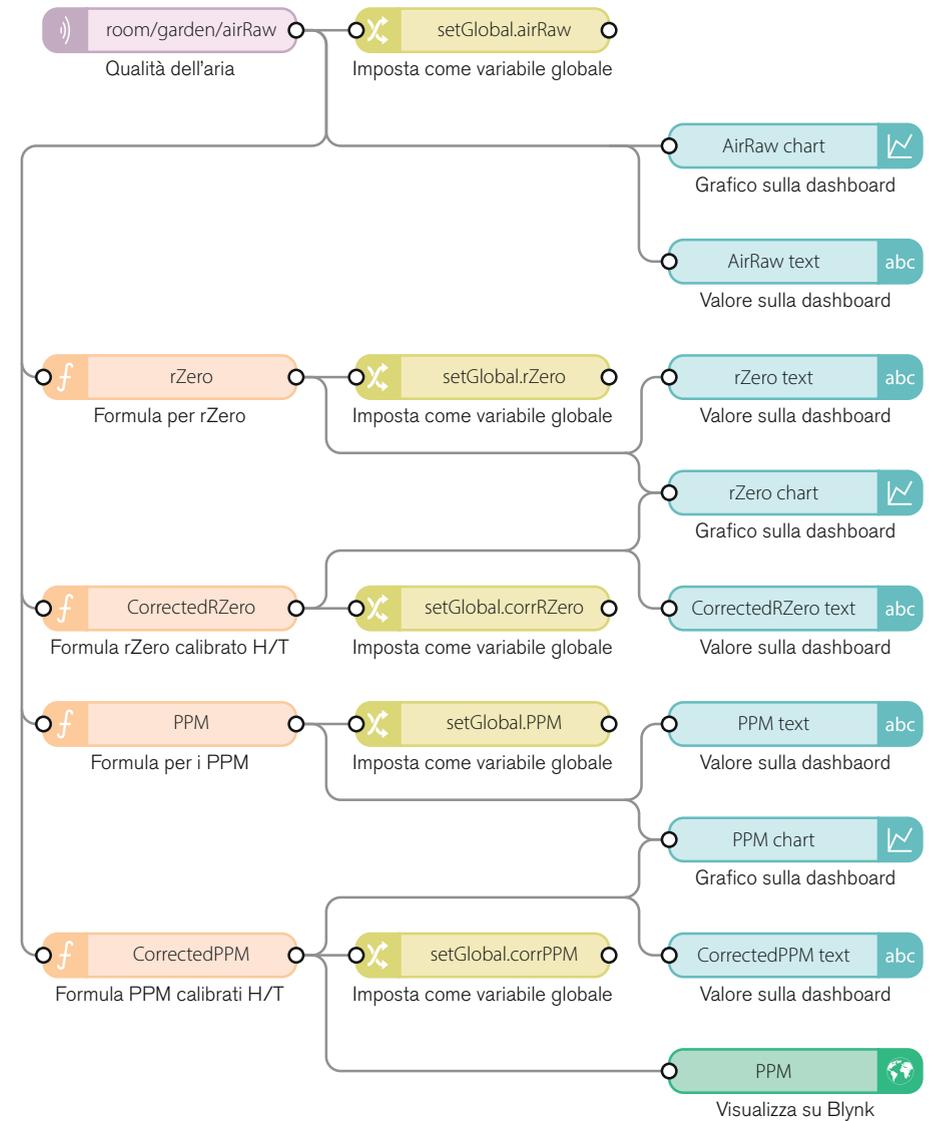
Ricezione dei topic MQTT contenenti i dati rilevati dal sensore di di prossimità sulla tanica dell'acqua da parte del broker MQTT e visualizzazione su dashboard.



Ricezione dei topic MQTT contenenti i dati rilevati dai sensori di umidità del terreno da parte del broker MQTT e visualizzazione su dashboard e Blynk, in seguito: attivazione degli attuatori tramite eventi MQTT con successiva notifica da parte di Telegram.



Ricezione del topic MQTT contenente il dato analogico della qualità dell'aria monitorata, in seguito calibrazione del valore attraverso i nodi function, ed infine visualizzazione del dato su Dashboard e Blynk.



Tramite il BOT di Telegram vengono inviati da parte dell'utente dei comandi, in modo che questi possa visualizzare tramite app i dati delle ultime letture effettuate.

Attualmente i comandi sono:

- **/start** inizializza il flusso e fa apparire la tastiera con gli altri comandi. Contemporaneamente un nodo Keyboard fa apparire la tastiera sulla chat di Telegram con i comandi *"/garden", "/plants", "/air", "/light", "/indoor", "/options", "/state" e "/raw"*;
- **/garden** crea il messaggio contenente tutte le rilevazioni del modulo Ambiente attingendo agli ultimi valori delle variabili globali;
- **/plants** crea il messaggio con lo stato dell'umidità del terreno delle quattro piante dalle rilevazioni del modulo Ambiente e con il livello dell'acqua all'interno della tanica del modulo Irrigazione, attingendo agli ultimi valori delle variabili globali;
- **/air** crea il messaggio con lo stato della temperatura, dell'umidità, della temperatura percepita e della qualità dell'aria dalle rilevazioni del modulo Ambiente attingendo agli ultimi valori delle variabili globali;
- **/light** crea il messaggio con lo stato della radiazione visibile, della radiazione infrarossa e dell'indice UV dalle rilevazioni del modulo Ambiente attingendo agli ultimi valori delle variabili globali;
- **/options** crea un messaggio di risposta che permette all'utente di interagire con il bot attraverso comandi basilari (come l'attivazione o la disattivazione delle notifiche e dell'irrigazione) o attraverso comandi più complessi come l'impostazione delle soglie di irrigazione o dei nomi delle piante;
- **/state** crea un messaggio dove all'utente viene comunicato lo stato delle variabili da lui impostate;
- **/raw** crea il messaggio (utile in fase di progettazione in quanto strumento di debug) con i valori grezzi dell'umidità del terreno delle quattro piante e della radiazione visibile e della radiazione infrarossa del modulo Ambiente, e con il valore grezzo del livello dell'acqua all'interno della tanica del modulo Ambiente, attingendo agli ultimi valori delle variabili globali;

Una volta che i messaggi sono stati creati, vengono inviati all'utente dal BOT di Telegram attraverso il nodo Telegram Sender.

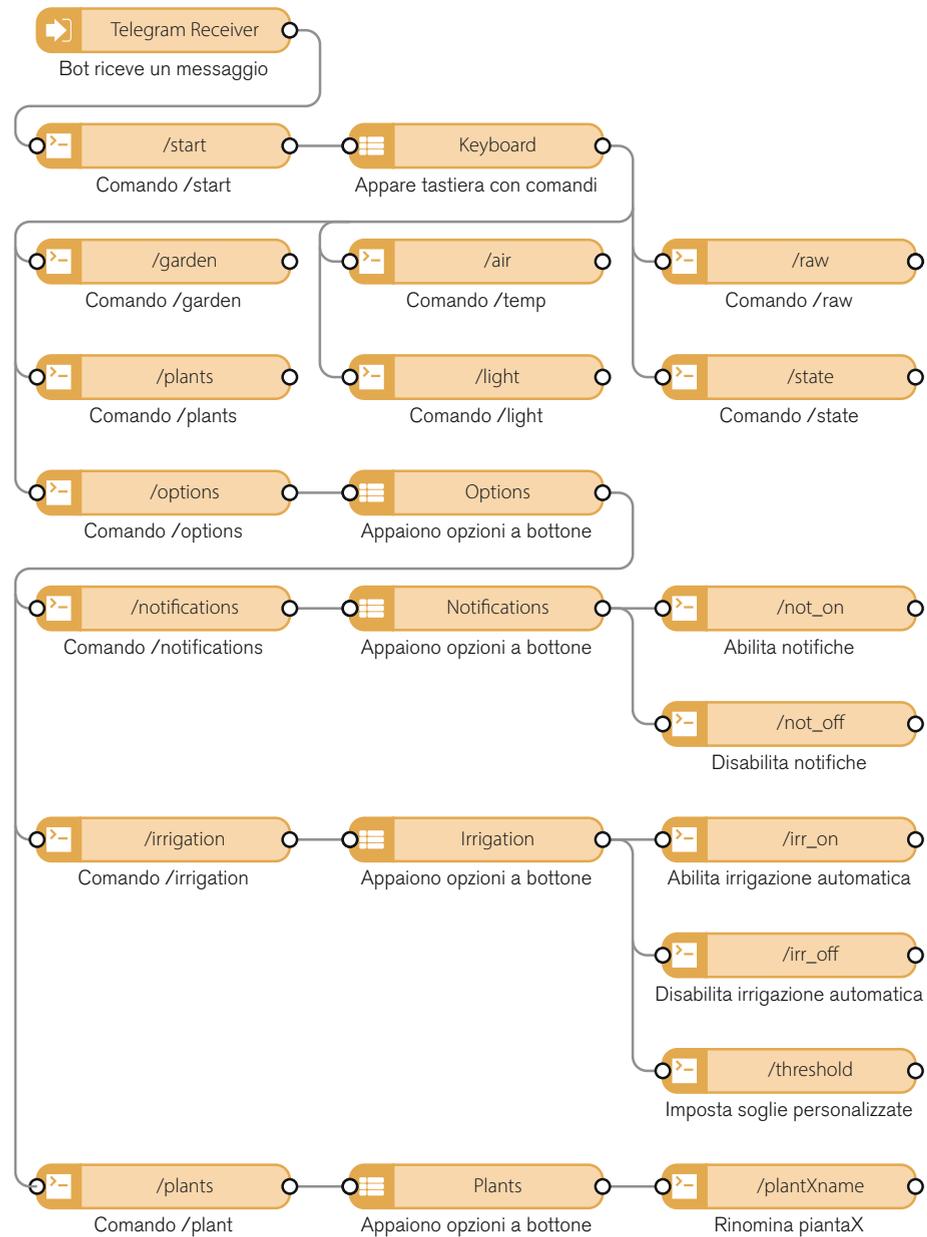
- Nella versione attuale, è possibile per l'utente inserire dei parametri che saranno inseriti nel flusso e che permettono di gestirlo. L'interazione avviene attraverso il comando **/options**.
- La prima voce disponibile è il comando **/notifications**, che da all'utente

la possibilità di attivare o disattivare le notifiche dell'app di Telegram e del dispositivo Google Home.

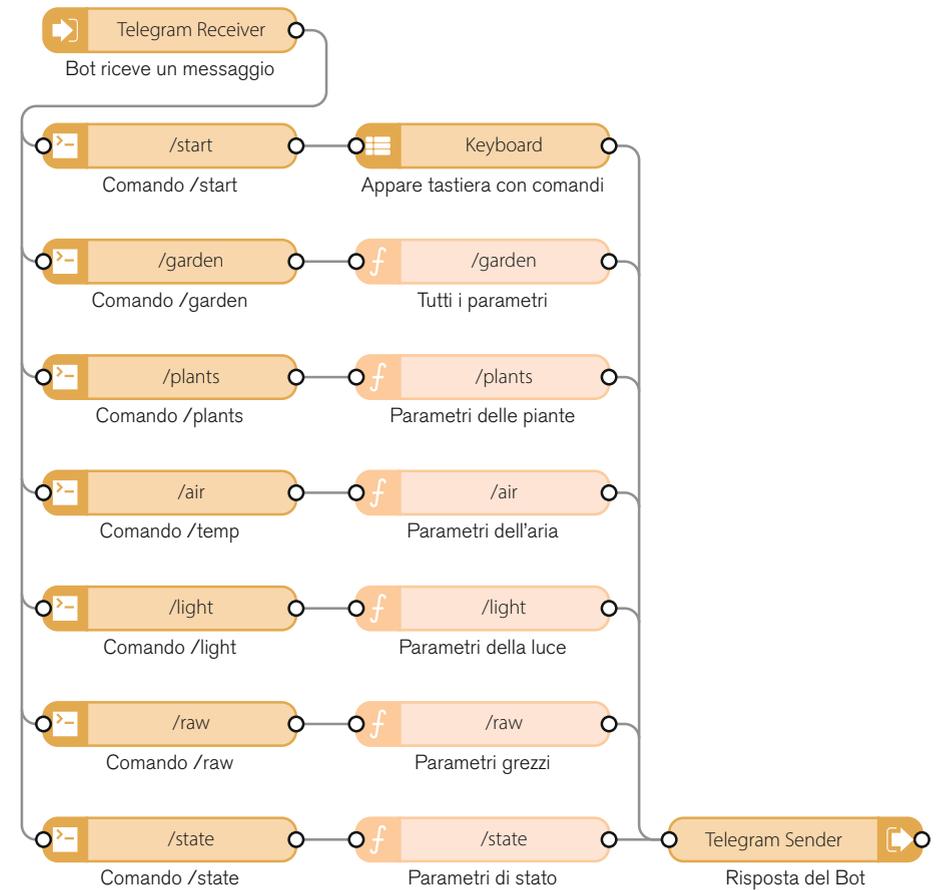
- La seconda voce è il comando **/irrigation**, che da all'utente la possibilità di attivare o disattivare l'irrigazione automatica del modulo Irrigazione. Inoltre è possibile impostare le soglie di umidità del terreno, al di sotto delle quali viene attivata l'irrigazione automatica, questo per ognuna delle quattro piante. L'azione per impostare nelle soglie consiste nel comunicare, in seguito al comando **/irrigation**, quale delle soglie si intende modificare. A questo punto si invia la nuova soglia semplicemente come messaggio, il quale passa attraverso il nodo Parse che si occupa di estrarre il valore e renderlo disponibile globalmente come nuova soglia di irrigazione della pianta corrispondente.
- La terza e ultima voce è il comando **/plants**, che da all'utente la possibilità di cambiare il nome visualizzato sull'app per le piante. Questa funzione da all'utente la possibilità di spostare il sensore di umidità del terreno da una pianta all'altra e, combinato alla personalizzazione delle soglie di irrigazione tramite il comando **/irrigation**, permette la modifica della User Experience direttamente dal dispositivo. La comunicazione del nuovo nodo avviene attraverso un nodo Parse, il quale si occupa di estrarre il valore e renderlo disponibile globalmente come nuova variabile del nome della pianta corrispondente.

Attraverso questi passaggi vogliamo dimostrare la possibilità di personalizzazione dell'Esperienza Utente da parte dell'utente stesso, e attraverso l'utilizzo della stessa app di Telegram attraverso un'interazione con il Bot.

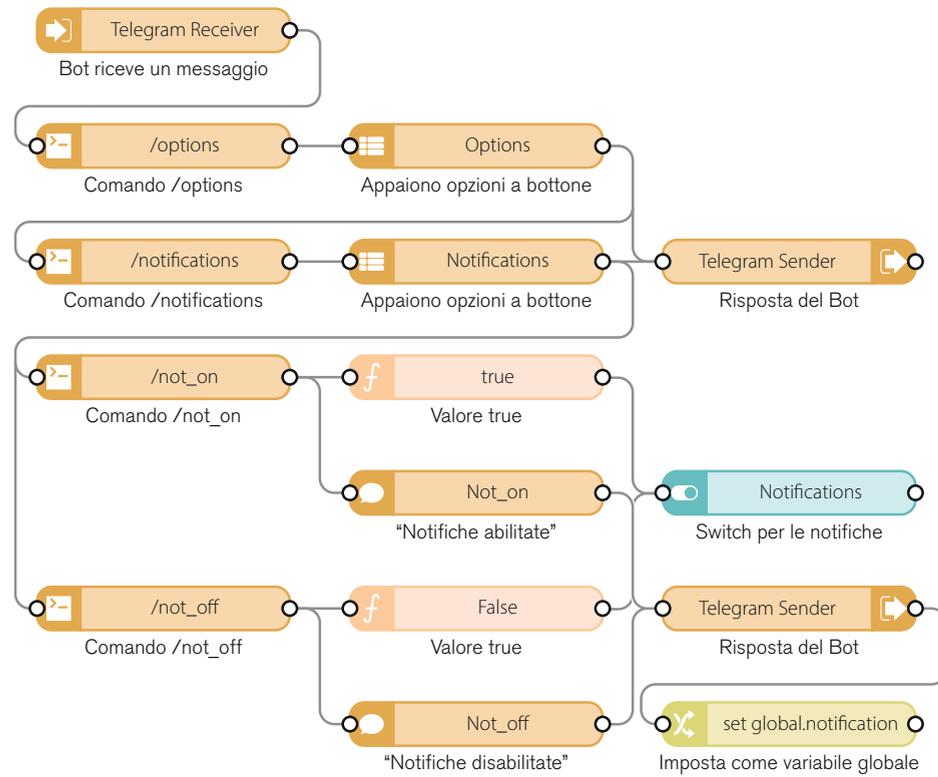
Integrazione del BOT di Telegram all'interno del flusso per la comunicazione dei parametri (schema base).



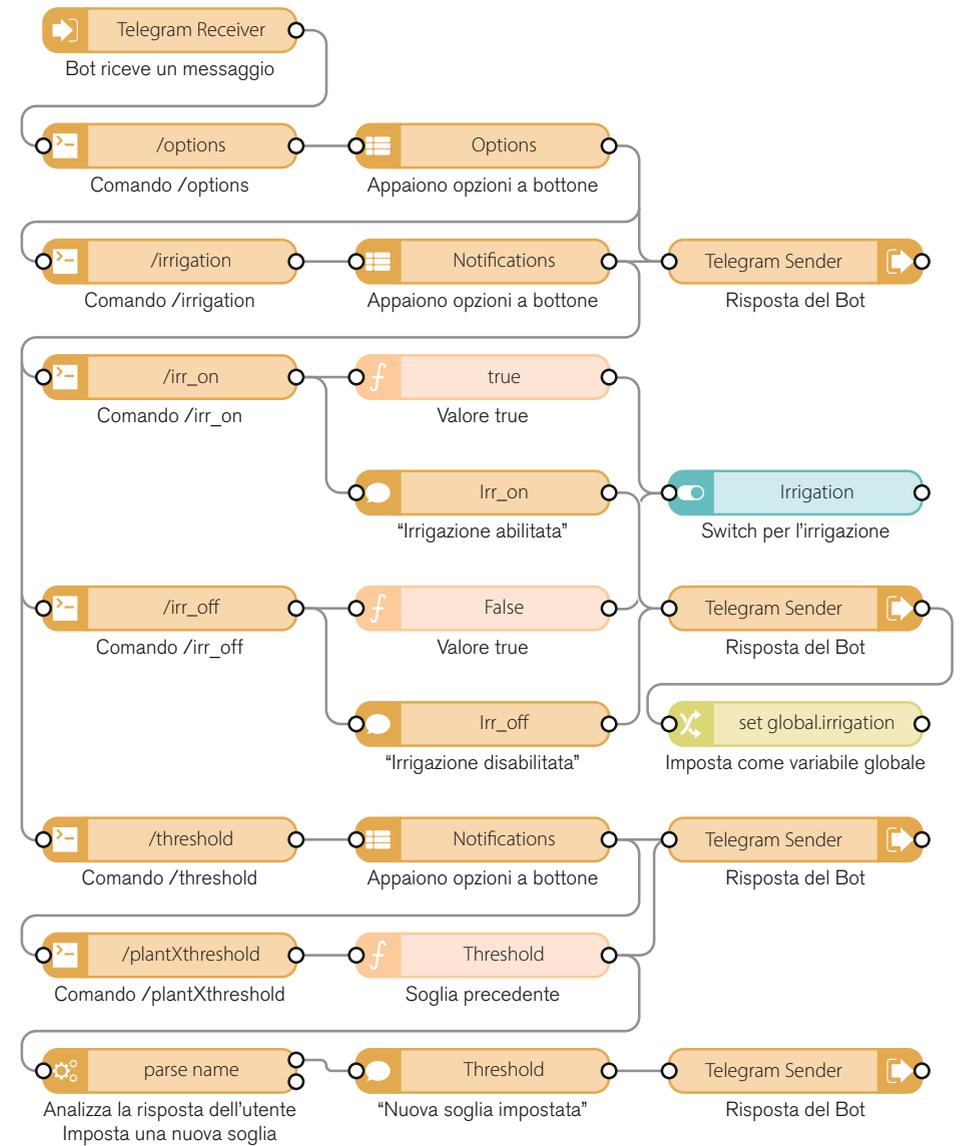
Integrazione del BOT di Telegram all'interno del flusso per la richiesta dei dati.



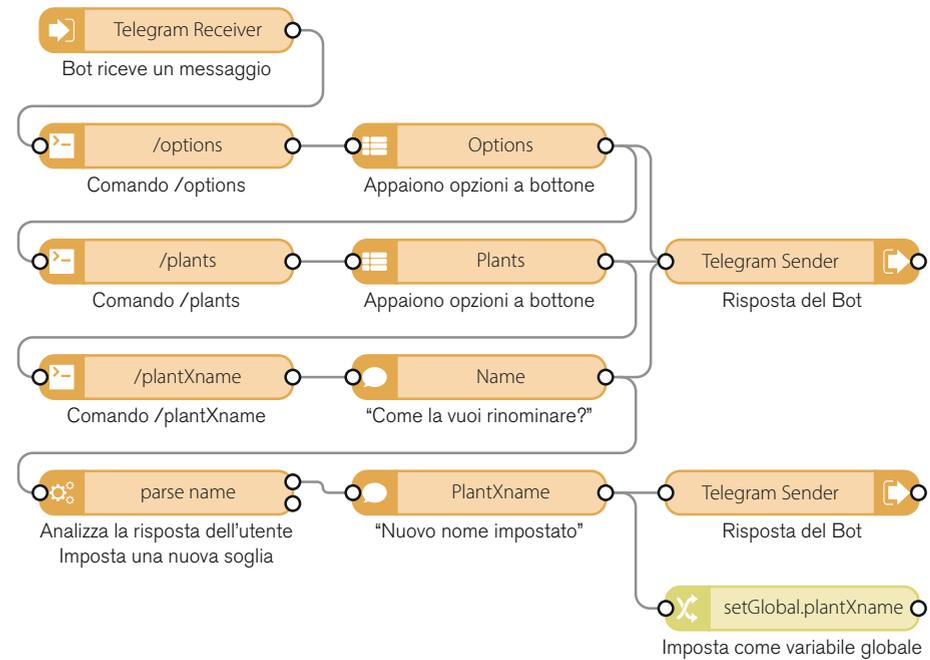
Integrazione del BOT di Telegram all'interno del flusso per l'attivazione o la disattivazione delle notifiche.



Integrazione del BOT di Telegram all'interno del flusso per l'attivazione o la disattivazione dell'irrigazione e l'impostazione della soglia.

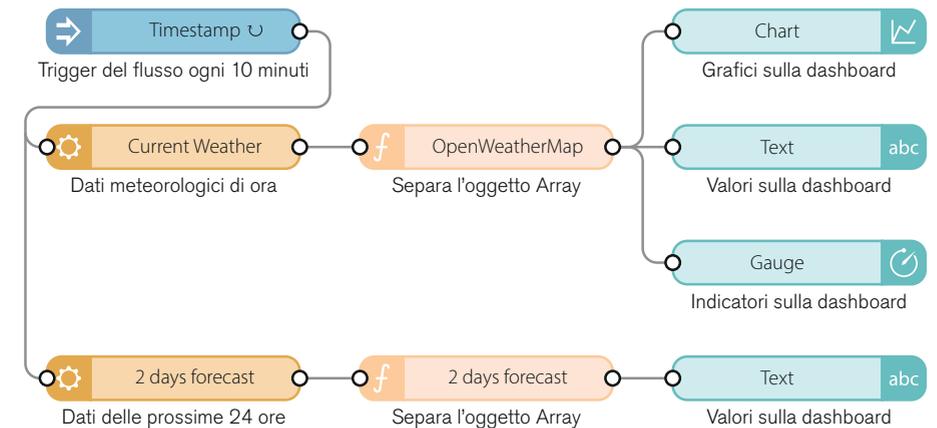


Integrazione del BOT di Telegram all'interno del flusso per la comunicazione dei nomi delle piante.



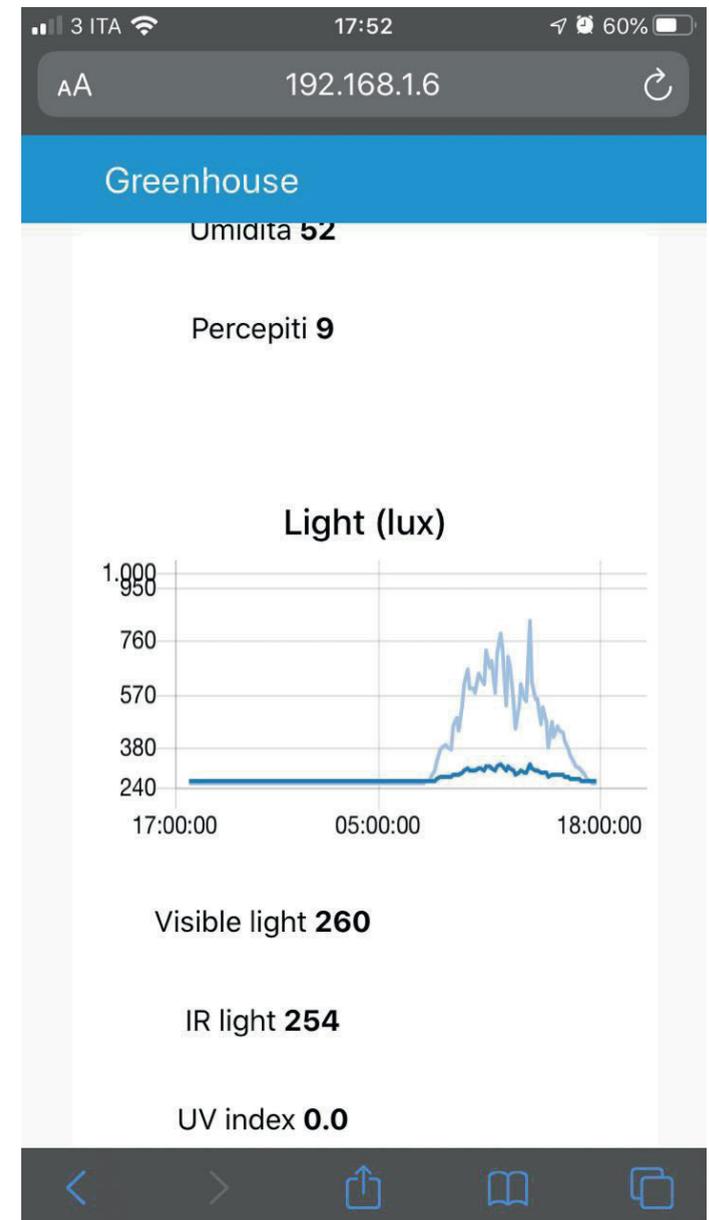
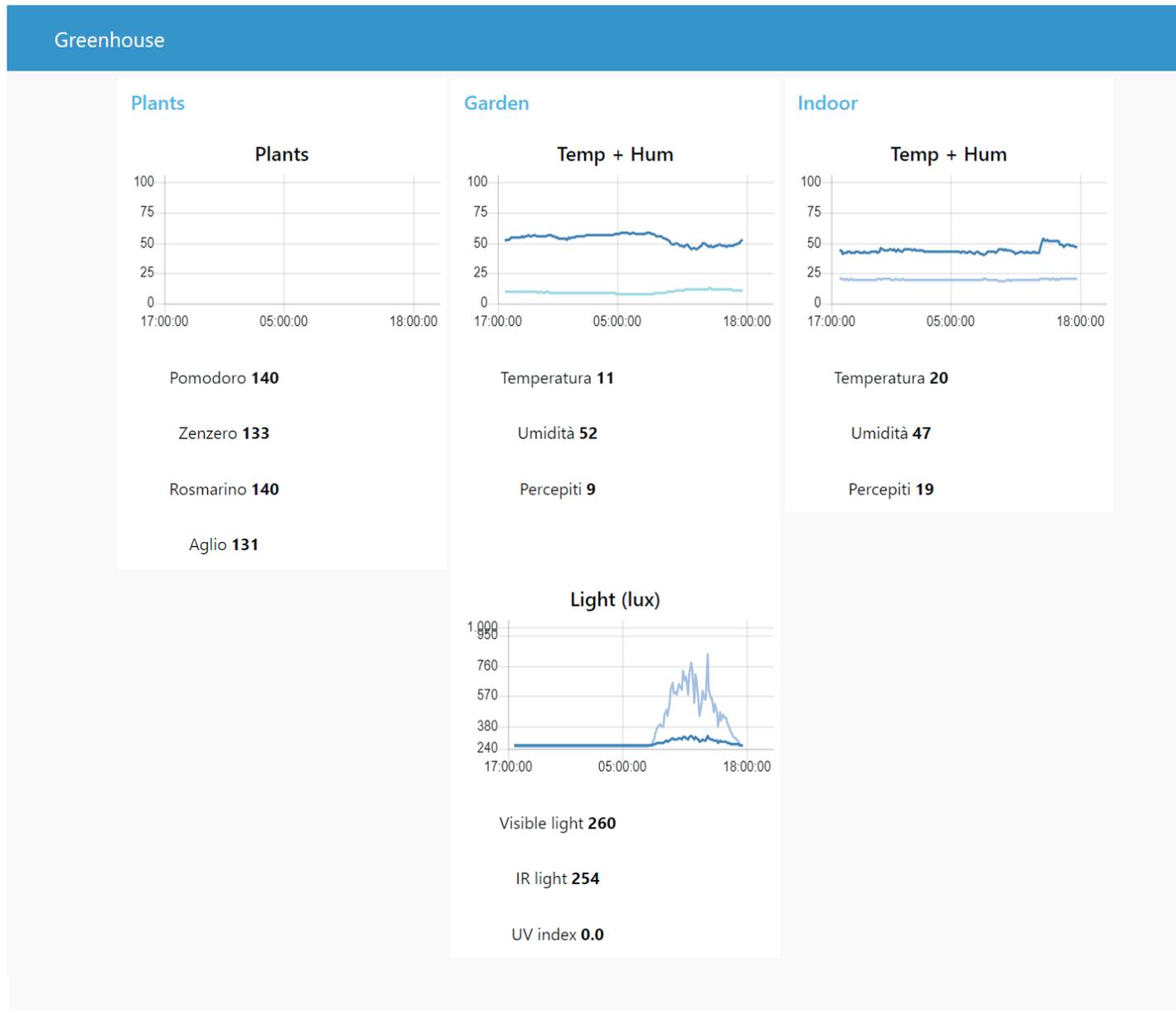
Tramite l'API di OpenWeatherMap è possibile per l'utente accedere ai dati meteorologici e climatici (quali temperatura massima, temperatura minima, temperatura media, umidità dell'aria, pressione barometrica, direzione e intensità del vento e condizioni climatiche) del luogo della propria coltivazione. In vista del fatto che i dati vengono forniti all'utente attraverso un oggetto array, è stato necessario scrivere un codice all'interno di un nodo function in grado di "separare" tutte le informazioni contenute. Lo stesso discorso vale per la parte del flusso che permette all'utente di accedere ai dati delle successive 24 ore. Per quanto riguarda l'intervallo temporale delle previsioni, è stato scelto un orizzonte temporale così ristretto a causa dell'inversa proporzionalità dell'estensione dell'arco temporale delle previsioni e l'accuratezza delle stesse. È possibile comunque estendere quest'arco di tempo a cinque giorni.

Una volta che i dati sono stati "smistati", vengono visualizzati sulla dashboard di Node-RED attraverso i nodi Chart, Gauge e Text.



## 8.3.6 Front-end

Node-RED dashboard



Blynk



268

Telegram



269



270



271

### 8.3.7 Brand Identity

Per la realizzazione del pittogramma rappresentante il progetto, siamo partiti dal concept degli elementi “foglia” per rappresentare l’elemento vegetale, “goccia” per rappresentare un elemento di sostentamento per il vegetale, ed infine l’elemento “loop” per rappresentare le relazioni di scambio all’interno dei sistemi ecologici.

Il pittogramma così ottenuto, è stato utilizzato per la costruzione della lettera “R” del logotipo posizionata centralmente nella parola “Accrocchio” con una colorazione verde tenue, termine utilizzato nella fasi primordiali del progetto come parola inter-nos nell’identificazione delle unità fisiche di monitoraggio e controllo, che in seguito è andata a rafforzarsi come nome identificativo del progetto. Le lettere che compongono il logotipo sono state studiate a partire dalla forma di una circonferenza larga 4x e spessa x/4 con un rapporto di 1/16, mentre gli spazi che le separano sono larghi X.

Per lo studio del colore è stata intenzionale la scelta minimale, sia su sfondo bianco (o trasparente) sia su sfondo scuro, sempre dando risalto alla “R” del pittogramma.

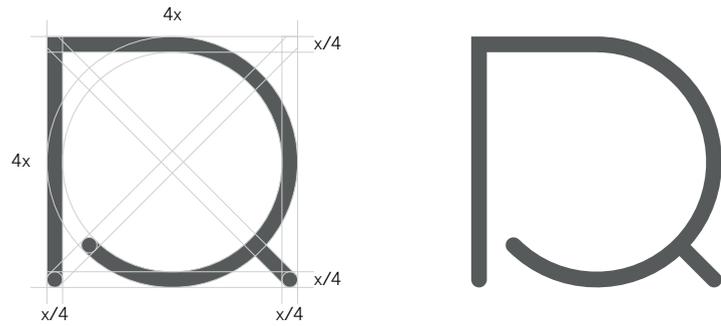
Il marchio così ottenuto, non dovrebbe essere utilizzato mediante la combinazione di pittogramma e logotipo; ed è inciso laser sul pannello frontale in metacrilato dell’Accrocchio Ambiente e dell’Accrocchio Irrigazione, nella sua dimensione minima di 4cm per il lato lungo.



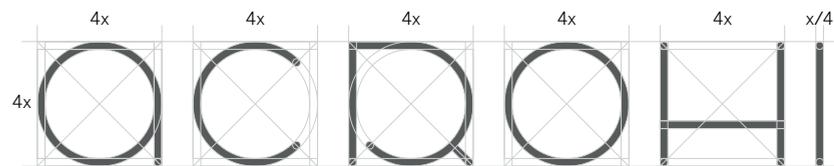
Concept



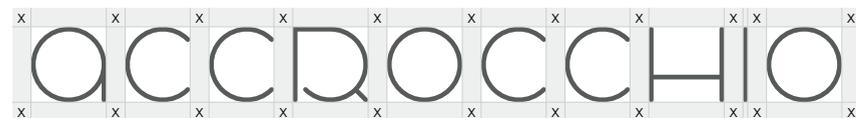
Pittogramma



Lettering



Spacing



Colore

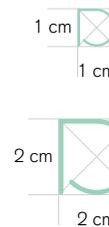
■	R: 96 G: 96 B: 96 #606060	C: 57 M: 47 Y: 46 K: 36
■	R: 160 G: 232 B: 196 #A0E8C4	C: 40 M: 0 Y: 33 K: 0
■	R: 244 G: 244 B: 244 #F4F4F4	C: 5 M: 4 Y: 4 K: 0



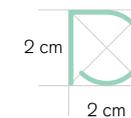
ACCROCCCHIO

ACCROCCCHIO

Dimensioni minime



ACCROCCCHIO  
2 cm



ACCROCCCHIO  
4 cm

## 8.4 B - Piattaforma

Di seguito si propone il framework del front-end della piattaforma collaborativa da interfacciare con il sistema di acquisizione dati e controllo.

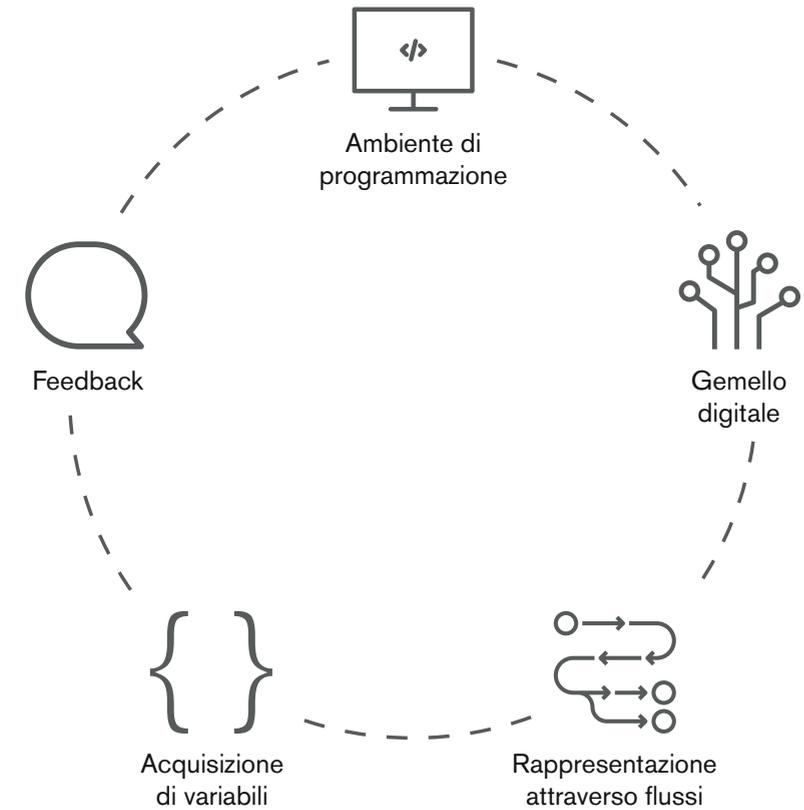
In base alla ricerca svolta finora, infatti, è necessario uno strumento di supporto per l'intento esposto nel concept, che riportiamo:

*“favorire l'emergenza di pratiche agroecologiche, attraverso un sistema cyber-fisico Open Source in grado di acquisire, raccogliere, elaborare, restituire conoscenza, responsabilità e competenze; ed evolvere, specializzandosi, per rispondere ad esigenze contestuali, e anche fornire puntualmente supporto in termini di monitoraggio e controllo per la coltivazione su micro-scala.”*

In particolare è necessaria una piattaforma digitale in grado di accentrare funzioni e conoscenze in un'architettura ordinata in grado di co-evolvere con la community.

La piattaforma quindi ci si prefigge possa svolgere le seguenti funzioni:

- ambiente di programmazione (ciò che nel prototipo viene svolto da Node-RED);
- gemello digitale che permette il monitoraggio ed il controllo del sistema di coltivazione;
- rappresentazione visiva del gemello digitale attraverso una mappatura dei flussi materici, energetici e relazionali;
- acquisizione (sia automatica attraverso sensori, sia manuale tramite interfaccia) di variabili di input, parametri del sistema, variabili di output e funzioni atte a modellizzare il sistema di coltivazione;
- restituzione di conoscenze all'utente tramite feedback;



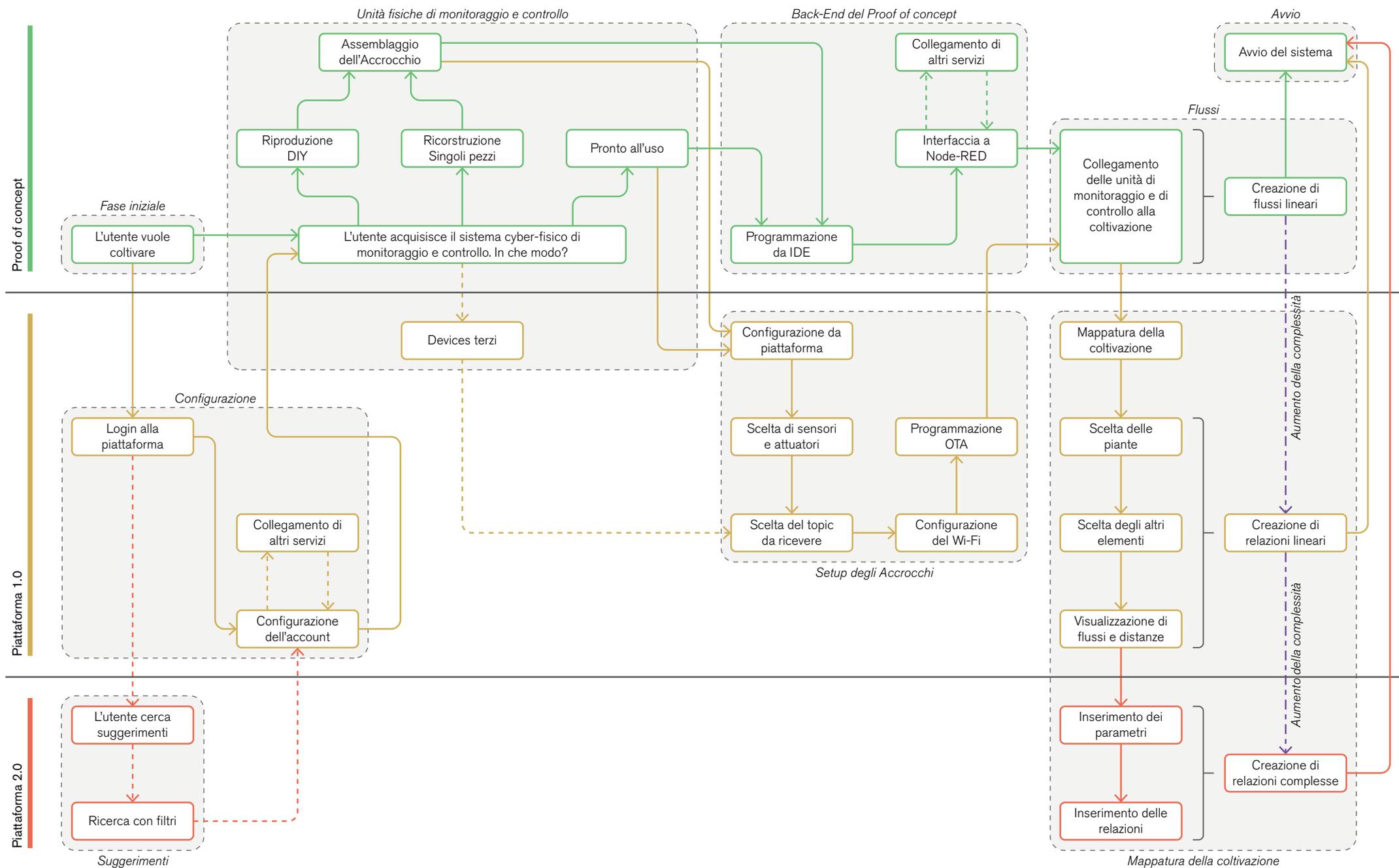
### 8.4.1 Use Case

Si vuole descrivere l'uso delle interazioni tra utente, i sistemi elettronici, il sistema di coltivazione e la piattaforma attraverso diagrammi di sequenza.

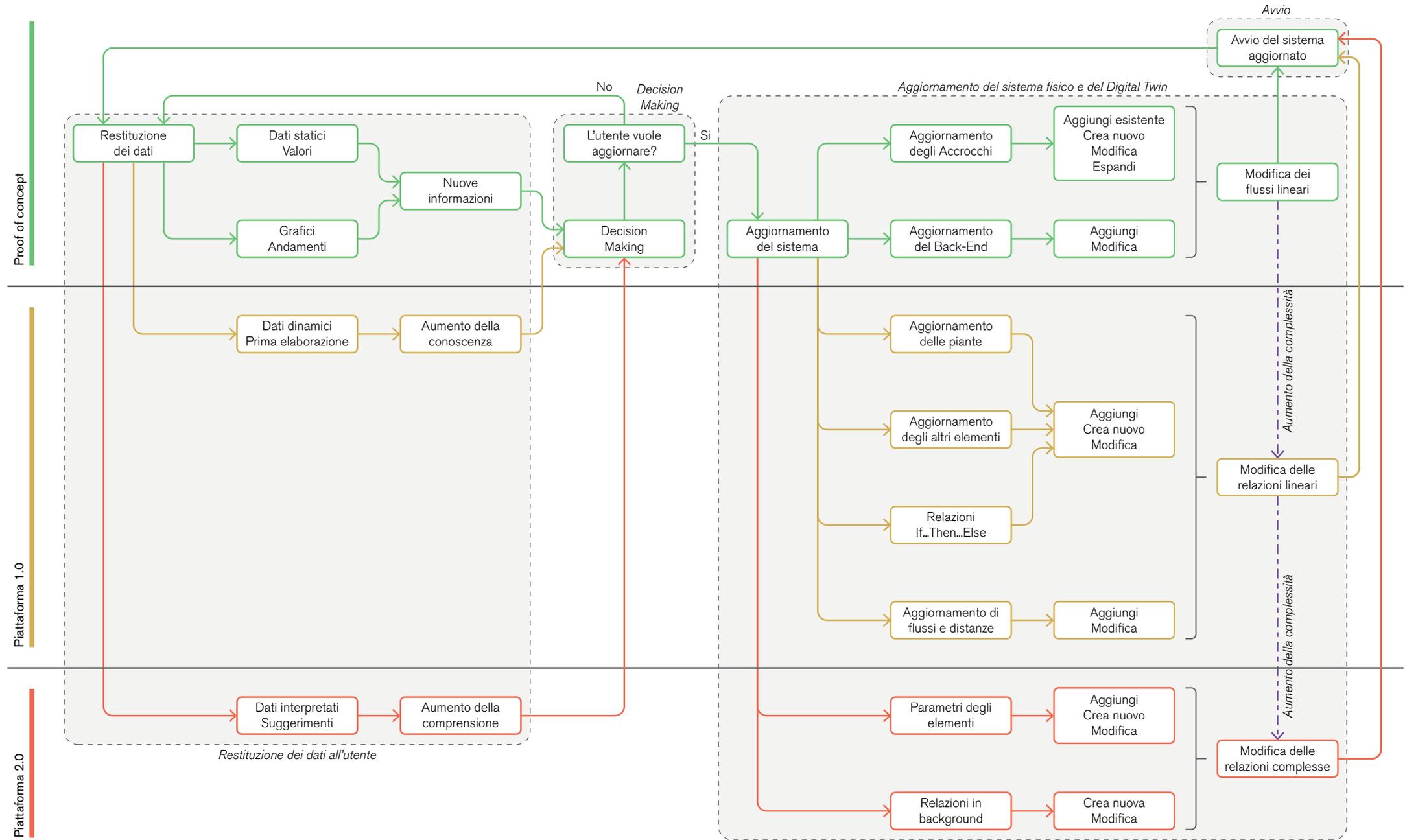
Con "proof of concept" si intendono quell'insieme di processi presenti anche nel prototipo documentato; mentre "piattaforma 1.0 e 2.0" indicano i due successivi step atti allo sviluppo previsto.

N.B. avendo caratterizzato il sistema cyber-fisico raffigurato come un sistema in grado di evolvere in varie direzioni, quanto segue non può essere previsto con certezza; infatti è, ai limiti delle competenze degli autori di questa tesi, ciò che ci si augura di attuare stando all'analisi svolta.

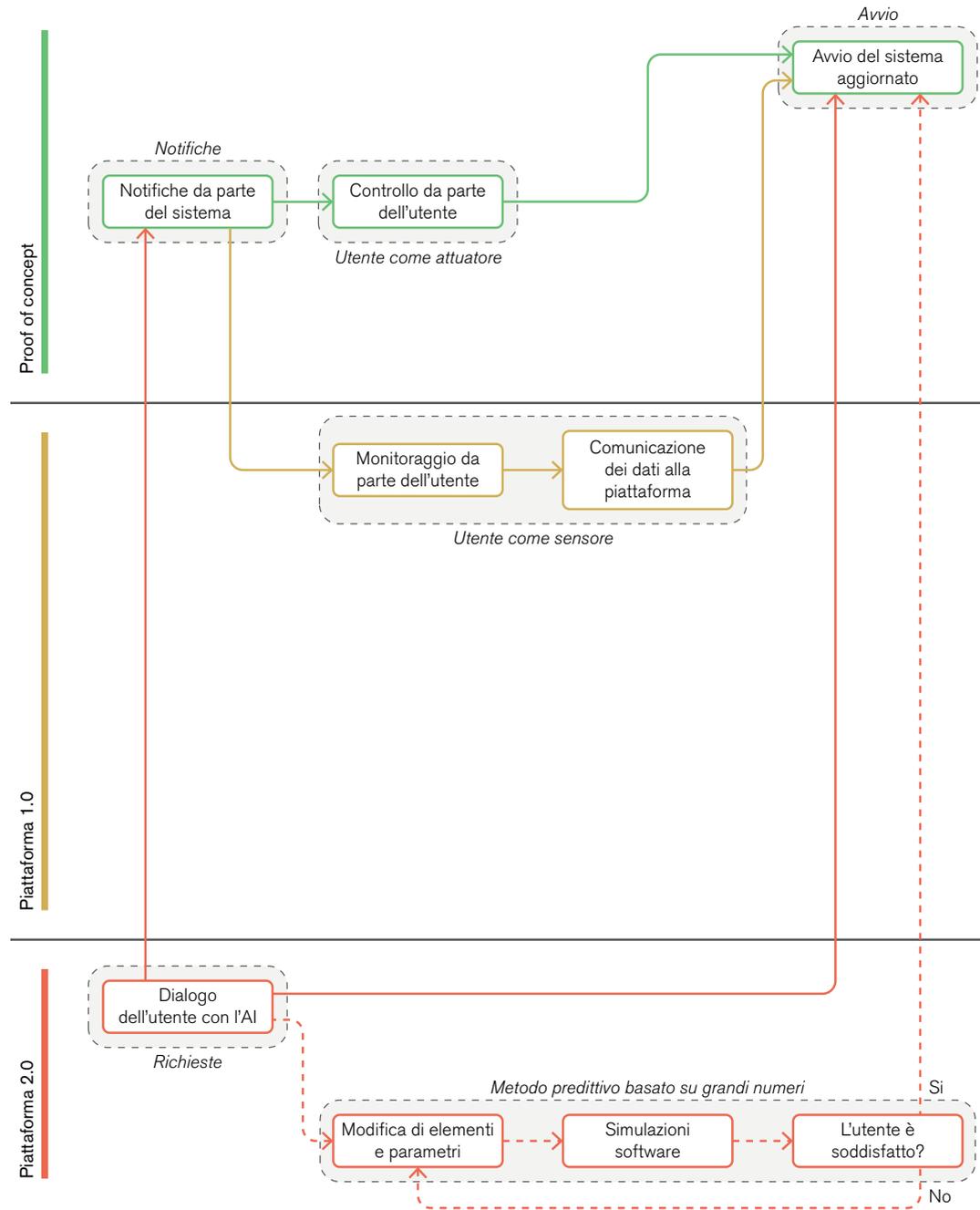
# Fase di configurazione



# Fase di utilizzo



# Fase di interazione



## 8.4.2 Use Journey

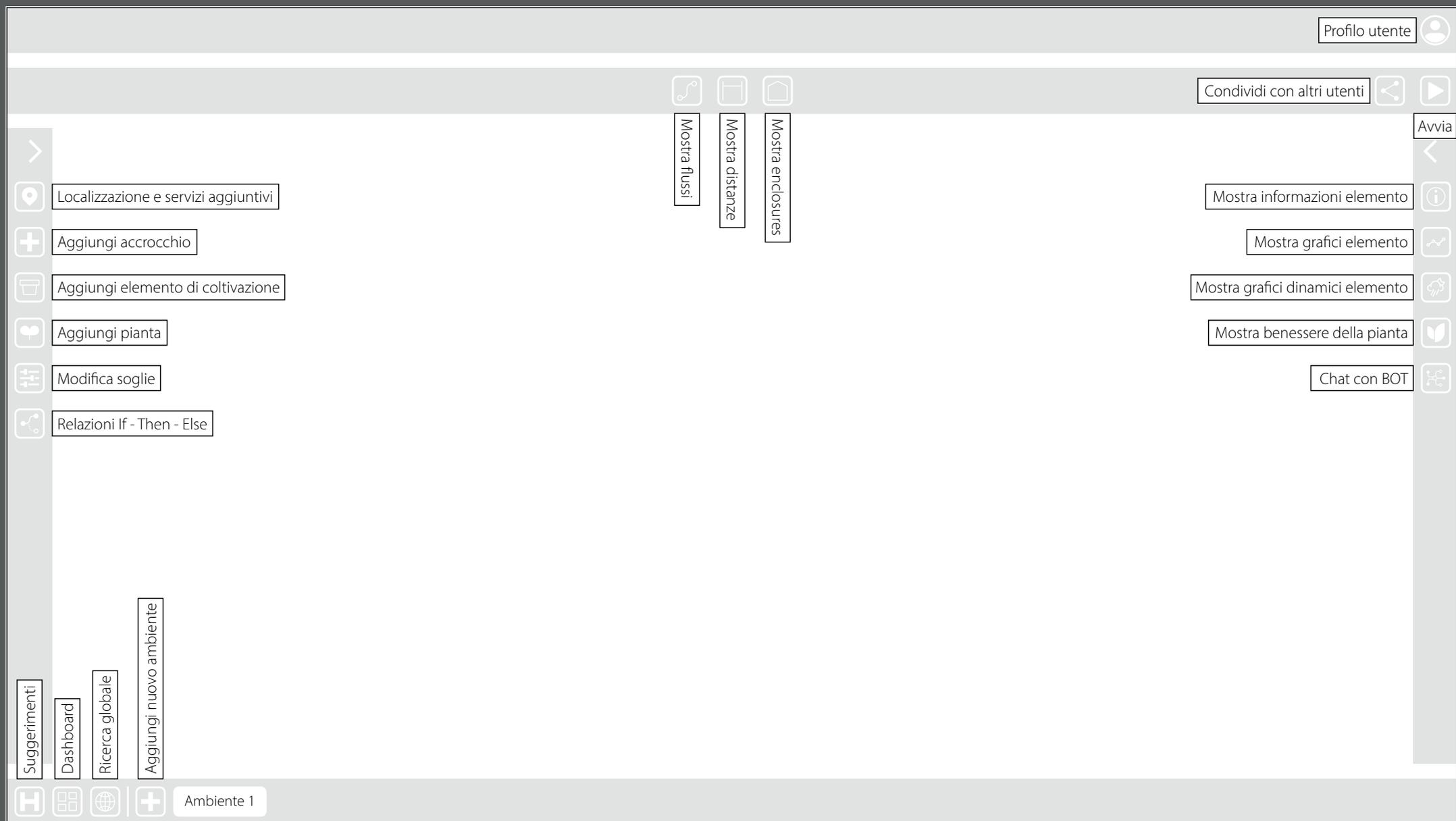
Lo strumento del caso d'uso ha permesso di delineare il framework della piattaforma, proposto di seguito, attraverso una visualizzazione per step del processo di interazione con l'utente.

*Framework generale della piattaforma*

(1920 x 1080 px)



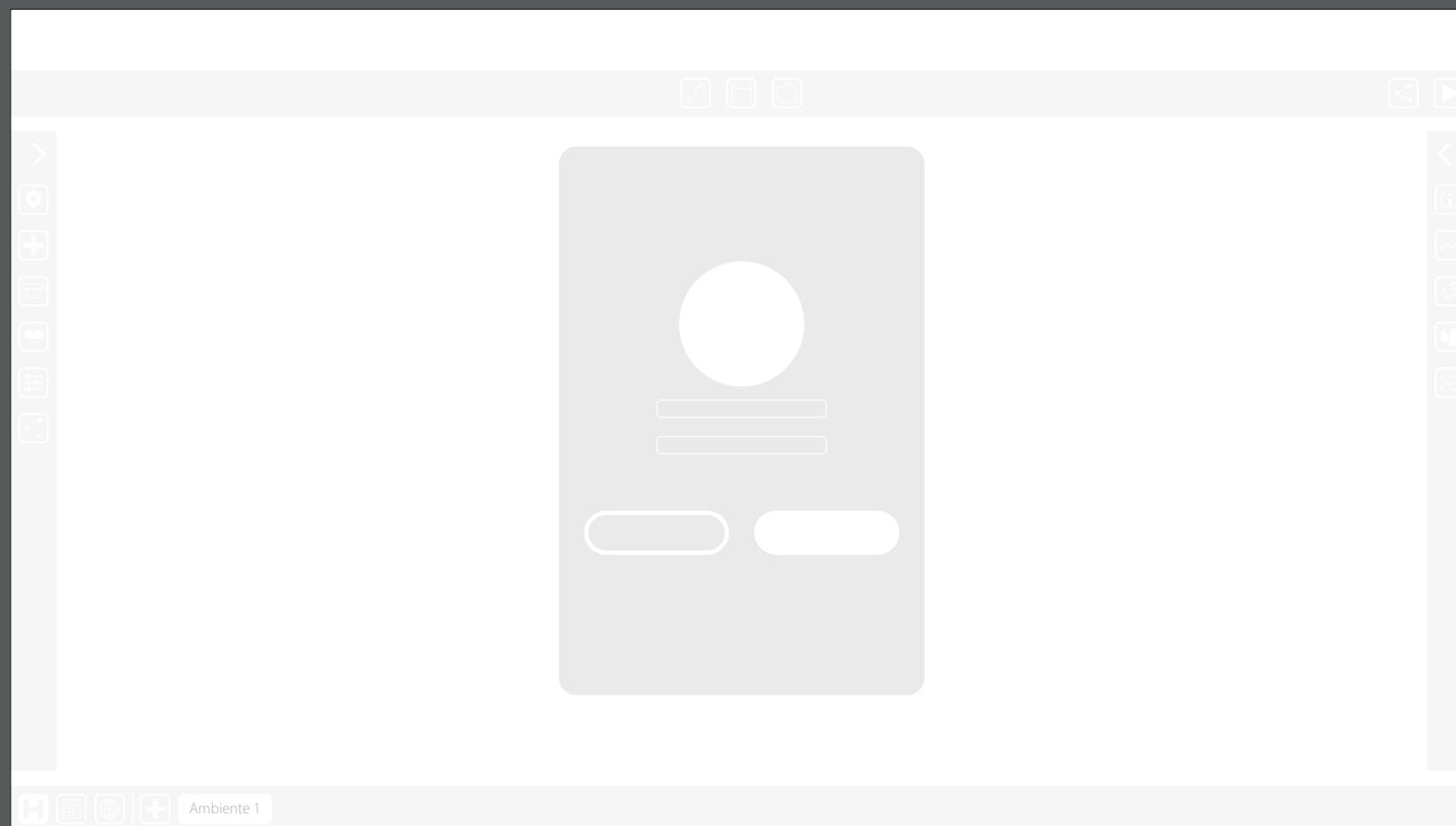
Elementi della piattaforma



## 0. Login

Prima schermata della piattaforma. L'utente ha la possibilità di creare un nuovo account, o di accedere con un account creato precedentemente.

Una volta creato un nuovo account, viene subito creata un'area di lavoro vuota, nella quale in seguito l'utente ha la possibilità di ricreare il proprio ambiente di coltivazione.



## 1. Suggerimenti

In questa sezione, selezionabile tramite il bottone "Suggerimenti" della barra inferiore, l'utente può decidere se accedere ai suggerimenti da parte della piattaforma: tramite una ricerca del metodo di coltivazione al quale l'utente tende attraverso l'inserimento di parole chiave e filtri, si arriva alle configurazioni delle coltivazioni che altri utenti hanno scelto di condividere, in una classifica basata sul rating e sulle recensioni da parte della community.

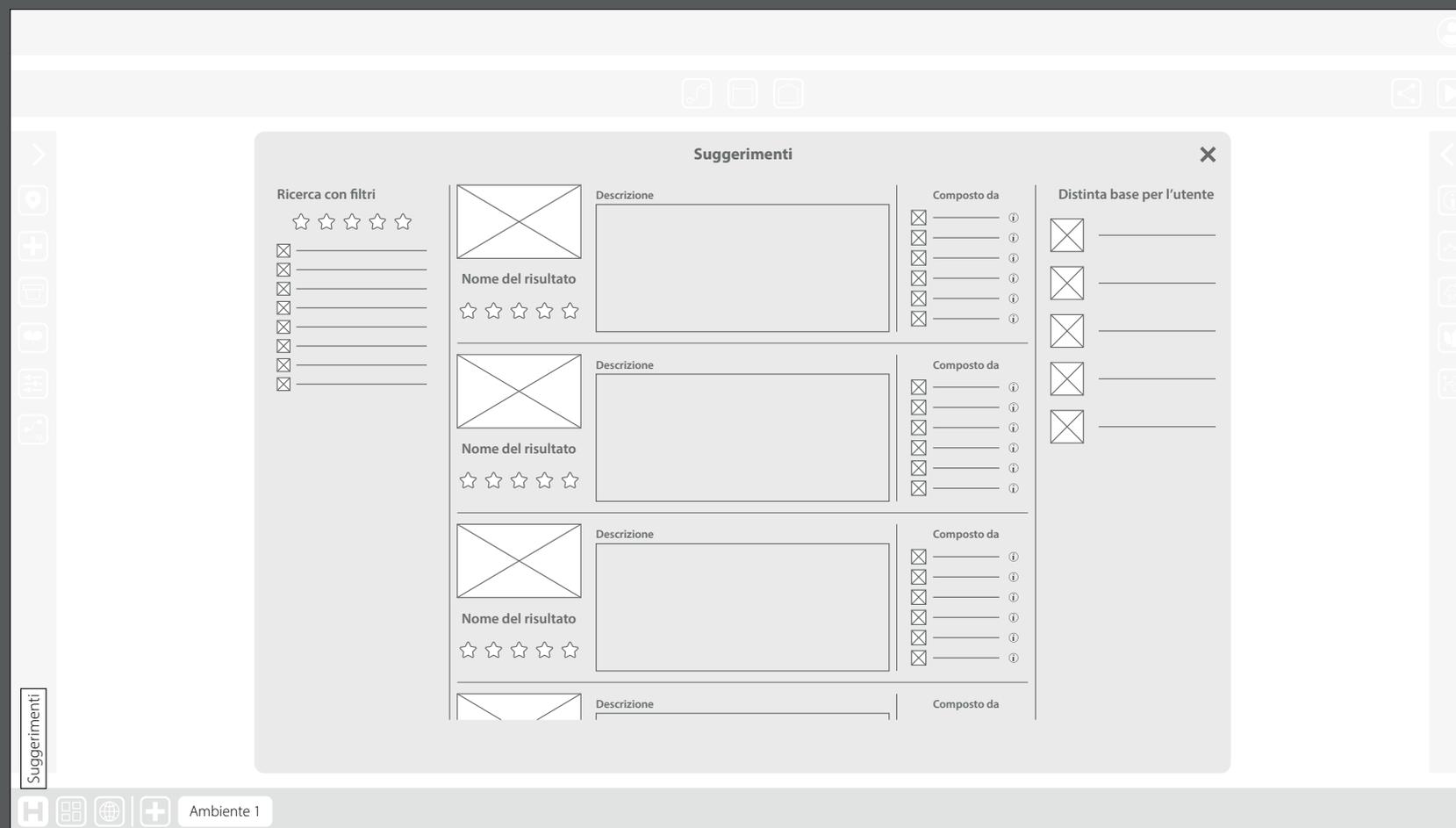
L'utente, una volta che decide di visualizzare una coltivazione di un altro utente, accede alla informazioni che caratterizzano quella coltivazione, ad esempio:

Sistema di monitoraggio / controllo utilizzato

- Piante coltivate
- Setup fisico della coltivazione
- Distinta base degli elementi di coltivazione (eventualmente con i link ai marketplace)
- Documentazione
- Preventivo per la realizzazione
- ...

L'utente ha quindi la possibilità di creare una propria "lista della spesa" con tutto quello di cui ha bisogno.

L'utente può eventualmente decidere di non accedere a questa sezione.



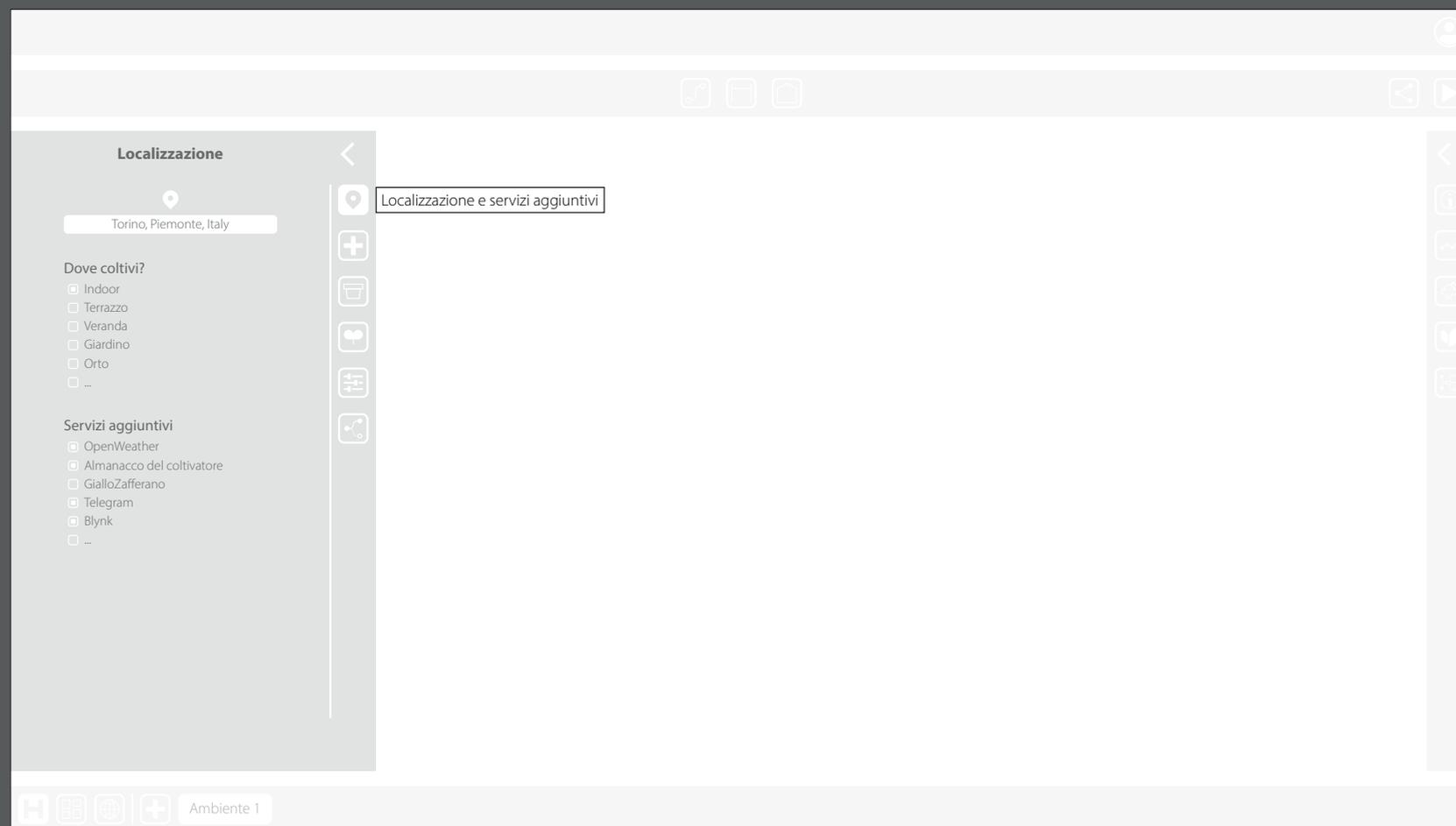
## 2. Preconfigurazione

Nella fase di preconfigurazione, accessibile dal menù a scomparsa sulla sinistra, sotto la voce “Localizzazione e servizi aggiuntivi”, l'utente comunica alla piattaforma il luogo geografico della propria coltivazione (nel rispetto della privacy, il luogo non sarà identificato con precisione ma entro un raggio ipotetico di localizzazione) in modo da poter includere nelle relazioni servizi aggiuntivi forniti da terze parti, come ad esempio i dati sul monitoraggio ambientale di OpenWeatherMap.

Può anche inserire la parte della casa in cui coltiva, in modo che la piattaforma sia abilitata alla regolazione delle relazioni tra i vari flussi: ad esempio

una coltivazione sul balcone o in un orto deve tenere conto anche della direzione e dell'intensità del vento, a differenza di una coltivazione all'interno di una veranda coperta o all'interno di una stanza.

In seguito, l'utente è in grado di collegare alla piattaforma anche servizi di terze parti, come ad esempio l'app di messaggistica Telegram per interagire con la piattaforma, oppure l'Almanacco del Coltivatore per accedere a delle librerie con dei parametri ambientali consigliati per molte piante.

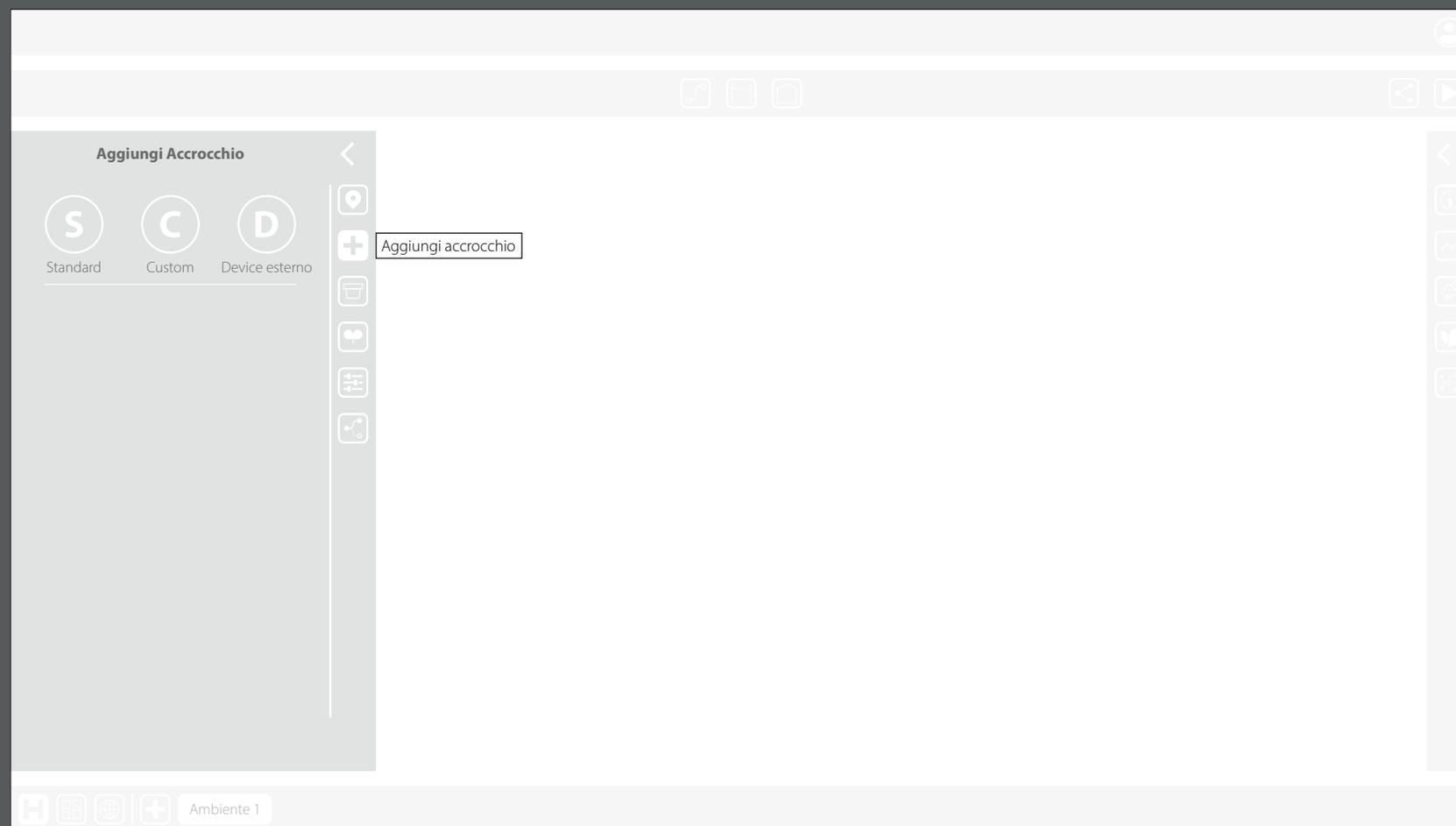


### 3. Accrocchio

Una volta che l'utente ha ottenuto il proprio device in grado di monitorare ed eventualmente controllare i parametri ambientali di coltivazione, lo programma, carica il codice, e lo configura all'interno della piattaforma attraverso la barra a scomparsa sulla sinistra, scegliendo la voce "Aggiungi Accrocchio".

L'utente è in grado di scegliere tra:

- Accrocchi standard, ovvero uno dei moduli progettati, con le funzioni standard
- Accrocchi custom, ad esempio un modulo riprodotto, oppure un modulo standard con dei sensori o degli attuatori aggiuntivi non previsti nella configurazione originale, oppure un device derivato da Accrocchio
- Device esterni, open o proprietari, forniti da terze parti



### 3.1. Accrocchi custom

Se l'utente sceglie di utilizzare un modulo riprodotto, oppure un modulo standard con dei sensori o degli attuatori aggiuntivi non previsti nella configurazione originale, oppure un device derivato da Accrocchio, lo configura tramite l'inserimento in determinati campi delle informazioni richieste.

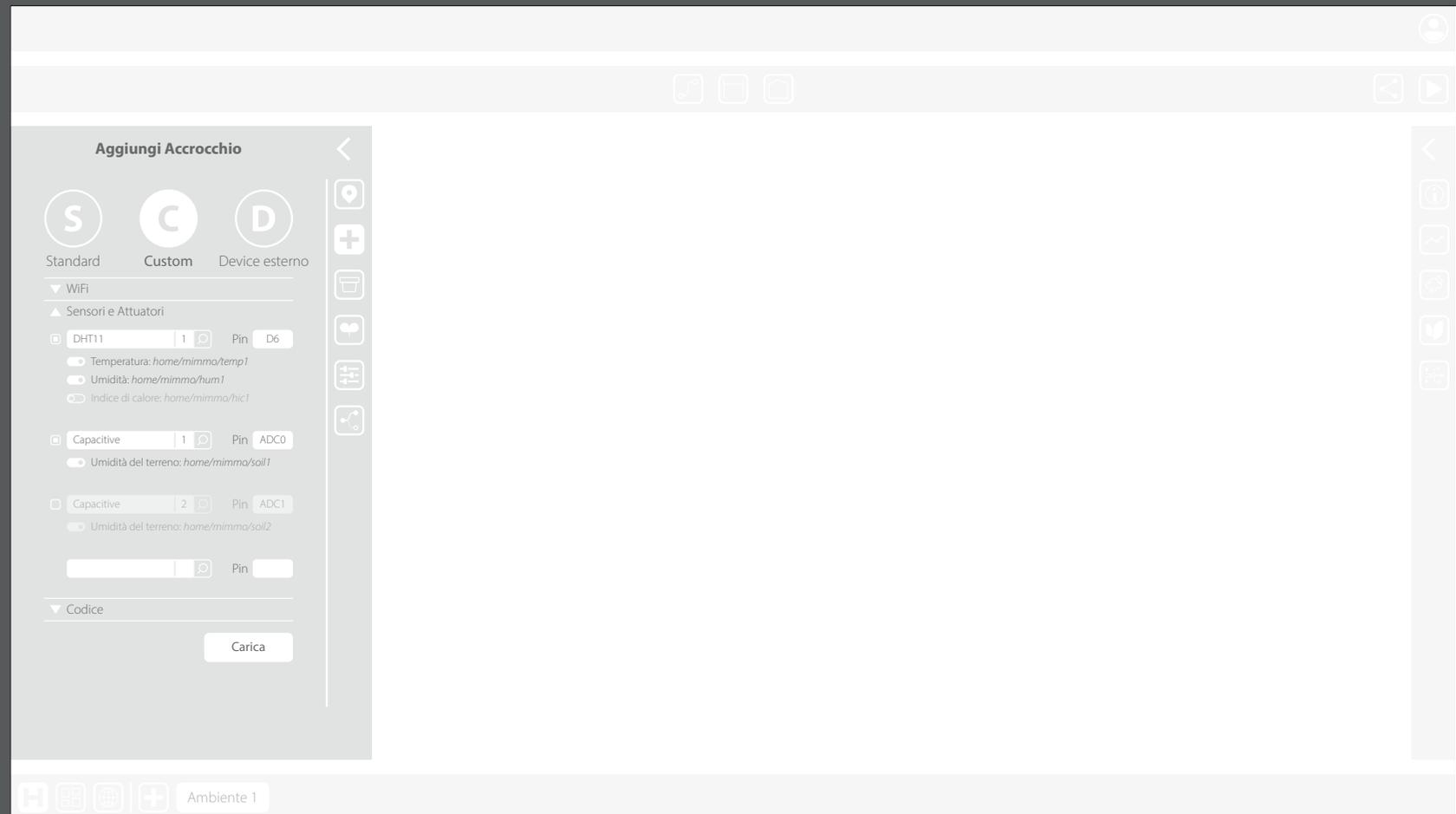
In primo luogo inserisce le informazioni riguardanti la connessione Wi-Fi, in modo da abilitare il dispositivo come IoT device ed abilitare, successivamente, le modalità di aggiornamento Over The Air.

Successivamente sceglie i sensori e/o gli attuatori collegati tramite un menù a tendina, dove come risultati appaiono sia i componenti standard, sia quelli più particolari creati e condivisi dagli altri utenti, e classificati anch'essi attraverso una classifica di ranking e recensioni. Dopo aver scelto i sensori

comunica il pin ai quali questi sono connessi, e visualizza ed in seguito sceglie (attraverso uno switch) i dati che il sensore è in grado di restituire, con la generazione di un topic MQTT necessario alla trasmissione del dato via Wi-Fi. Nel caso di sensori, attuatori, o topic MQTT doppi, la piattaforma provvede in automatico a fornire una numerazione progressiva in modo da differenziare sia l'invio che la ricezione del dato.

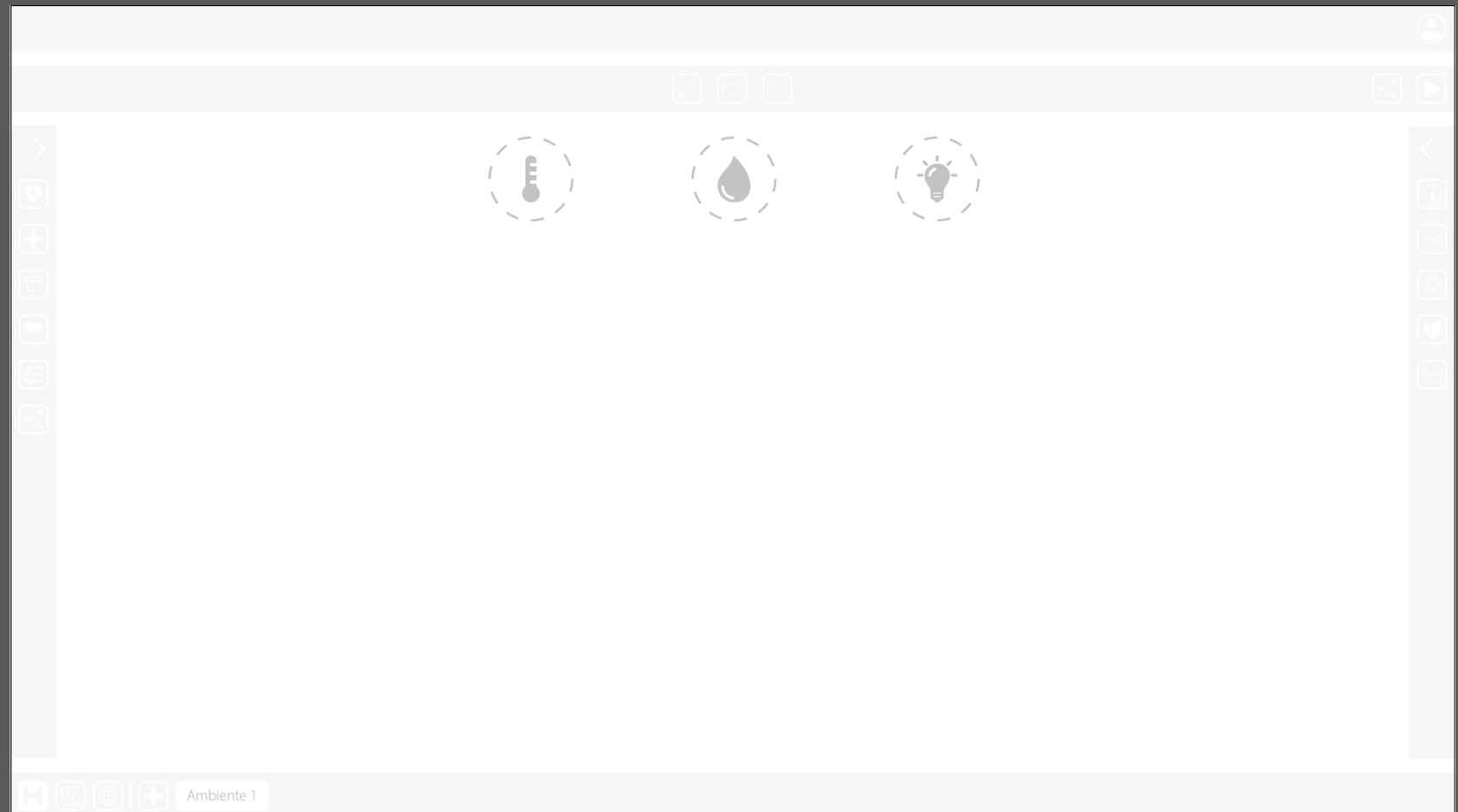
Viene generato un codice a partire dalle scelte dell'utente, il quale può eventualmente essere modificato manualmente.

Una volta che l'utente ha programmato il dispositivo come più gli aggrada, procede al caricamento del codice, o via cavo o tramite una programmazione Over The Air.



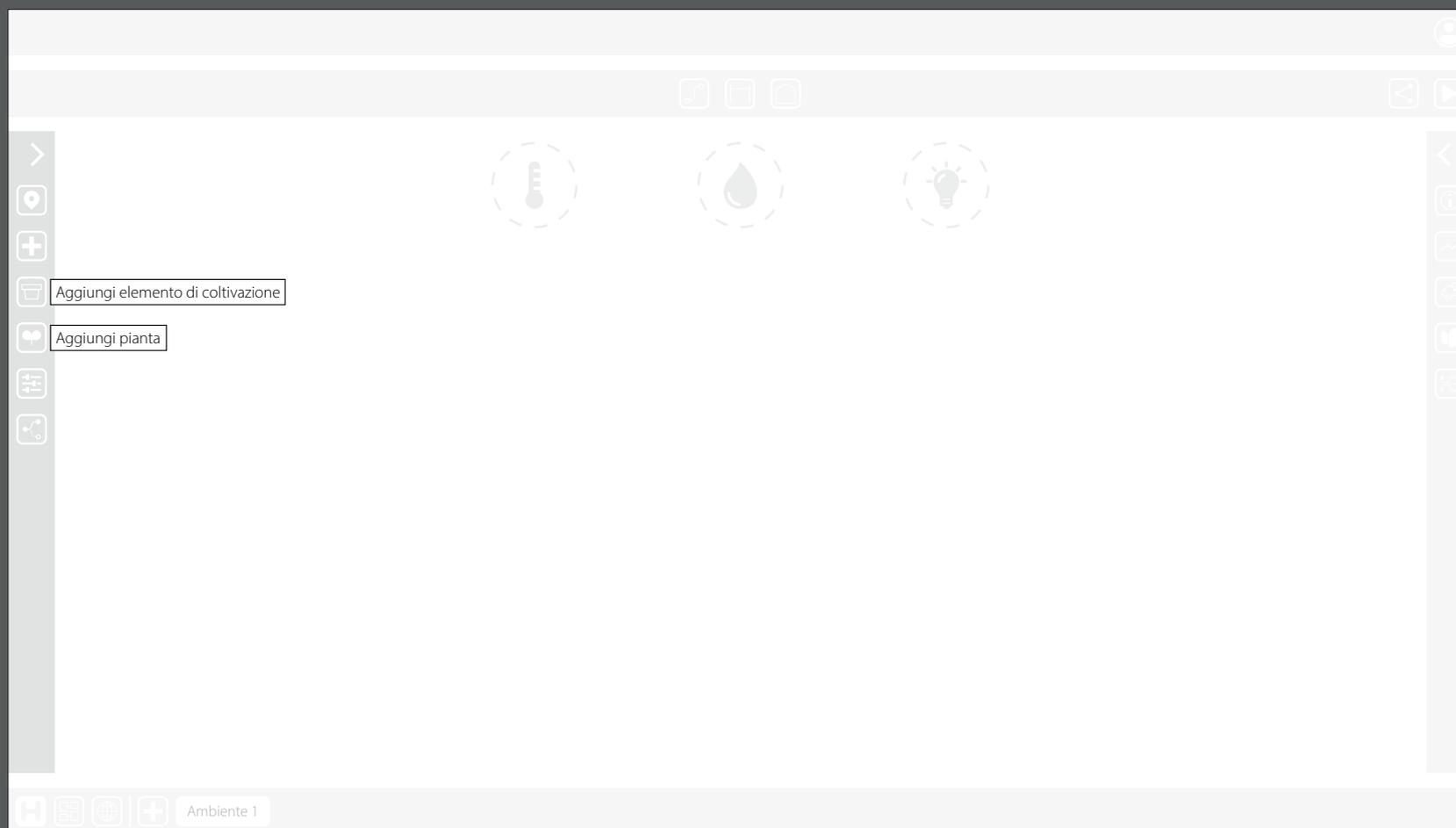
### 3.2. Inserimento dei sensori

Una volta caricato il codice, i sensori e gli attuatori scelti per il dispositivo connesso via Wi-Fi vengono visualizzati all'interno dell'area di lavoro. L'utente è così in grado di avere un feedback visivo degli elementi che monitorano le condizioni ambientali.



#### 4. Creazione del modello di coltivazione

Accedendo dalla sidebar sinistra, è possibile per l'utente inserire nell'area di lavoro elementi da interconnettere al fine di riprodurre, attraverso la mappatura, il suo sistema di coltivazione: processo di creazione del gemello digitale o mirroring.



#### 4.1. Elementi di coltivazione

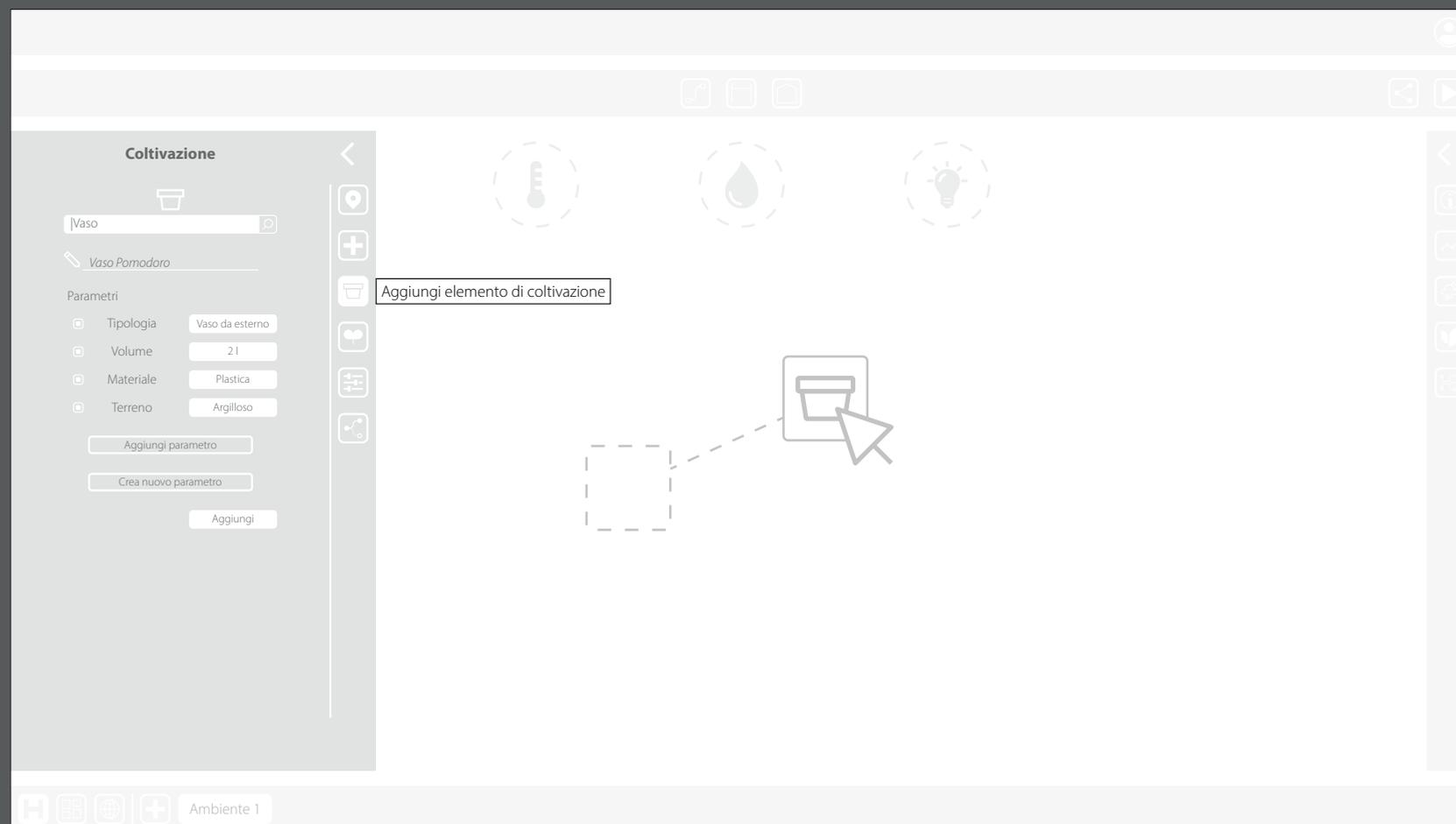
La fase nella quale l'utente ricrea il proprio sistema di coltivazione inizia quando l'utente accede, tramite il menù a scomparsa sulla sinistra, alla voce "Coltivazione", attraverso la quale è possibile scegliere da librerie ed inserire nell'area di lavoro tutti gli elementi non vegetali che compongono una coltivazione, in modo da andare a ricreare in digitale il proprio setup fisico.

L'utente può scegliere un elemento già disponibile creato da altri coltivatori tramite un menù di ricerca, oppure può creare uno a partire da zero: in questo caso è l'utente che comunica alla piattaforma le caratteristiche degli elementi, scegliendo dei parametri dell'elemento a lui noti, ed il corrispondente dato in modo da creare un elemento personalizzato, ad esempio:

- Tipologia: vaso da esterno
- Volume: 2l
- Materiale: plastica
- ...

Gli utenti possono inoltre creare dei nuovi parametri per la categorizzazione degli elementi, scegliendo anche le relazioni e i modelli matematici che si andranno a creare tra gli elementi di coltivazione e i parametri che li caratterizzano.

Una volta che l'utente è soddisfatto, aggiunge l'elemento all'area di lavoro, dalla quale è in grado di posizionarlo attraverso un'azione Drag&Drop.



## 4.2. Piante

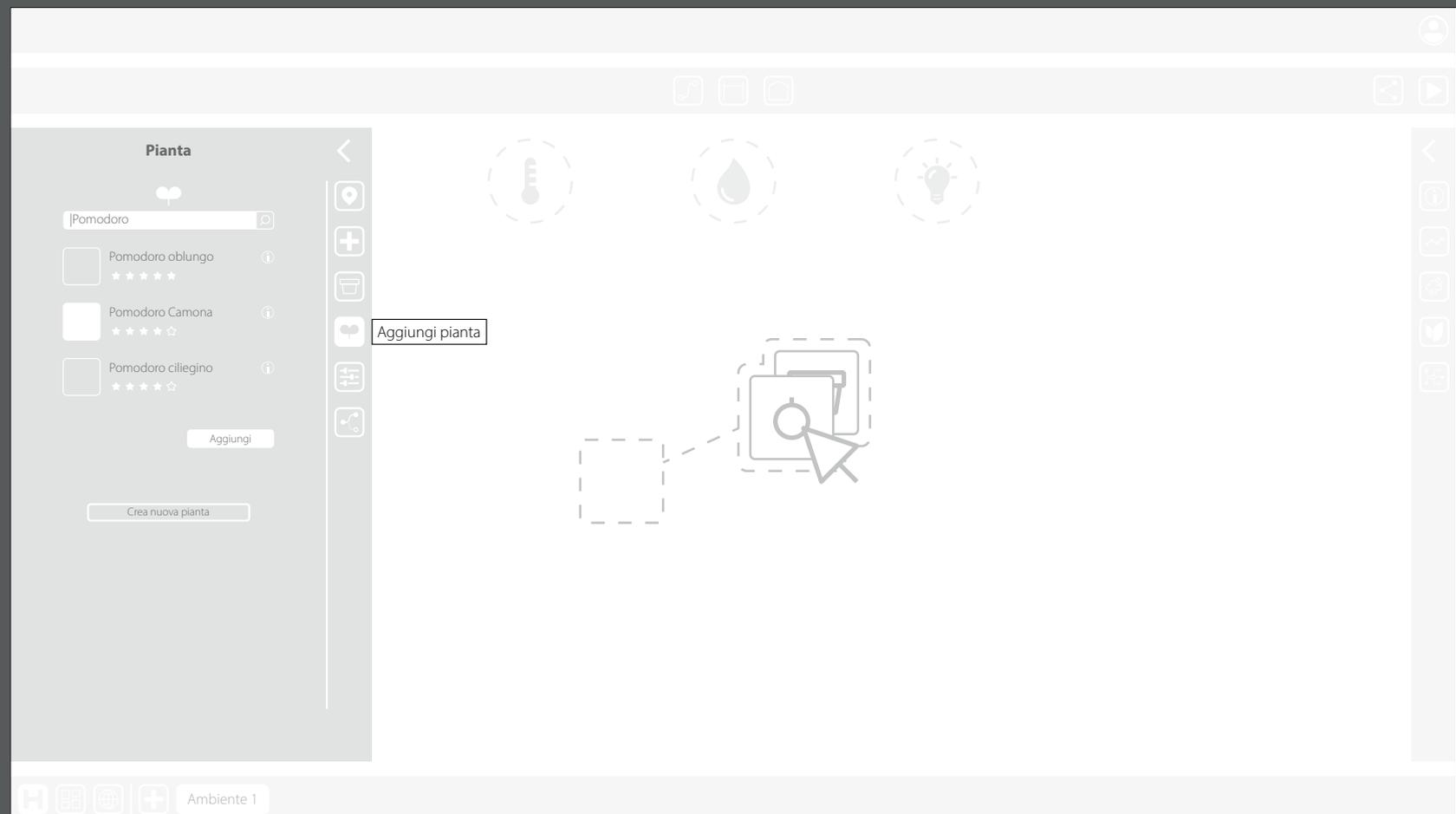
Una volta che l'utente ha inserito un elemento che compone parte della sua coltivazione, ad esempio un vaso, può inserire un elemento correlato, ad esempio la pianta contenuta, tramite la barra a scomparsa sulla sinistra sotto la voce "Pianta": attraverso questa voce, l'utente è in grado di scegliere ed inserire nell'area di lavoro gli elementi vegetali che compongono la propria coltivazione.

L'utente è in grado, come in questo caso, di cercare e scegliere una delle piante già disponibili nel database della piattaforma oppure in un database esterno, aggiunto tramite i servizi aggiuntivi collegati in precedenza, come ad esempio l'Almanacco del Coltivatore, in modo da accedere alle informazioni sulle condizioni di benessere della pianta a partire dalle condizioni ambientali

della propria coltivazione.

Una volta che l'utente ha scelto e creato la pianta, questa viene generata all'interno dell'area di lavoro, e l'utente la posiziona attraverso un'azione Drag&Drop sull'icona dell'elemento di coltivazione che la ospita, in modo da creare una relazione tra i due elementi.

I risultati che l'utente riceve tramite la barra di ricerca, possono essere personalizzati e influenzati a partire dalle azioni compiute durante la fase "Suggerimenti".



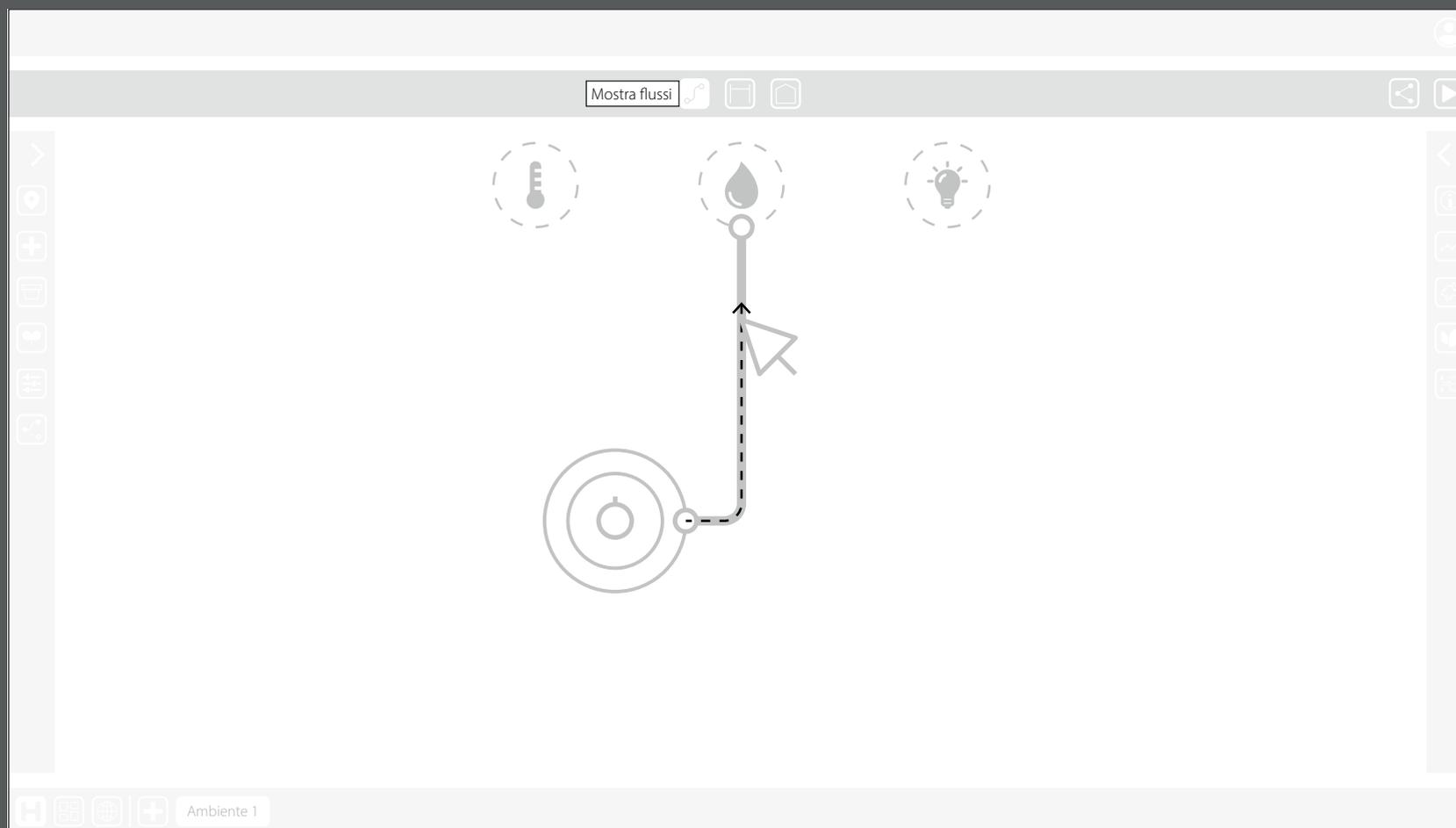
### 4.3. Flussi

Quando gli elementi virtuali mappati sono abilitati al collegamento con altri elementi, è possibile creare delle relazioni in modo che, attraverso un'azione Drag&Drop da un nodo all'altro, l'utente possa essere in grado di ricreare i flussi che collegano i vari elementi presenti nell'area di lavoro, avendo una rappresentazione visiva del flusso creato.

Se uno degli elementi che sono in questo modo collegati viene spostato, la relazione rimane comunque visibile e si adatta alla nuova posizione degli elementi.

È possibile accendere o spegnere questo tipo di visualizzazione tramite la voce "Mostra flussi" presente nella barra superiore.

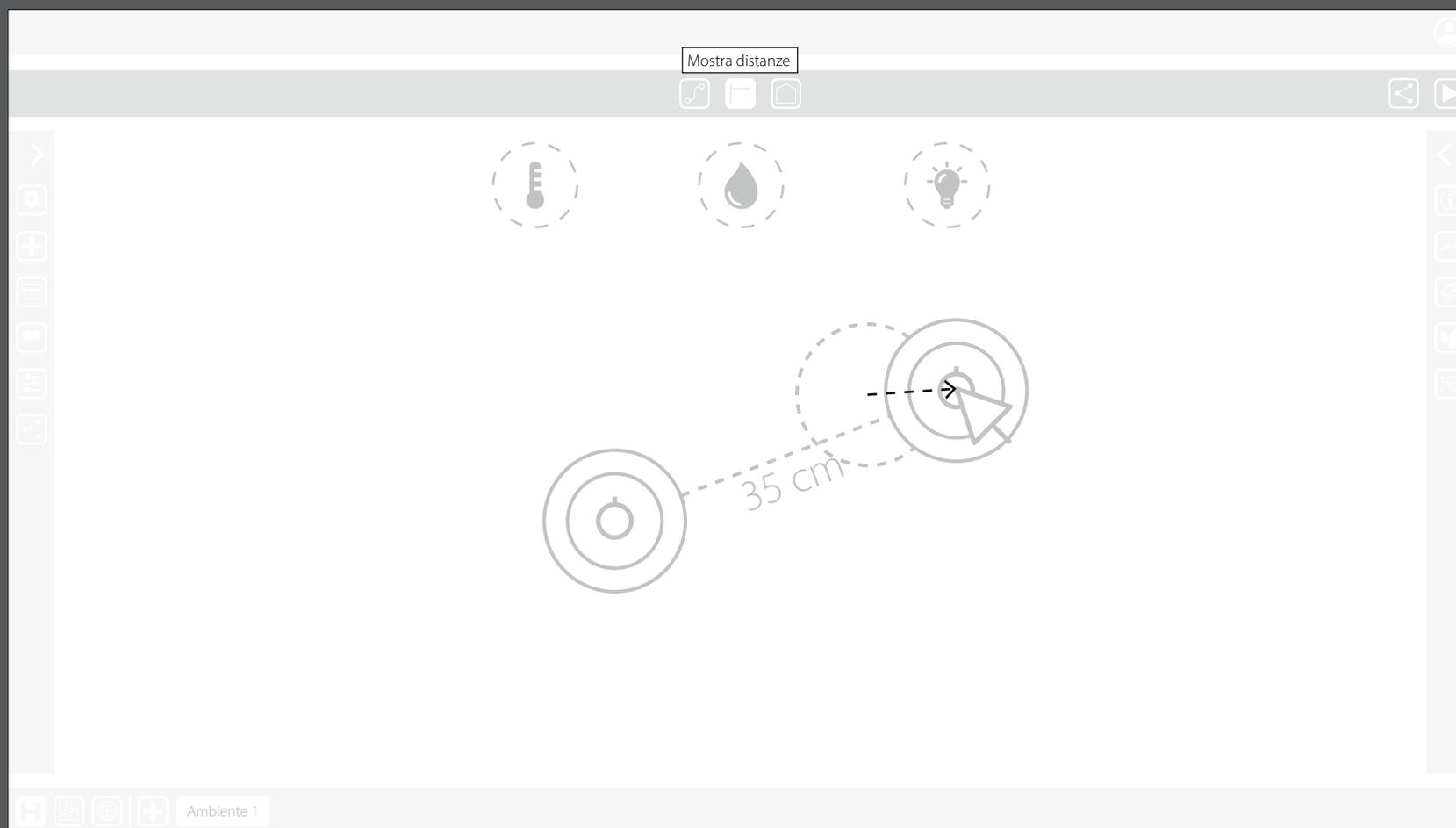
I sensori che misurano le condizioni ambientali dell'aria, come ad esempio la temperatura, la qualità e l'umidità relativa, sono già mappati in fase di inserimento.



#### 4.4. Distanze

È possibile per l'utente modificare la posizione e le distanze tra gli elementi che vanno a formare il proprio ambiente di coltivazione, attraverso un'azione Drag&Drop dell'elemento. L'utente è in grado di visualizzare la distanza tra gli elementi accendendo il layer di visualizzazione accessibile alla voce "Mostra distanze" presente nella barra superiore e, attraverso questa barra, è in grado di modificare le distanze tra i vari elementi agendo sulla modifica del valore: utilizzando una sola distanza come parametro tra due elementi, la piattaforma traccia una serie di circonferenze, e attraverso i punti di intersezione di queste, è in grado di trilaterare la distanza tra tutti gli elementi.

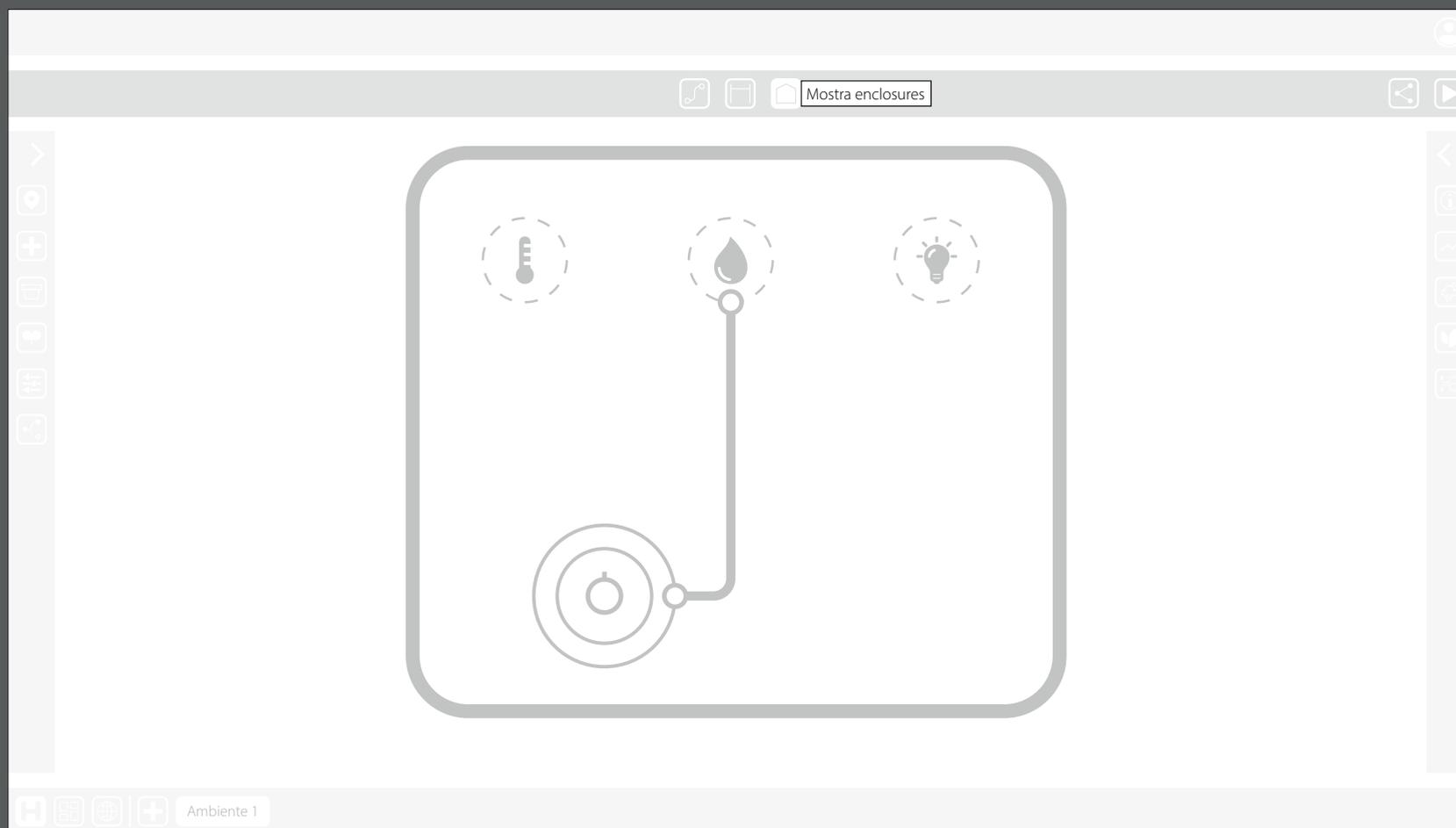
Nonostante la distanza tra gli elementi possa sembrare un parametro relativamente poco influente nella coltivazione, è utile al sistema che, tenendo conto di più variabili, è così in grado di elaborare un modello più accurato.



#### 4.5. Limiti del sistema

L'ultima voce della barra superiore, la voce "Mostra enclosures", permette all'utente di visualizzare i limiti delle condizioni ambientali e le enclosures che dividono in proprio sistema di coltivazione dall'esterno, e dai relativi flussi ambientali: ad esempio in un growbox, sono trascurabili gli scambi con l'esterno di umidità relativa dell'aria, di calore e di luce, mentre se la coltivazione è all'interno di una stanza, questa non sarà a sistema con la direzione e la velocità del vento.

Questo tipo di visualizzazione, infine, permette di spostare gli elementi da un ambiente ad un suo sottoinsieme, o viceversa: ad esempio dall'interno di un growbox all'interno di una stanza, o dall'interno di una stanza all'esterno, andando quindi a definire i limiti del sistema considerati.

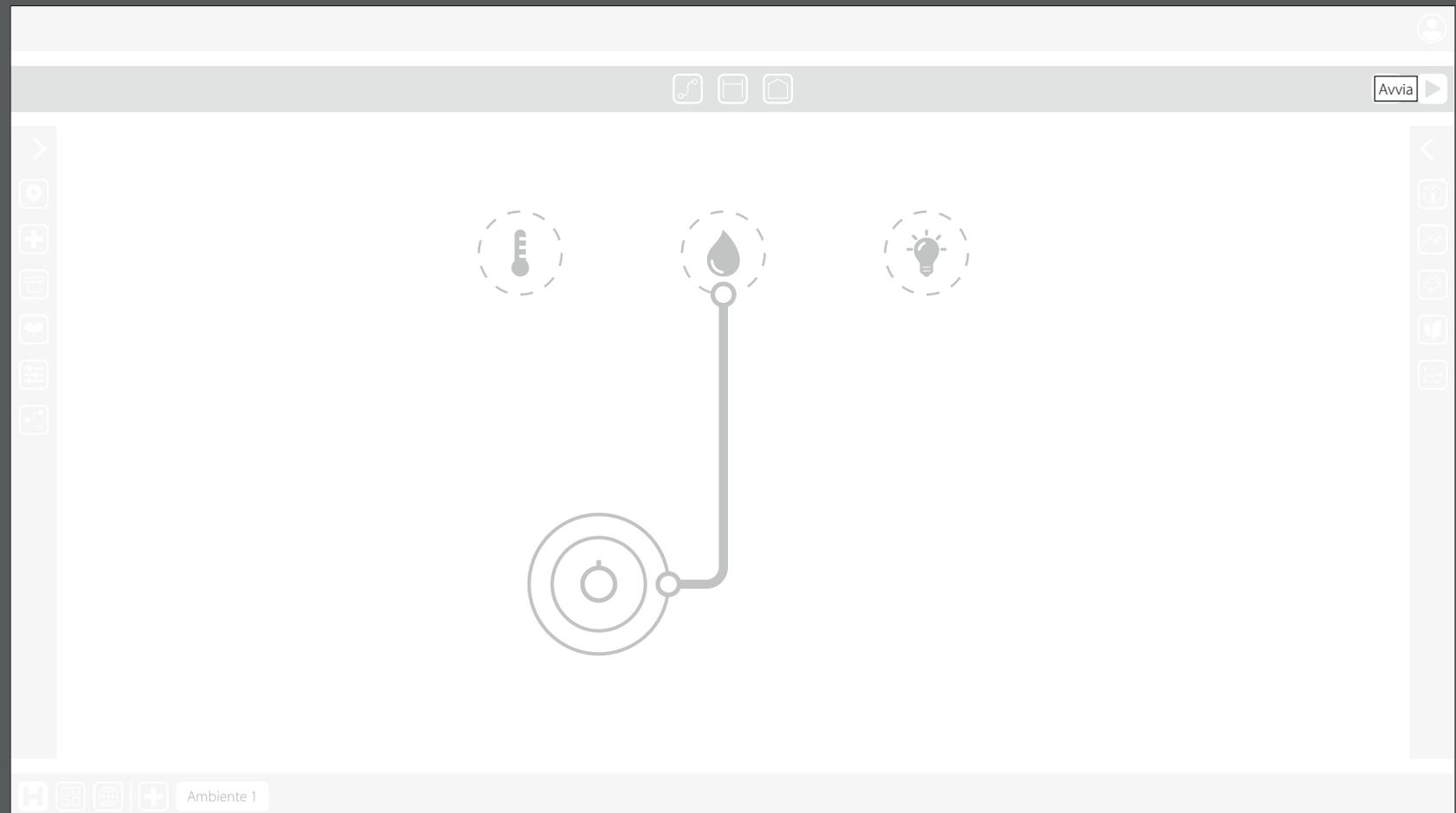


## 5. Avvio

Una volta che l'utente ha ricreato all'interno della piattaforma il proprio ambiente di coltivazione, si può avviare dalla barra superiore, alla voce "Avvia" sulla destra, il monitoraggio e il controllo degli elementi mappati.

Quando i dispositivi fisici di monitoraggio effettuano delle rilevazioni, il relativo dato per ogni parametro ambientale monitorato dai sensori arriva ad un database dove viene immagazzinato all'interno della relativa colonna, all'interno della quale vengono progressivamente aggiunti i nuovi dati in modo da tenere traccia dell'andamento dinamico del fenomeno monitorato.

I dati delle rilevazioni (dinamici, che variano nel tempo) e i metadati (parametri e relazioni, statici, ma che possono essere modificati dall'utente nel tempo) vanno ad aggiungersi ad un database relazionale. Diversi strumenti di elaborazione, successivamente, sono in grado di restituire i dati all'utente generando conoscenza a vari livelli di complessità e profondità.



## 6. Soglie

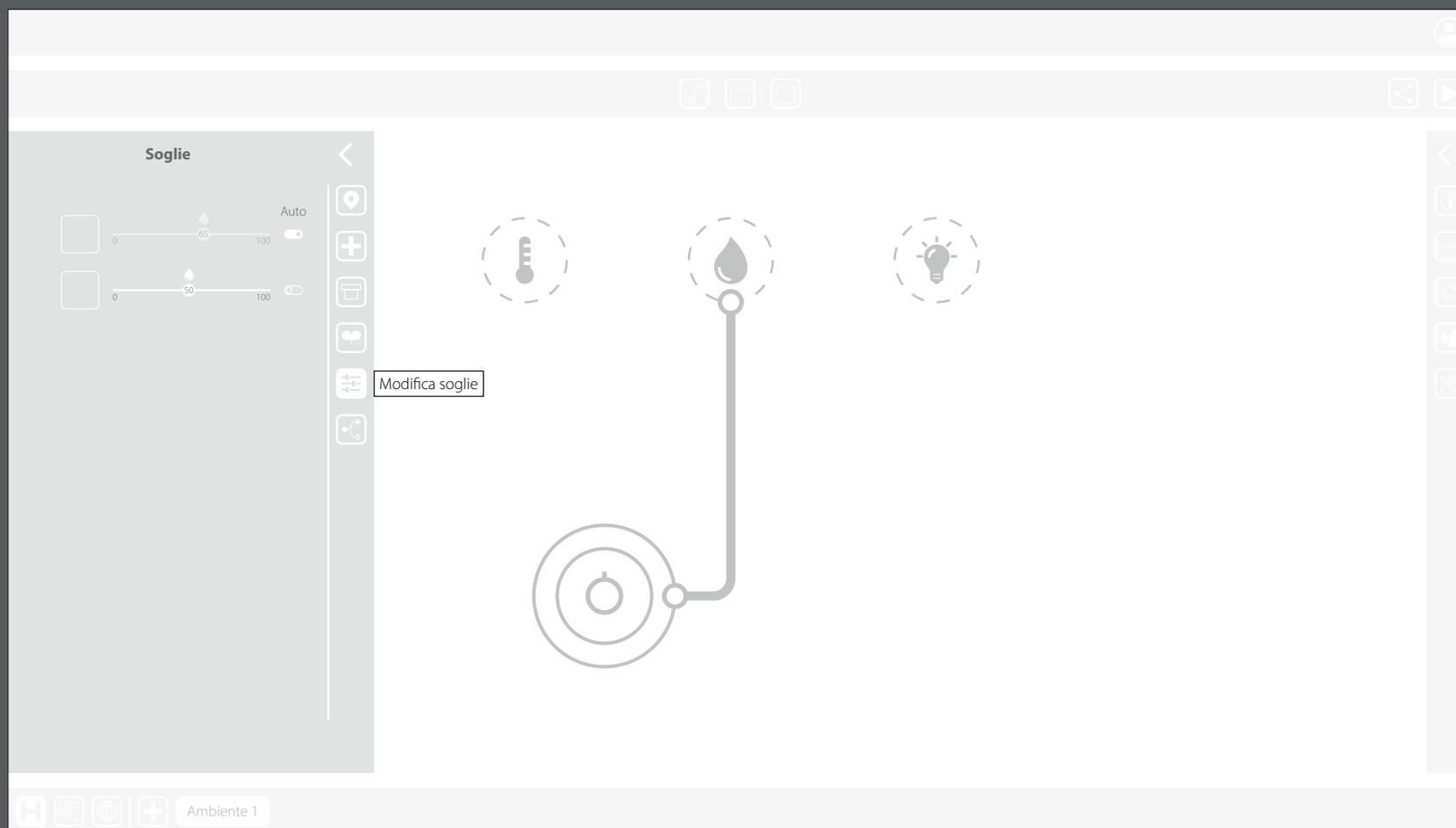
Una volta che il flusso è mappato con un sensore, un elemento da monitorare, e un attuatore che permette il controllo della condizione monitorata, c'è una relazione che permette l'attivazione dell'attuatore una volta che il parametro monitorato è al di sopra o al di sotto di una certa soglia.

All'inizio la soglia è impostata in maniera automatica a partire da una soglia standard preimpostata, ad esempio un valore, che rappresenta una soglia di benessere ambientale per la pianta, presente all'interno dell'Almanacco del Coltivatore: in questo caso l'irrigazione della pianta viene attivata quando l'umidità del terreno scende al di sotto del 65%, questo perchè quella è la soglia minima di umidità del terreno per il benessere della pianta.

L'utente ha la possibilità di agire manualmente sulla modifica delle so-

glie dalla barra a scomparsa sulla sinistra sotto la voce "Soglie", andando a modificare il valore di trigger degli attuatori attraverso uno slider, avendo comunque la possibilità di riportare tutto ai parametri predefiniti attraverso uno switch alla modalità automatica.

I dati delle rilevazioni (dinamici, che variano nel tempo) e i metadati (parametri e relazioni, statici, ma che possono essere modificati dall'utente nel tempo) vanno ad aggiungersi ad un database relazionale. Diversi strumenti di elaborazione, successivamente, sono in grado di restituire i dati all'utente generando conoscenza a vari livelli di complessità e profondità.



## 7. If...Then...Else

L'utente è in grado di creare delle relazioni personalizzate, attraverso la barra a scomparsa sulla sinistra, sotto la voce "Relazioni If...Then...Else", tramite un tool di soft coding integrato nella piattaforma (in questa schermata ne è rappresentato un esempio).

All'attivazione di una condizione "se", viene attivata una condizione "allora", in caso contrario viene attivata una condizione "altrimenti". Ogni condizione è caratterizzata da dei parametri che ne rappresentano:

- Tipologia: dato, soglia, intervallo, ...
- Oggetto: temperatura, luce, calendario, ...
- Equazione: maggiore di, minore di, uguale, ...

- Valore: dato, soglia, stato, ...

ed è possibile impostare più condizioni di "se", di "allora" e di "altrimenti".

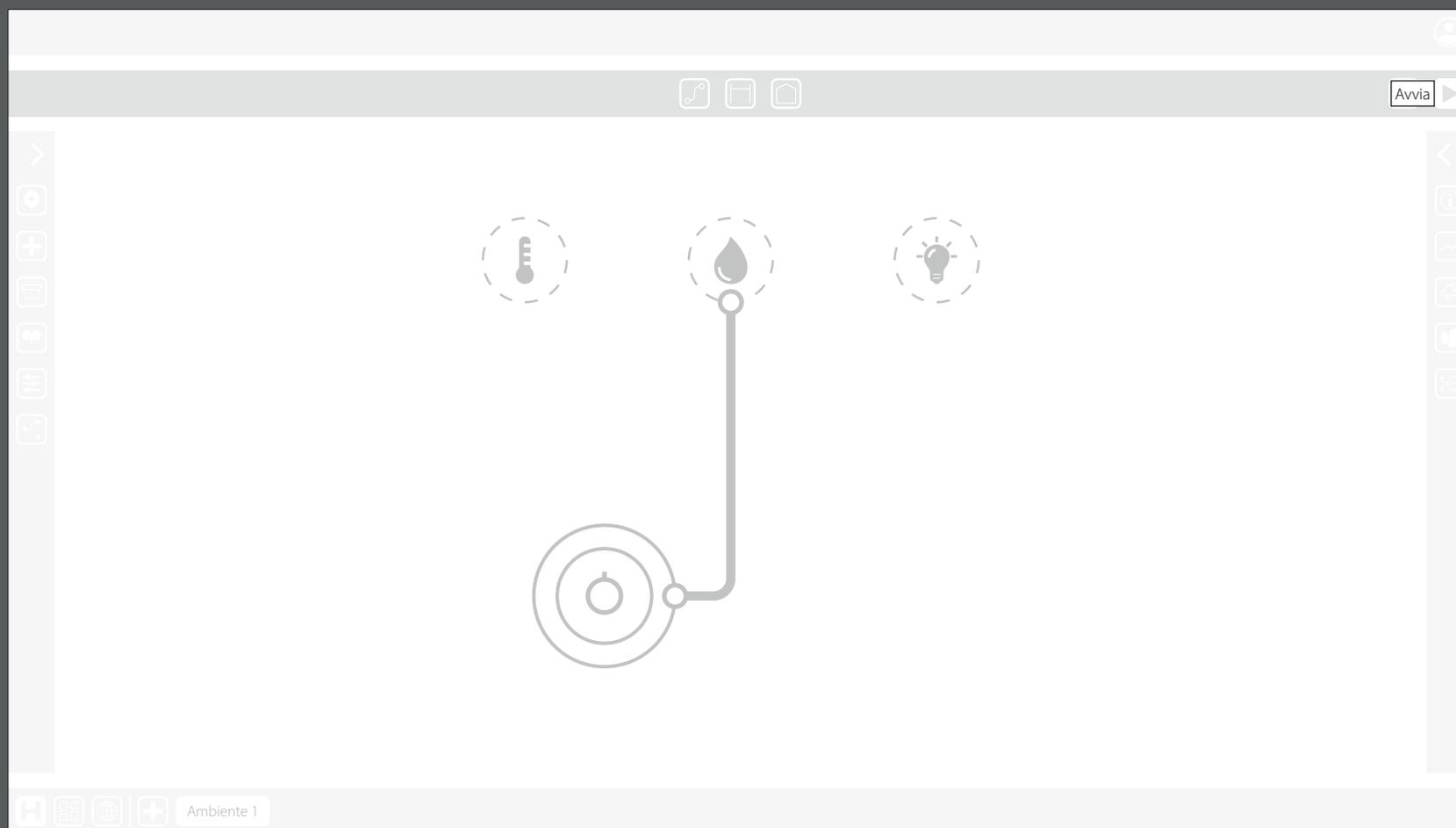
Ad esempio una relazione "If...Then...Else" potrebbe essere: "Se il dato rilevato per la temperatura è superiore ai 26°C, e la lampada è accesa, allora invia su Telegram un messaggio dal contenuto <LampadaON>, altrimenti ...".

L'utente ha la possibilità di ricercare tra le relazioni "If...The,Else" create e condivise dagli altri utenti attraverso la barra di ricerca, ed infine ha la possibilità di condividere a sua volta le relazioni "If...Then...Else" da lui create.

## 8. Nuovo avvio

Nell'eventualità che l'utente abbia inserito modificato le soglie che attivano gli attuatori, o che abbia impostato nuove relazioni "If...Then...Else", è necessario un nuovo avvio della piattaforma in modo che le nuove impostazioni vengano incluse nella piattaforma.

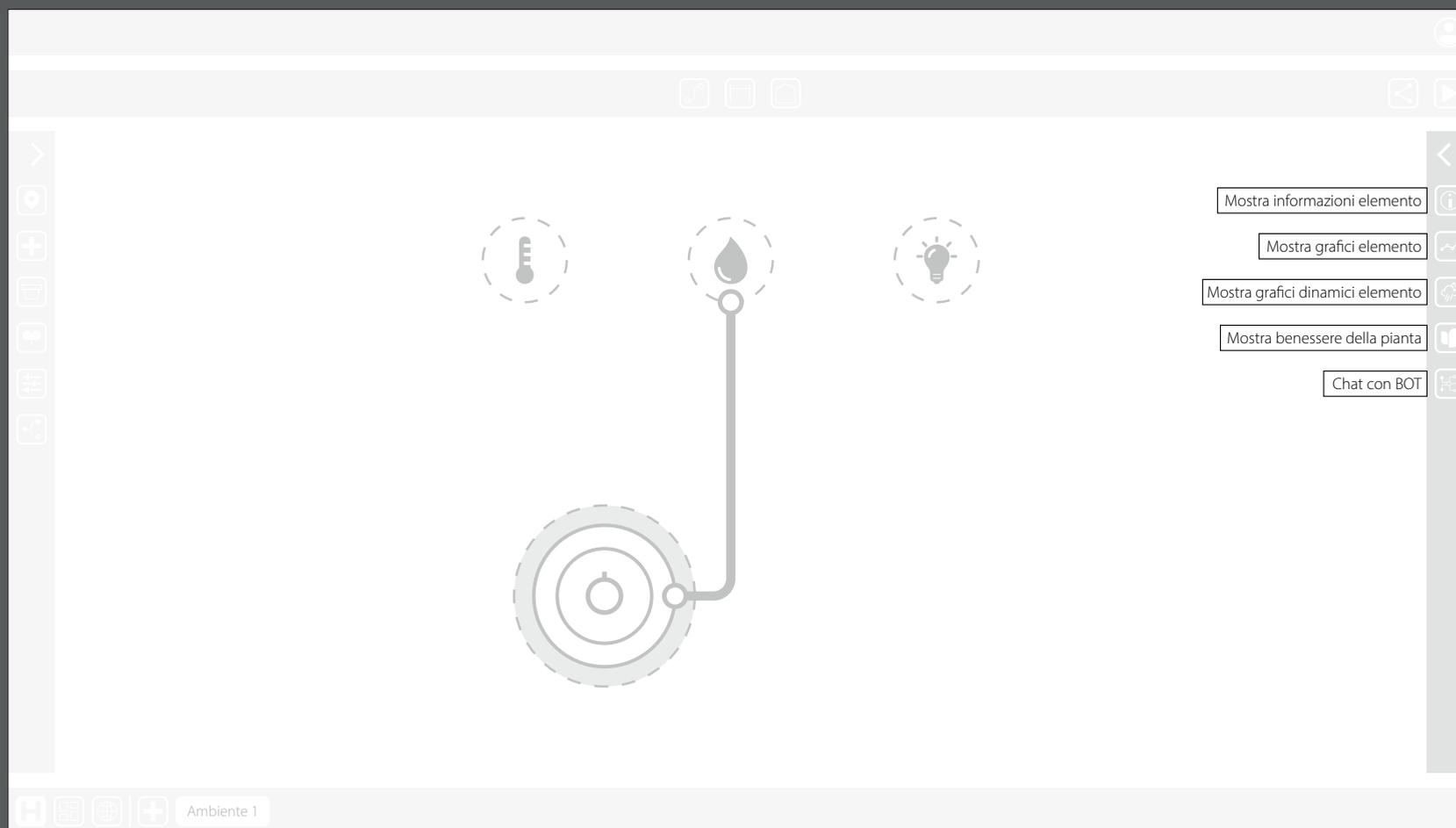
Questa scelta è dettata dalla necessità di ridurre la possibilità che la piattaforma consideri condizioni incomplete, chiedendo quindi la conferma di un nuovo avvio per mettere nuovamente tutto a sistema.



## 9. Restituzioni all'utente

Tramite il pannello a scomparsa sulla destra, l'utente è in grado di ottenere dei dati riguardo la propria coltivazione: per ogni parametro monitorato, vengono infatti restituiti all'utente i dati in maniera puntuale, sotto forma di grafico con i dati ordinati per tipologia e secondo una successione temporale, vengono restituiti interpretati con delle medie oppure con delle sommatorie matematiche, e viene abilitata una finestra di chat con la piattaforma attraverso un tool che permette l'embedding del bot di Telegram all'interno della piattaforma.

Uno sviluppo successivo potrebbe essere quello di includere all'interno della piattaforma, la possibilità di instaurare un dialogo, basato sulla logica della chat, con l'AI per abilitare l'utente ad ottenere ulteriore conoscenza riguardo il proprio ambiente di coltivazione.



## 9.1. Informazioni

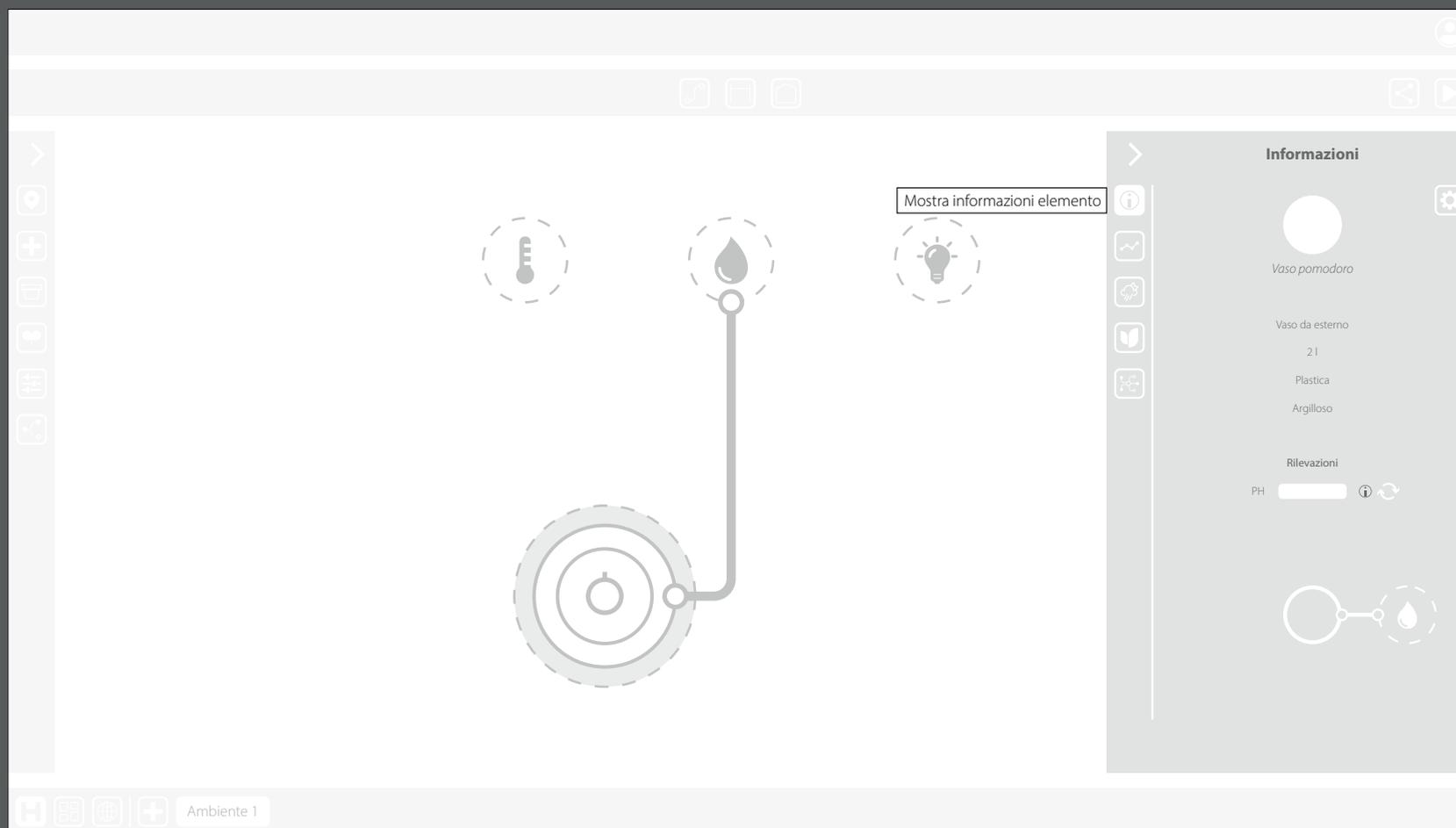
Una volta che l'utente seleziona un elemento della propria coltivazione cliccandoci sopra, questo viene evidenziato e, attraverso la barra a scomparsa sulla destra sotto la voce "Informazioni", l'utente può visualizzare le informazioni dell'elemento selezionato, ovvero le informazioni inserite in fase di configurazione dell'elemento tramite la compilazione dei parametri, in questo caso la tipologia del vaso, il volume, il materiale e la tipologia di terreno contenuta, andando eventualmente a modificarli cliccando sull'icona dell'ingranaggio e a reimpostarli come ha fatto nella fase di inserimento.

In questa parte l'utente ha la possibilità di inserire i valori misurati manualmente, come ad esempio il pH del terreno, andando ad inserire il valore nella

casella e riaggiornando in seguito il sistema con il nuovo dato aggiornato. Può inoltre chiedere informazioni sul parametro monitorato manualmente: nel caso del pH del terreno ad esempio, può avere una visualizzazione di una cartina tornasole per il monitoraggio del pH con la scala cromatica e i valori relativi per ogni colore.

Infatti spesso non sono accessibili sensori in grado di digitalizzare alcuni fenomeni biologici. Molti di questi fenomeni però sono osservabili direttamente dall'uomo, senza bisogno di "protesi" tecnologiche. È necessario quindi l'inserimento come input nel modello matematico di una misura osservata.

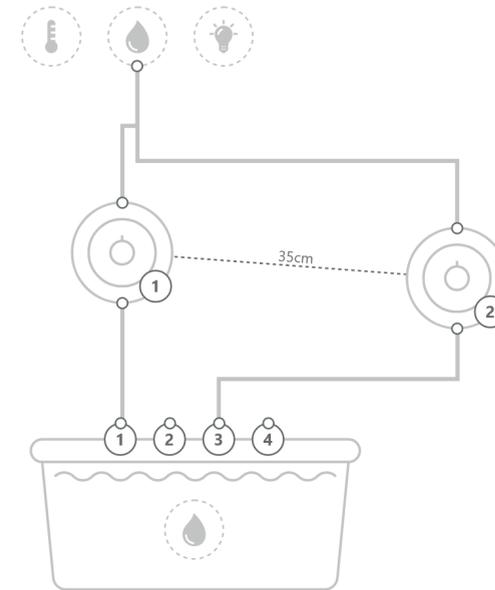
Ciò, oltretutto può essere un'opportunità per l'utente di osservare i feno-



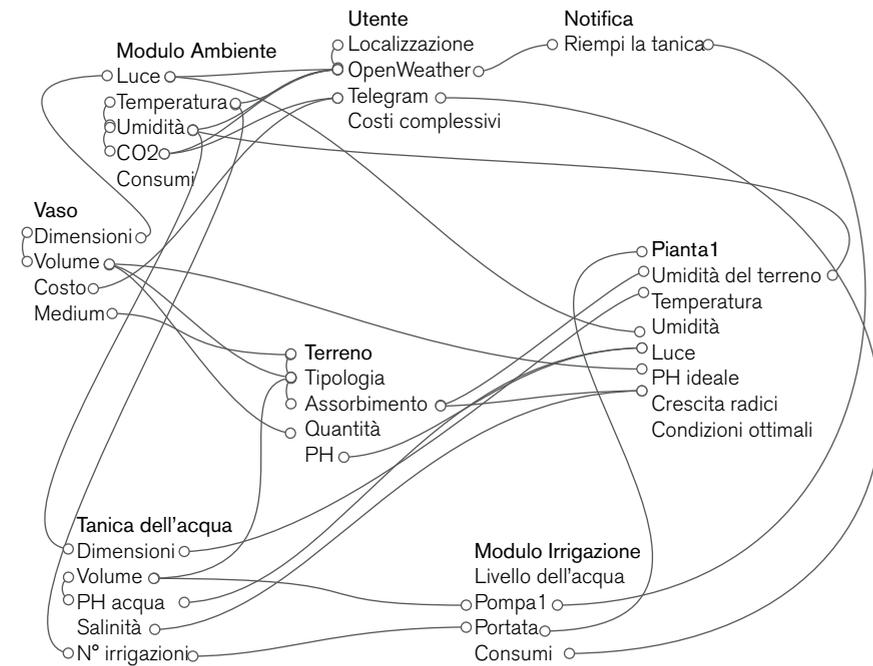
meni naturali che interessano le piante, suturando potenzialmente la frattura individuale con la natura.

Infine, l'utente ha la possibilità di visualizzare gli altri elementi della coltivazione, e dei sensori e degli attuatori, collegati all'elemento del quale sta visualizzando le informazioni.

### Visualizzazione della mappatura



### Background delle relazioni tra gli elementi



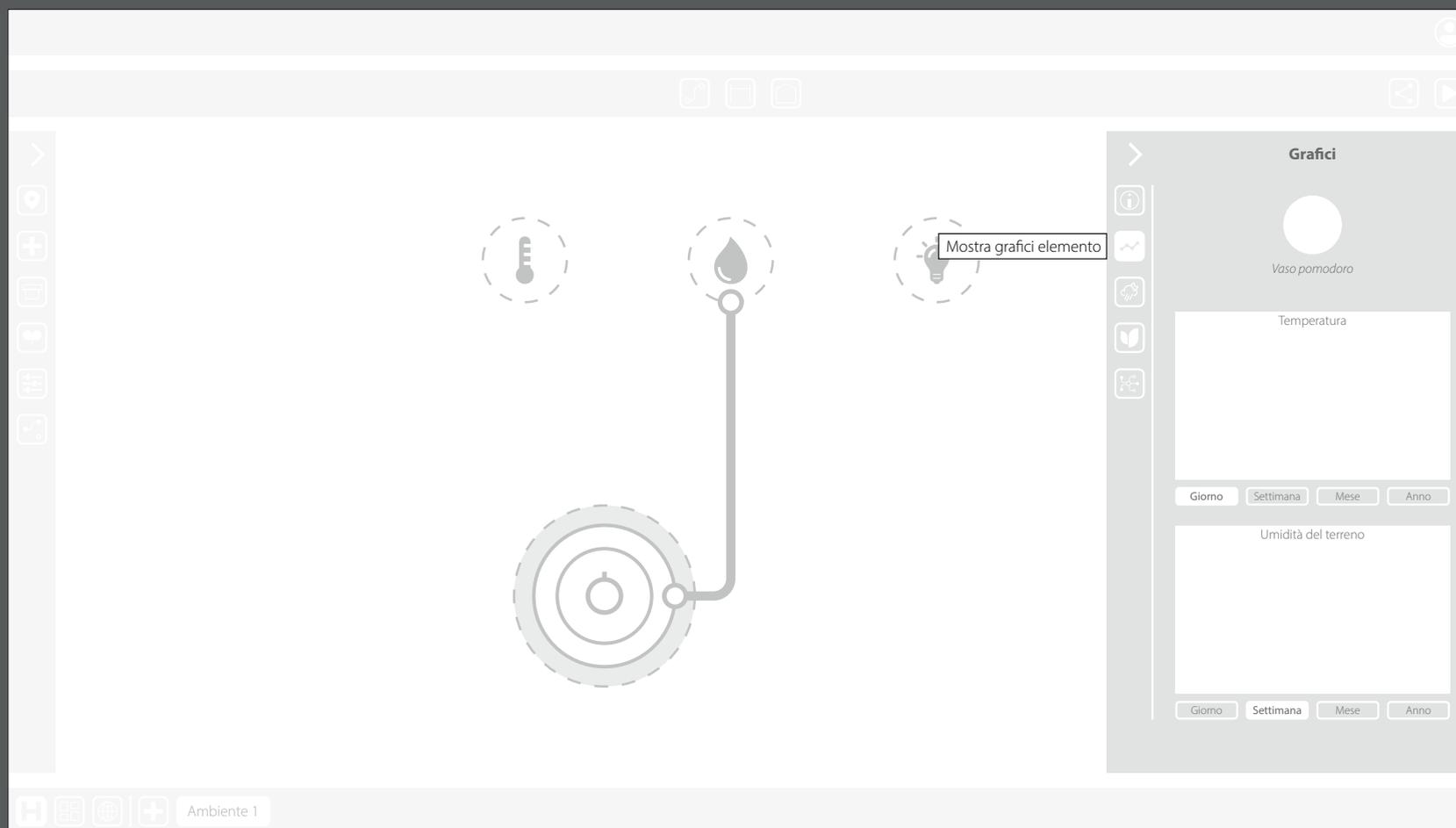
## 9.2. Grafici

Attraverso la barra a scomparsa sulla destra, sotto la voce "Grafici", l'utente è in grado di visualizzare i grafici che derivano dalla successione temporale dei singoli valori puntuali rilevati dai sensori che riguardano l'elemento selezionato. I dati, e i grafici generati, vengono accorpati e visualizzato a seconda della categoria, ad esempio:

- Luce visibile e luce infrarossa vengono rappresentati e visualizzati assieme perchè entrambi descrivono l'andamento temporale della luce;
- Temperatura e umidità relativa dell'aria vengono rappresentati e visualizzati assieme perchè sono inversamente proporzionali ed entrambi concorrono al calcolo per la temperatura percepita;
- ...

Infine, per ogni grafico, l'utente può decidere la finestra temporale di consultazione dei dati riguardanti le condizioni del proprio ambiente di coltivazione, potendo scegliere tra:

- Andamento giornaliero, che mostra tutti i valori
- Andamento settimanale, che mostra la media oraria degli ultimi sette giorni
- Andamento mensile, che mostra la media giornaliera dell'ultimo mese
- Andamento annuale, che mostra la media settimanale dell'ultimo anno.



### 9.3. Grafici dinamici

I dati puntuali vengono elaborati, attraverso operazione matematiche come medie e sommatorie, e vengono restituiti all'utente, che ha la possibilità di consultarli dalla barra a scomparsa sulla destra sotto la voce "Grafici dinamici".

Una volta che l'utente ha selezionato l'elemento del quale visualizzare i grafici dinamici, ad esempio può visualizzare:

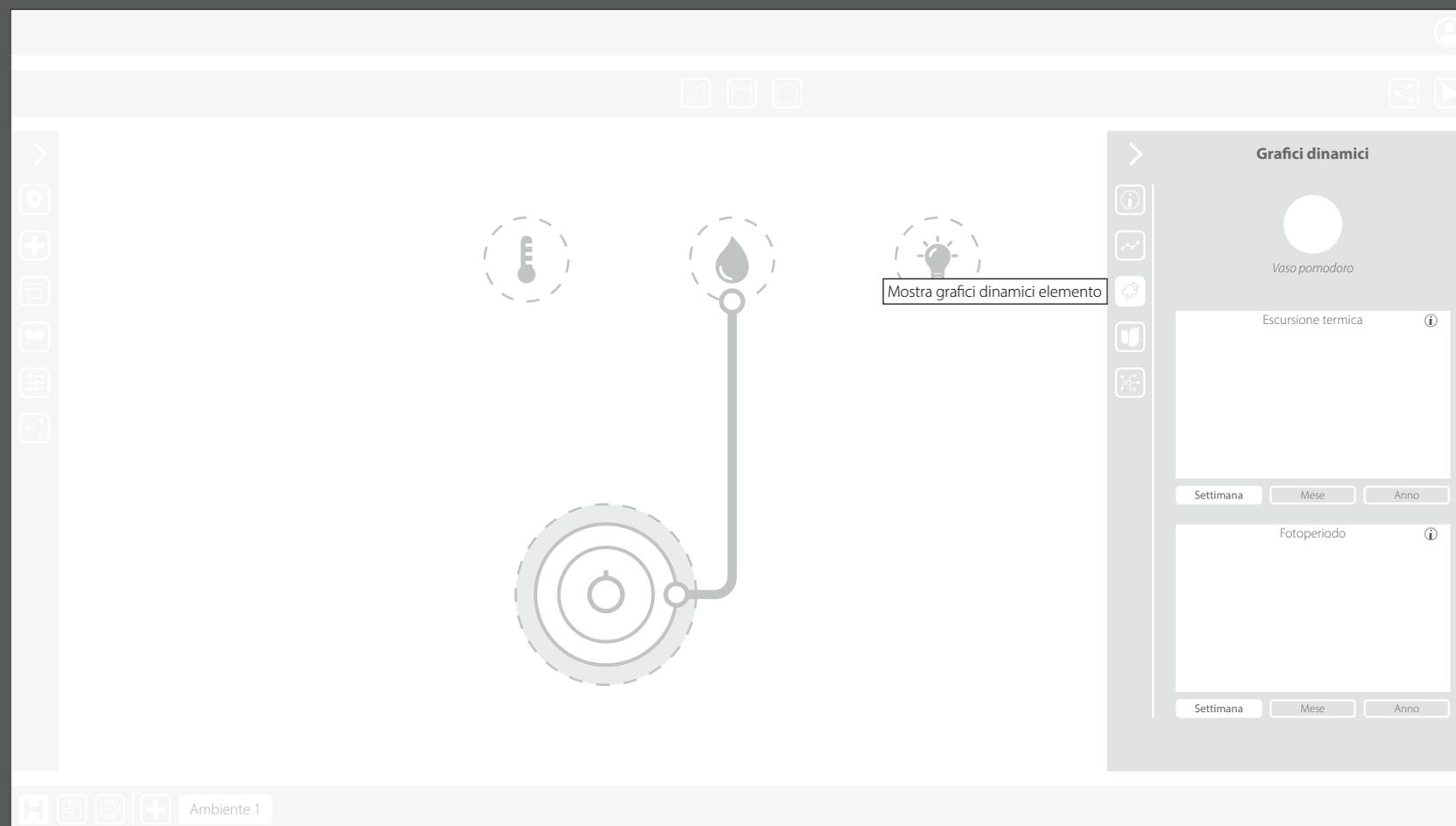
- Per la luce l'andamento del fotoperiodo;
- Per la temperatura l'escursione termica, ovvero i dati minimi e massimi registrati durante il giorno, il termoperiodo e i valori medi;
- Per l'umidità del terreno la frequenza dell'irrigazione;
- ...

Inoltre può decidere la finestra temporale di consultazione, potendo scegliere tra:

- Andamento settimanale, che considera i valori giornalieri passati
- Andamento mensile, che considera anch'esso i valori giornalieri passati
- Andamento annuale, che considera i valori settimanali passati

A causa del fatto che questa restituzione permette una conoscenza basata su dati raccolti per un lungo periodo, non ha utilità una finestra di visualizzazione temporanea più breve, ad esempio giornaliera.

In sintesi, questa sezione permette all'utente la visualizzazione dei dati che rappresentano la stagionalità che influenza la crescita e lo sviluppo della pianta.



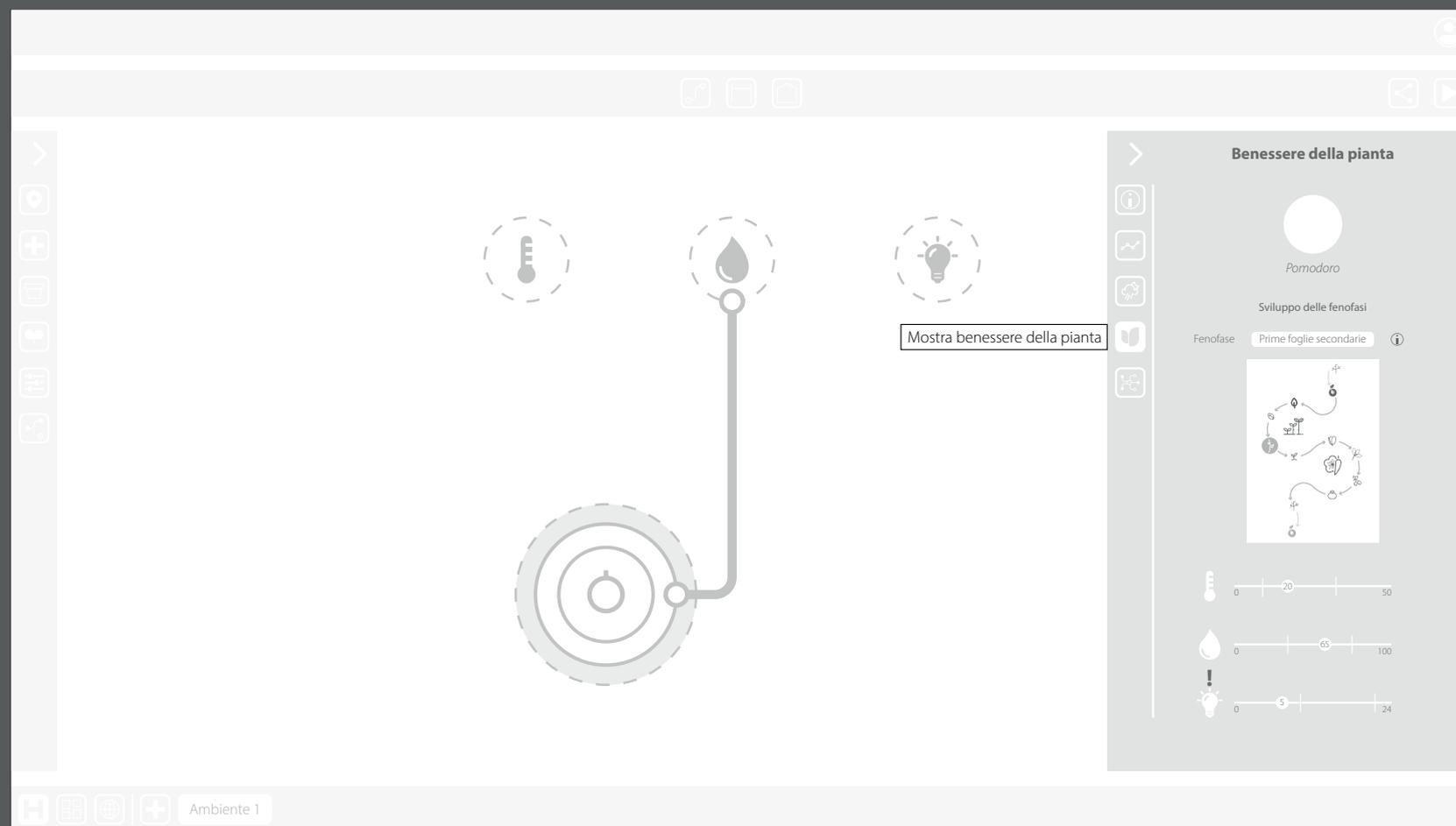
## 9.4. Benessere della pianta

Se l'utente ha configurato la piattaforma in modo da usufruire di librerie di piante fornite da terze parti, ad esempio l'Almanacco del Coltivatore, è possibile visualizzare, dalla barra a scomparsa sulla destra alla voce "Benessere della pianta", lo stato di benessere della pianta selezionata, ovvero se i valori ambientali dell'intervallo ottimale per la crescita e lo sviluppo della pianta corrispondono ai valori ambientali monitorati, e in caso contrario la piattaforma notifica l'utente: ad esempio può avvisare l'utente con una notifica su Telegram, oppure informarlo dall'ambiente grafico stesso della piattaforma.

In questa sezione l'utente ha la possibilità di visualizzare lo stato di avanzamento delle fenofasi per lo sviluppo della pianta, ed aggiornare i dati a partire

dalle osservazioni effettuate modificando la fase della pianta, ad esempio:

- Comunicare che sono spuntati i primi rami secondari;
- Comunicare che i fiori stanno cominciando ad appassire;
- Comunicare che i frutti sono maturi;
- ...
- Questo tipo di interazione permette alla piattaforma di aggiornare il proprio setup in base ai punti di avanzamento della piante e, utilizzando i dati sulle fenofasi inseriti dall'utente come Milestones, ricalibra le soglie ambientali necessarie al benessere, con conseguente crescita e sviluppo, di una data pianta in una data fase.



## 9.5. Dialogo

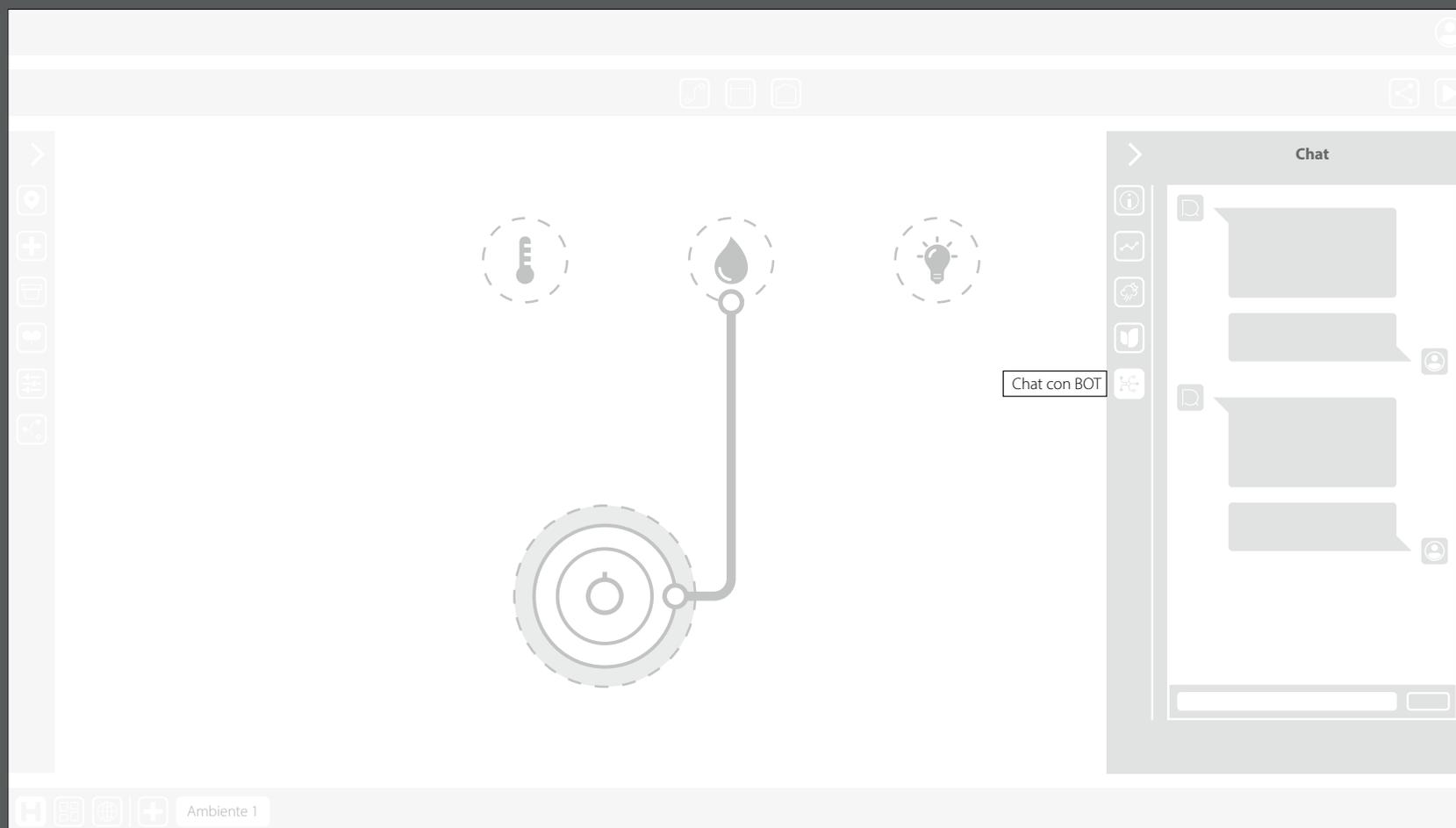
Attraverso un tool che rende embedded il bot di Telegram all'interno della piattaforma, l'utente è in grado di comunicare con esso per l'interazione con il proprio sistema di coltivazione, tramite la barra a scomparsa sulla destra alla voce "Chat". Oltre la richiesta dei dati puntuali delle ultime rilevazioni effettuate dai sensori, l'utente è in grado di accedere a funzioni aggiuntive, come la visualizzazione dello stato della pianta, l'attivazione o la disattivazione delle notifiche, l'attivazione o la disattivazione dell'irrigazione automatica, la comunicazione di nuove soglie di umidità del terreno che attivano irrigazione, la comunicazione dei dati da lui monitorati, e così via.

Un esempio delle interazioni possibili con il bot sono a pagina seguente.

Il bot all'interno della piattaforma può essere lo stesso su Telegram e, se l'utente ha selezionato come servizio aggiuntivo l'app di messaggistica, la chat tramite la piattaforma e tramite un dispositivo dotato di Telegram, possono essere sincronizzate.

Uno step successivo per lo sviluppo di questa interazione, potrebbe essere abilitare l'utente ad un dialogo non solo con le funzioni a comandi del bot, ma con un'AI in grado di fornirgli informazioni ad un livello più profondo di conoscenza.

Inoltre, un dialogo p2p con la piattaforma, la quale è in grado di domandare informazioni, abiliterebbe l'utente all'uso continuativo del sistema, che



porterebbe a più possibilità di co-evoluzione.

Un dialogo potrebbe essere:

- AI: Sono passati tre mesi da quando hai piantato il pomodoro, e in base alle condizioni ambientali rilevate, e in base allo sviluppo della pianta da te comunicato, dovrebbe fiorire, è così?

- U: No

- AI: La temperatura e la luce sono corrette, ma la CO<sub>2</sub> è fuori pattern, forse la pianta ha bisogno di un terreno più ricco di azoto. Se le foglie sono gialle, ti consiglio di mettere nel vaso assieme al pomodoro una lenticchia secca e di far crescere la pianta, questo perchè la lenticchia è una pianta di legumi azoto-fissatrice. Vuoi saperne di più?

- ...

*U: /start*

B: Ciao "Username", cosa vuoi fare?

*U: /air*

B: Comunicazione dei valori della qualità dell'aria

*U: /temp*

B: Comunicazione dei valori di temperatura, umidità e indice di calore

*U: /light*

B: Comunicazione dei valori di luce visibile, luce infrarossa e indice UV

*U: /plants*

B: Comunicazione dei valori dell'umidità del terreno delle piante

*U: /water*

B: Comunicazione dei valori della quantità dell'acqua nella tanica

*U: /raw*

B: Comunicazione dei valori grezzi rilevati dai sensori

*U: /rename*

B: Quale pianta vuoi rinominare?

*U: /plant0*

B: Come?

*U: Nuovo nome*

B: Fatto!

*U: /addData*

B: Che dato vuoi aggiungere?

*U: /pHwater*

B: Quanto misura dall'ultima rilevazione?

*U: Dato pH dell'acqua*

B: Grazie!

*U: /pHsoil*

B: Quanto misura dall'ultima rilevazione?

*U: Dato pH terreno*

B: Grazie!

*U: /edit*

B: Cosa vuoi modificare?

*U: /irrigation*

B: Cosa vuoi modificare?

*U: /soglie*

B: A quanto vuoi impostare la nuova soglia?

*U: Nuova soglia*

B: Fatto!

*U: /irrigationOn*

B: Ora l'irrigazione automatica è abilitata!

*U: /irrigationOff*

B: Ora l'irrigazione automatica è disabilitata!

*U: /notification*

B: Cosa vuoi modificare?

*U: /notificationOn*

B: Ora le notifiche sono abilitate!

*U: /notificationOff*

B: Ora le notifiche sono disabilitate!

*U: /state*

B: Data delle ultime rilevazioni comunicate

Nomi delle piante

Soglie d'irrigazione delle piante

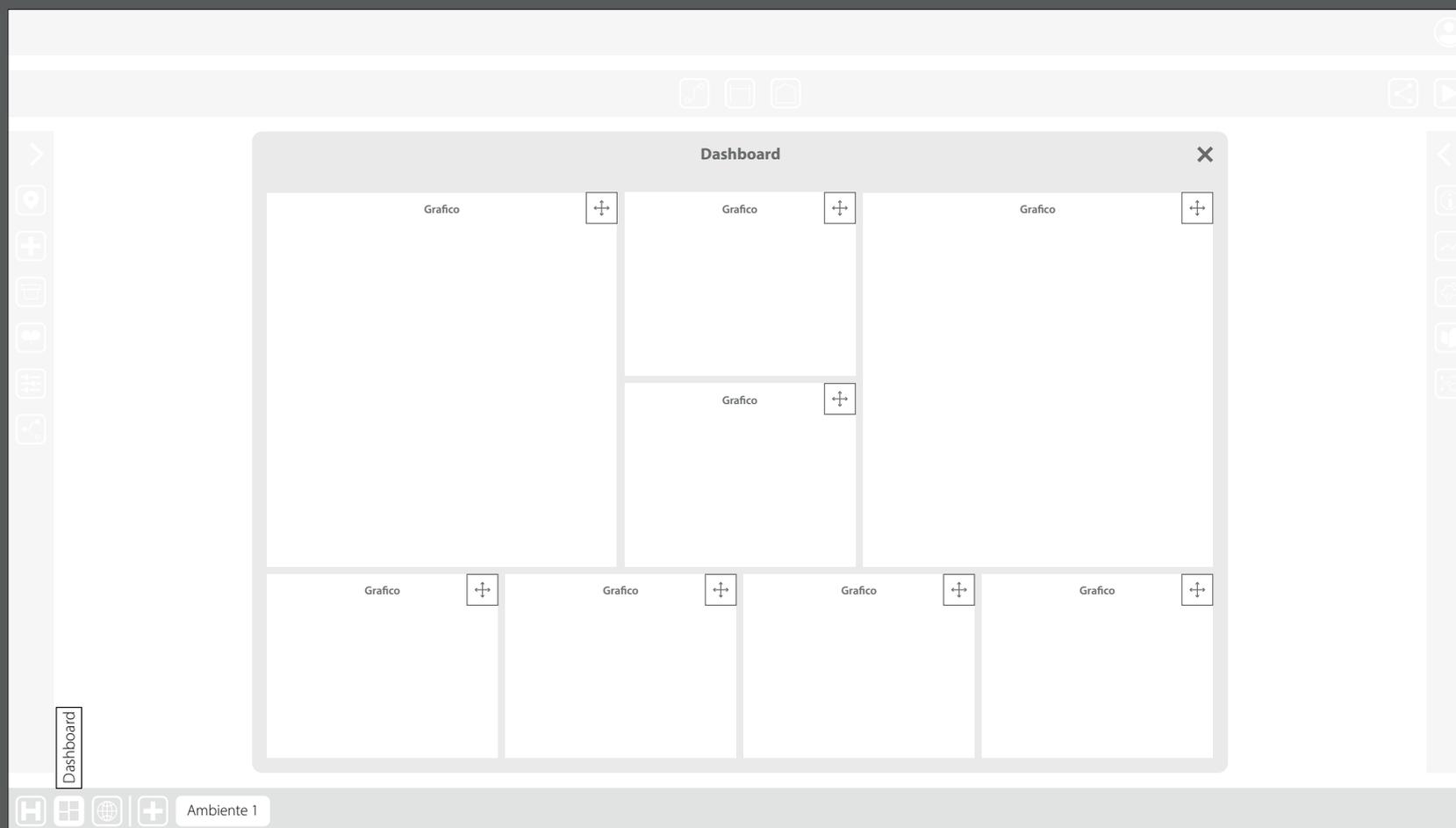
Stato dell'irrigazione

Stato delle notifiche

## 9.6. Dashboard

Una volta che la piattaforma è in funzione, l'utente è in grado di accedere ai dati complessivi del proprio ambiente di coltivazione e dei servizi aggiuntivi, ad esempio le informazioni meteorologiche fornite dal servizio OpenWeatherMap, tramite la barra inferiore, alla voce "Dashboard". In questa sezione vengono restituiti tutti i dati monitorati all'interno dell'ambiente di coltivazione, con la possibilità da parte dell'utente di ridimensionare e spostare i grafici.

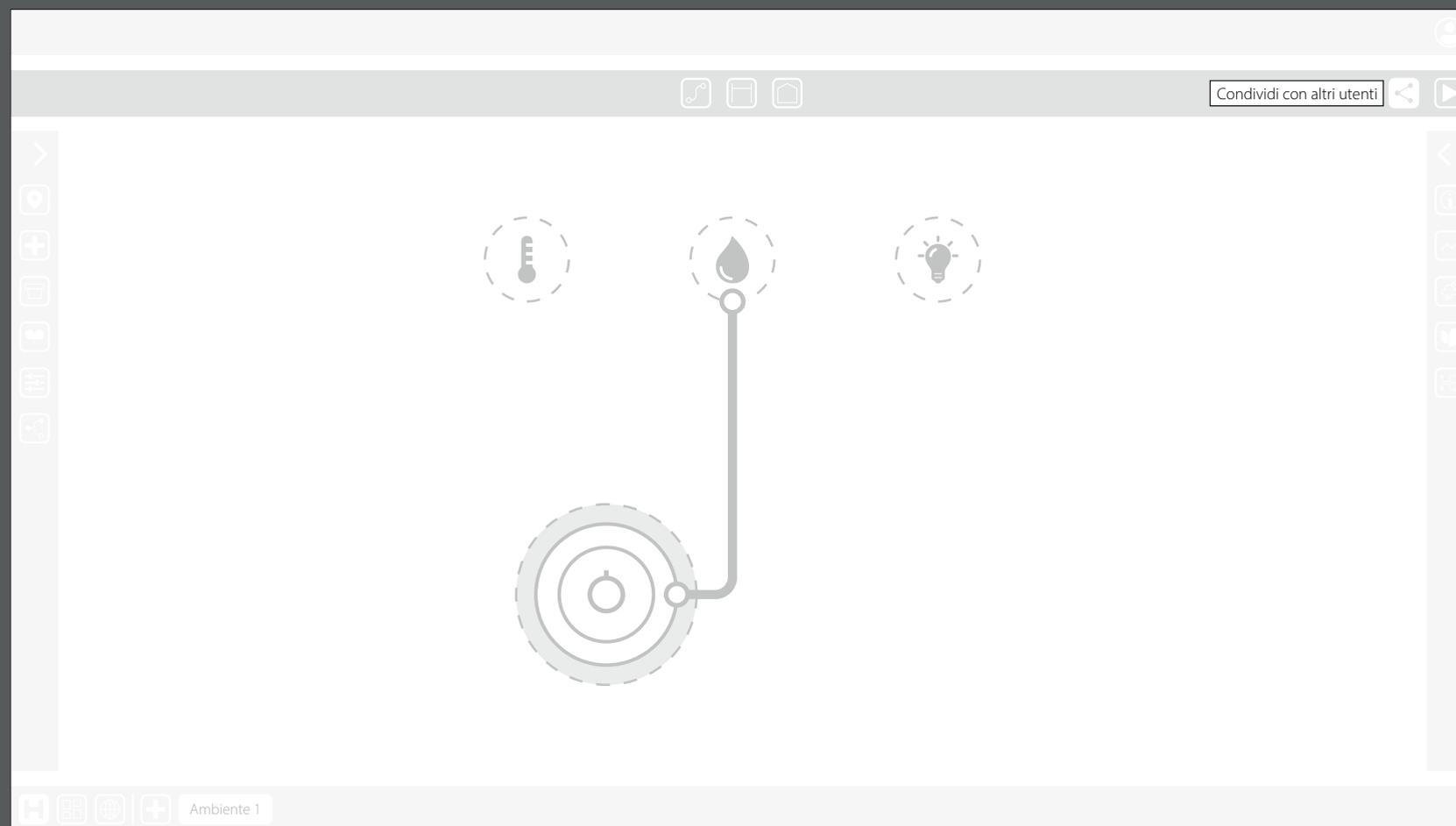
All'interno della dashboard vengono restituiti all'utente anche dei contenuti custom, che l'utente può ad esempio aver creato attraverso una relazione If...Then...Else, con lo scopo di una visualizzazione dati personalizzata.



## 10. Condivisione

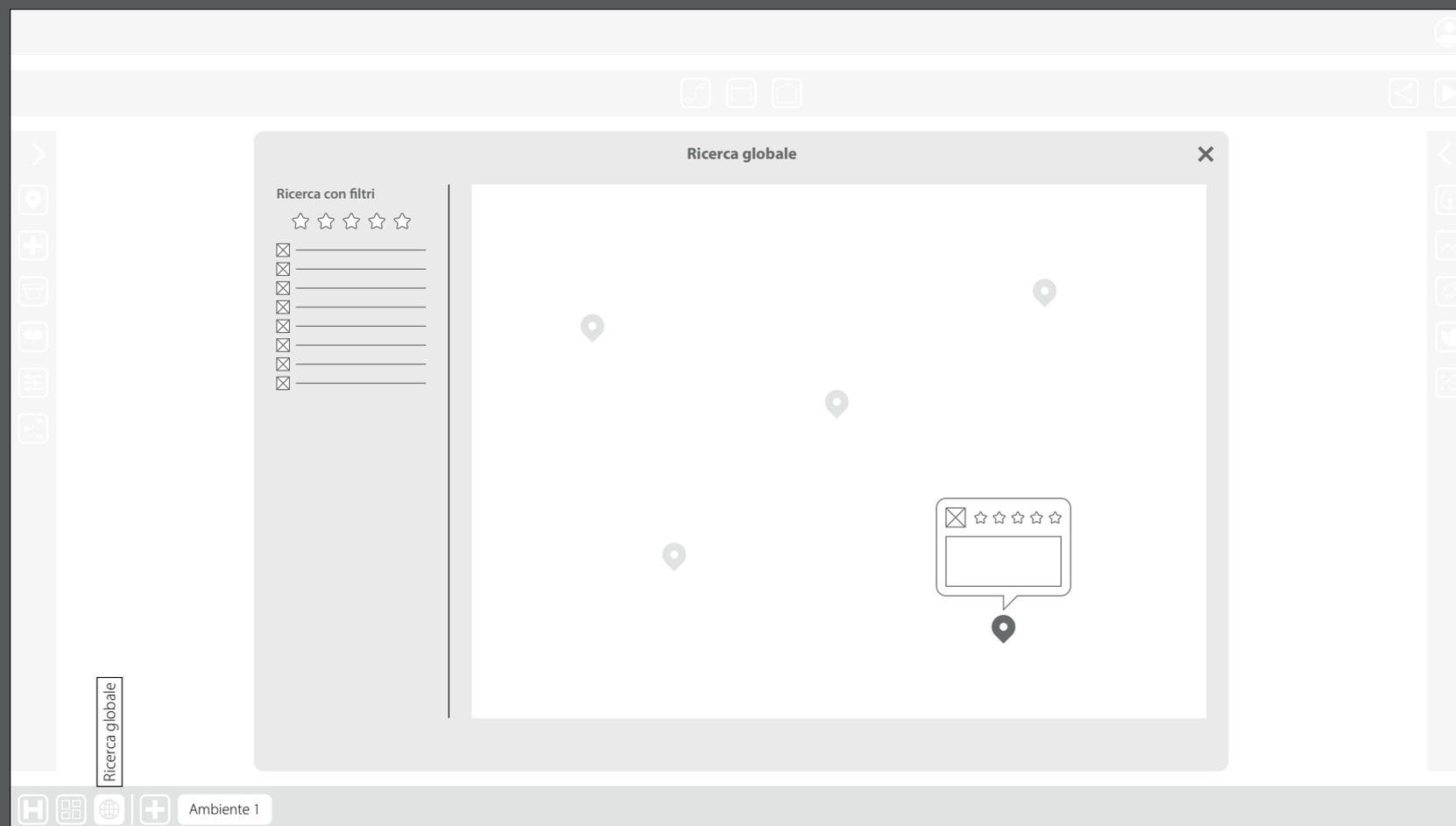
In ogni momento, l'utente è in grado di condividere con la community i risultati del proprio lavoro con la possibilità di ricevere dei feedback da parte di altri utenti o aiutarli a sviluppare la propria coltivazione; oppure può decidere di condividere l'ambiente di sviluppo dell'area di lavoro creando un ambiente comune, all'interno del quale diverse persone possono aggiungere elementi e mapparli (utile ad esempio in un'azienda agricola o in un vivaio, dove più persone lavorano all'interno dello stesso ambiente di coltivazione).

La condivisione è accessibile dalla barra superiore, alla voce "Condividi".



## 10.1. Ricerca globale

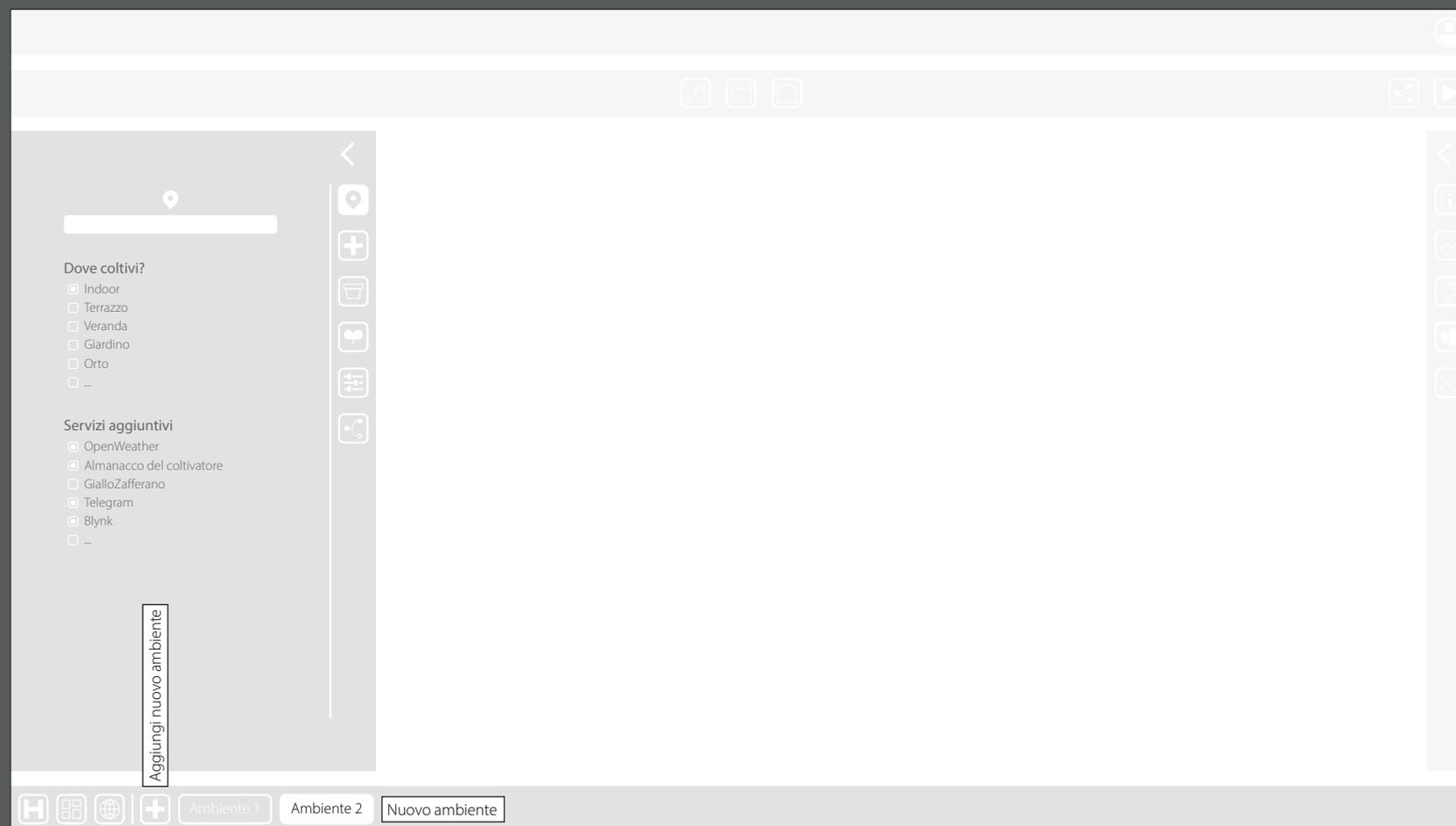
Tramite la barra inferiore, alla voce "Ricerca globale", l'utente è in grado di effettuare una ricerca per visualizzare gli ambienti di coltivazione di altri utenti che utilizzano uno o più elementi di coltivazione inseriti nei filtri, e di visualizzarli localmente. Accedendo ai dati degli altri utenti, può visualizzare le specifiche e la distinta base degli altri ambienti di coltivazione, nel caso che l'altro utente le abbia rese disponibili.



## 11. Nuovo ambiente

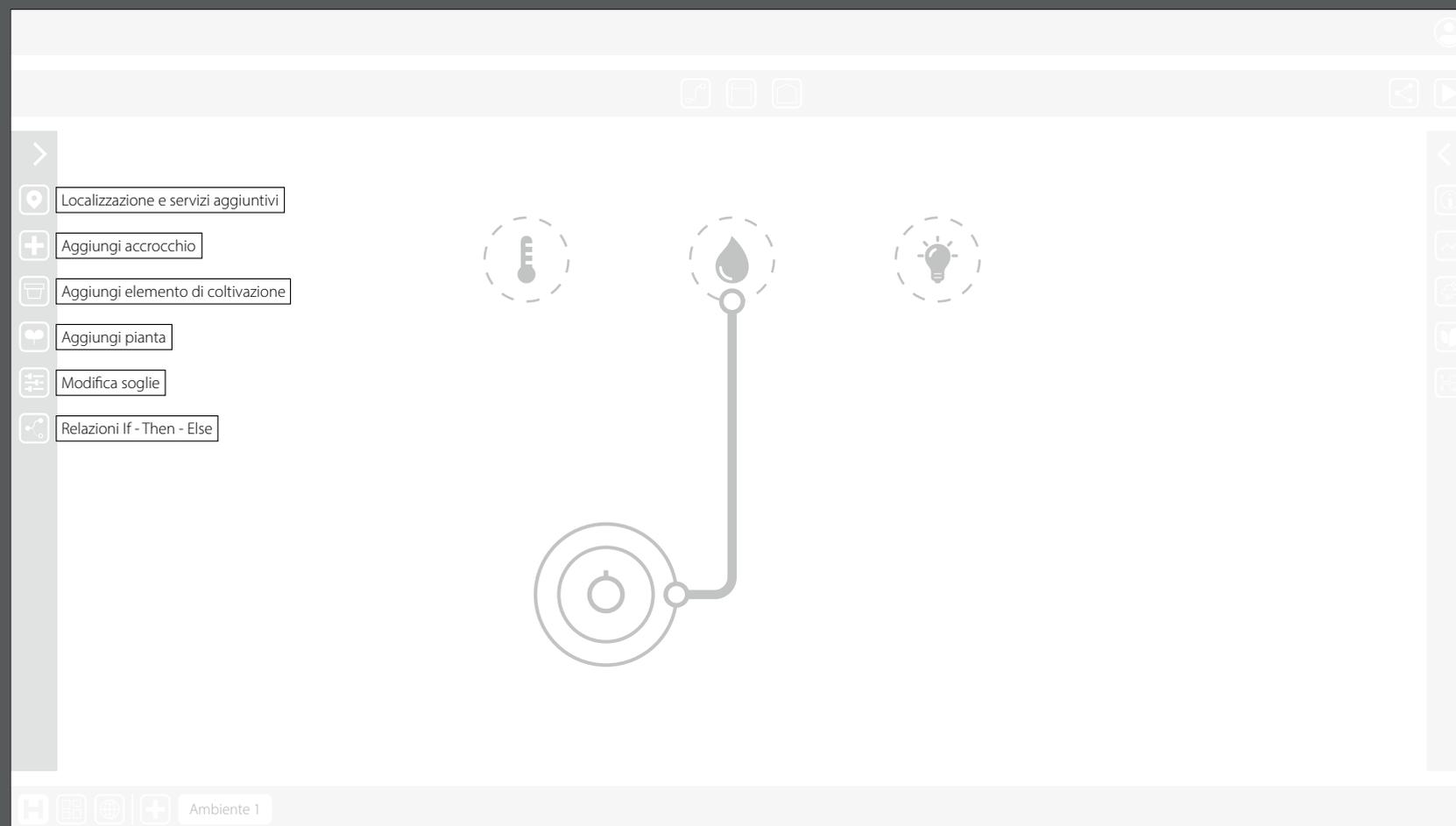
Una volta che l'utente ha ricreato il proprio ambiente di coltivazione sulla piattaforma, potrebbe avere la necessità di crearne un secondo indipendente dal primo: dalla barra inferiore, alla voce "Aggiungi nuovo ambiente", può creare un nuovo ambiente e rinominarlo. La creazione di un nuovo ambiente riporterà l'utente alla fase della Preconfigurazione, e la procedura che dovrà effettuare sarà la stessa fatta in precedenza per il primo ambiente.

Attraverso la barra inferiore, è possibile navigare tra i vari ambienti di coltivazione creati dall'utente.



## 12. Aggiornamento

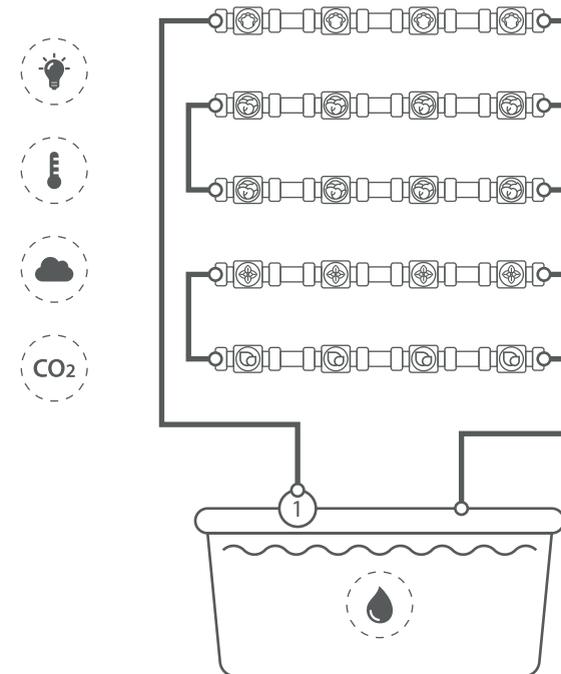
In qualsiasi momento, l'utente è in grado di modificare e di aggiornare la propria coltivazione, andando ad aggiungere o a modificare gli elementi presenti come ha fatto nella fase di creazione e configurazione del proprio ambiente di coltivazione la prima volta.



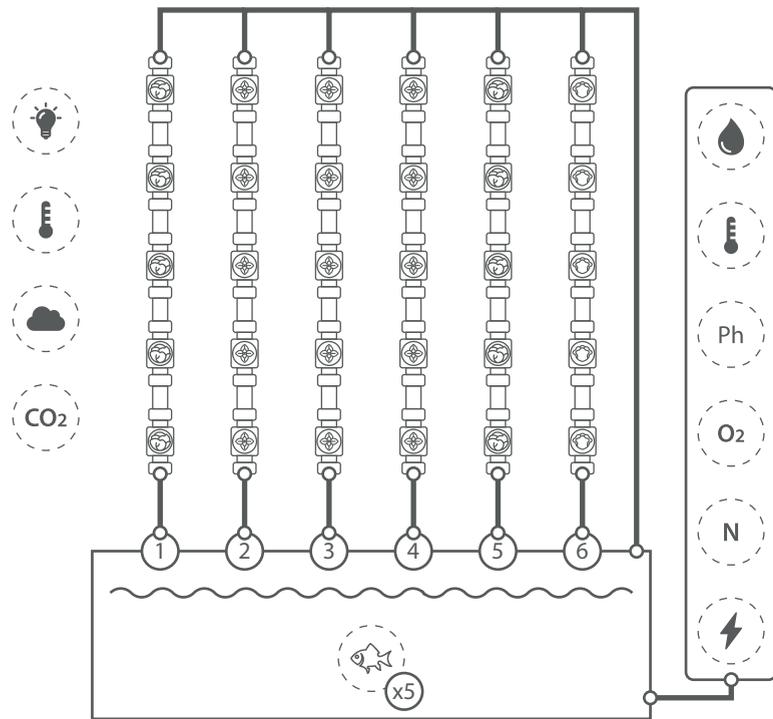
### 8.4.3 Esempi di mappature di sistemi di coltivazione

Con lo scopo di mostrare come un ambiente di coltivazione possa essere riprodotto digitalmente con gli strumenti per la modellazione del setup fisico degli ambienti di coltivazione ipotizzati, in modo da fornire all'utente un gemello digitale da cui può essere in grado di trarre conoscenza, si sono in seguito rappresentate, a titolo di esempio e di proposta, alcune resituzioni visive di modellazioni-mappature di:

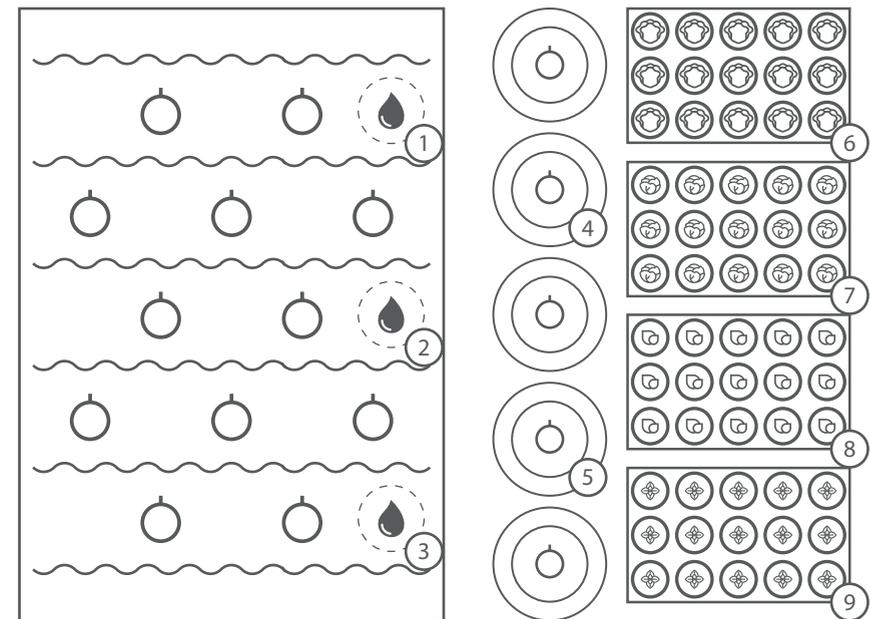
- Una coltivazione idroponica;
- Una coltivazione acquaponica;
- Una coltivazione su suolo.



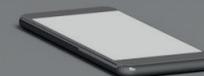
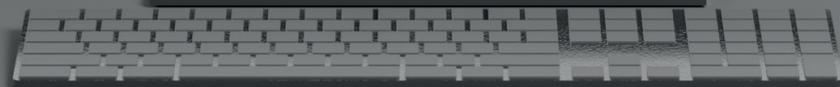
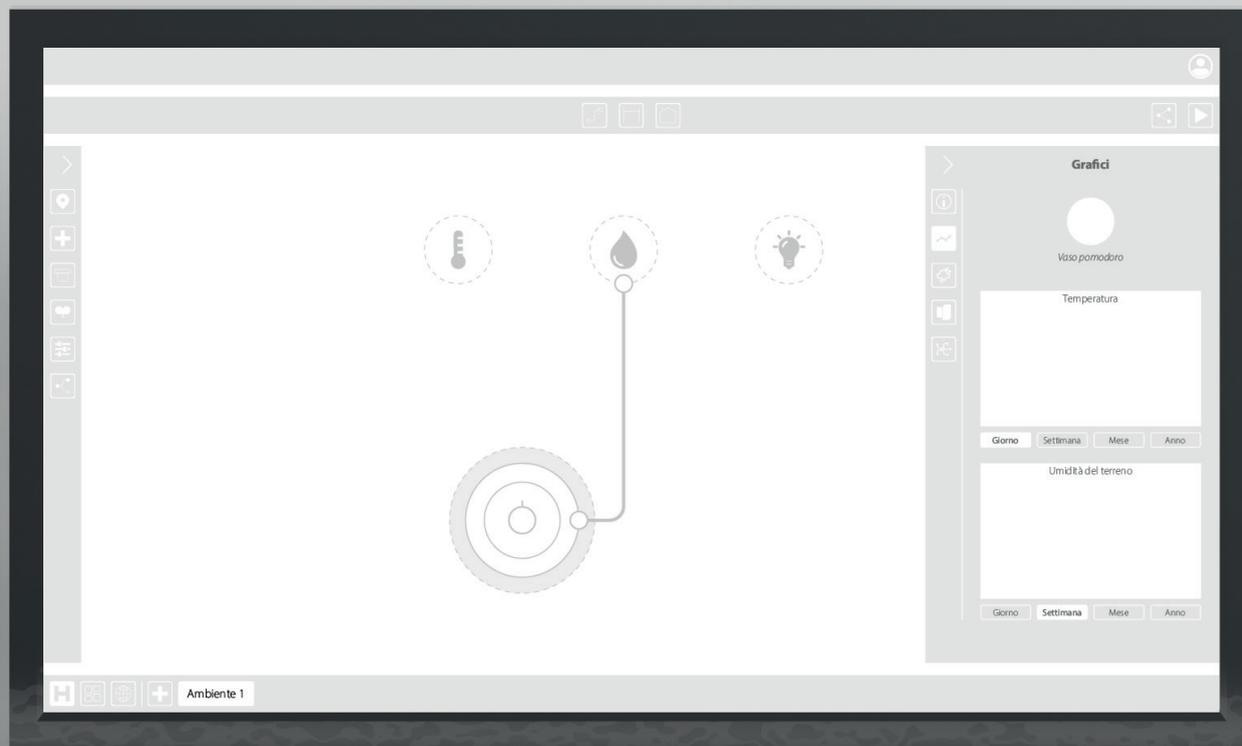
Modellizzazione di un sistema di coltivazione idroponica.  
Monitoraggio di luce, temperatura dell'aria, umidità dell'aria, qualità dell'aria e livello dell'acqua.  
Controllo automatizzato di irrigazione attraverso un'unica pompa.



Modellizzazione di un sistema di coltivazione acquaponica.  
 Monitoraggio di luce, temperatura dell'aria, umidità dell'aria, qualità dell'aria.  
 Monitoraggio completo dell'ambiente acquario.  
 Controllo automatizzato di irrigazione attraverso più pompe indipendenti.



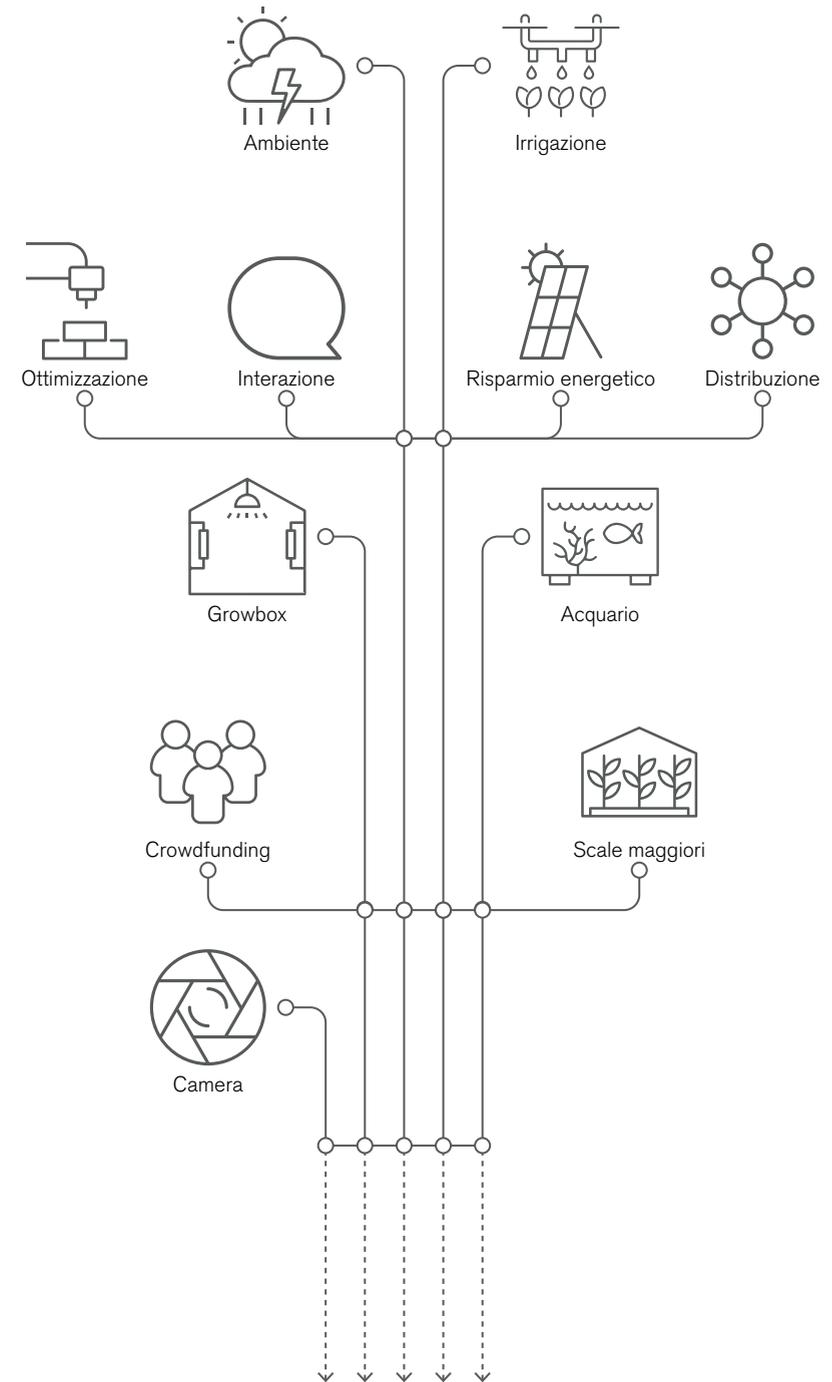
Modellizzazione di un sistema di coltivazione geponico in vaso e in suolo.  
 Monitoraggio di luce, temperatura dell'aria, umidità dell'aria, qualità dell'aria.  
 Monitoraggio dell'umidità del terreno a spot (suolo) e a campione (vasi).



## 8.5 Successione degli sviluppi

### 8.5.1 Sviluppi hardware

1. Testing per l'ottimizzazione dei processi di realizzazione e dei materiali.
2. Testing dell'interazione uomo-macchina di Accrocchio da parte di utenza varia (coltivazione su micro-scala non industrializzata).
3. Distribuzione della documentazione con vari attori interessati con conseguente creazione di una community e possibilità di ramificazioni del progetto.
4. Fase di sostituzione dei sensori con altri a consumi ridotti per abilitare l'alimentazione tramite pannelli fotovoltaici e batterie.
5. Progettazione e realizzazione di un case da esterno.
6. Sviluppo del modulo Acquario.
7. Sviluppo del modulo Growbox.
8. Possibilità di ingegnerizzazione con conseguente vendita del prodotto attraverso piattaforme di crowdfunding.
9. Sviluppo versioni per scala maggiore (microfarms, piccole serre e vivai) e relativo testing.
10. Integrazione di modulo aggiuntivo dotato di camera per raccolta dati attraverso immagini.



## 8.5.2 Sviluppi back-end matematico

A conferma dell'effettiva fattibilità dello strumento della piattaforma e al fine di identificare i possibili step futuri, si è chiesta una consulenza ad Antonio Orvieto, studente PhD nel Data Analytics Lab dell'ETH di Zurigo.

### Sistemi e modelli per l'agronomia

A cura di Antonio Orvieto.

In questo testo abbiamo già più volte motivato come un sistema agricolo sia modellabile quantitativamente usando il formalismo e la metodologia della *teoria matematica dei sistemi*<sup>1</sup>. In particolare, un impianto agricolo può essere visto come sistema multi-input multi-output (MIMO): in valore delle variabili d'ingresso (ovvero le variabili direttamente modificabili dall'utente (e.g. intensità di illuminazione, frequenza di concimazione, temperatura, umidità), assieme alla topologia e ai parametri del sistema considerato (e.g. architettura della serra, specie di piante, distanza tra le piante, acidità del terreno, parametri di crescita del pomodoro), determinano in prima approssimazione, secondo una legge matematica, le variabili di uscita (e.g. misura e salute della pianta).

È di cruciale importanza notare che, mentre gli input e gli output del sistema possono essere misurati/stimati usando moderni sensori elettronici, alcuni parametri del sistema non sono direttamente accessibili. Ad esempio, mentre l'acidità del terreno è facilmente misurabile, la stima della resistenza degli stomi fogliari – parametro di vitale importanza in molti modelli matematici per l'agronomia<sup>2</sup> – risulta chiaramente più problematica, specie in contesti non industrializzati.

Per questo motivo, assieme a una corretta modellizzazione matematica, è necessario progettare un algoritmo di apprendimento automatico capace, a partire dai dati raccolti grazie ai sensori, di stimare i

1| Fornasini, E., & Marchesini, G. (1990). Teoria dei sistemi (Libreria P).

2| Goddek, Simon, and Oliver Körner. "A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: a case study for system sizing in different environments." *Agricultural Systems* 171 (2019): 143-154.

parametri del sistema. Questo importante settore algoritmico dell'ingegneria dei sistemi è chiamato identificazione di sistema. Negli ultimi anni, la letteratura in *identificazione di sistema*<sup>3</sup> si è arricchita degli strumenti della statistica (regressione nonlineare), del machine learning e dell'intelligenza artificiale<sup>4</sup>, rendendo possibile l'apprendimento dei parametri ignoti nei sistemi dinamici nonlineari<sup>5</sup> (con presenza, ad esempio, di saturazioni) spesso usati in agronomia.

In particolare, in questa sezione descriveremo come i modelli a equazioni strutturali (*structural equation models*, SEM), punto di partenza nella teoria matematica dell'inferenza causale<sup>6</sup>, possano essere usati in combinazione con algoritmi di machine learning per fornire all'utente informazioni utili sull'impianto agricolo.

### Modelli a equazioni strutturali

Prima di presentare formalismo dei modelli a equazioni strutturali (SEM), ricordiamo un paio di importanti definizioni, necessarie per l'introduzione di una notazione non ambigua:

- *variabili di input*: queste sono le variabili del sistema direttamente modificabili dall'utente una volta ultimata la costruzione dell'impianto. Ad esempio, mentre il pH del terreno e la distanza tra le piante non è modificabile una volta fissata l'architettura del sistema, l'utente può facilmente cambiare l'umidità dell'aria o la temperatura – questi sono gli input del sistema. Chiameremo queste variabili  $u_1, u_2, \dots, u_n$ : ad esempio,  $u_1 = 34$  (temperatura in gradi centigradi),  $u_2 = 70$  (percentuale di umidità dell'aria), etc.
- *parametri del sistema*: questi sono i valori numerici  $p_1, p_2, \dots, p_r$  che descrivono l'architettura del sistema e ne determinano il funzionamento (i.e. come gli input modificano gli output). Alcuni parametri (e.g. volume dei vasi, numero di piante, etc) sono accessibili, altri devono essere

3| Lennart, Ljung. "System identification: theory for the user." PTR Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ (1999): 1-14.

4| Hardt, Moritz, Tengyu Ma, and Benjamin Recht. "Gradient descent learns linear dynamical systems." *The Journal of Machine Learning Research* 19.1 (2018): 1025-1068.

5| Wenk, Philippe, et al. "ODIN: ODE-Informed Regression for Parameter and State Inference in Time-Continuous Dynamical Systems." AAAI. 2020.

6| Peters, Jonas, Dominik Janzing, and Bernhard Schölkopf. *Elements of causal inference*. The MIT Press, 2017.

stimati statisticamente (ad esempio, le resistenza degli stomi fogliari, vedi discussione sopra).

- *variabili di output*: queste sono le variabili di interesse per l'utente, ad esempio la dimensione dei frutti o la salute della pianta. I valori numerici di queste variabili sono generalmente indicati come  $y_1, \dots, y_m$ .

Un modello a equazioni strutturali e' composto da una serie di funzioni  $f_1, f_2, \dots, f_m$ , dipendenti dai parametri  $p_1, p_2, \dots, p_r$  che legano gli input agli output. Matematicamente, il modello e' una serie di equazioni della forma

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(t; u_1, u_2, \dots, u_n; p_1, p_2, \dots, p_r) \\ y_2 &= f_2(t; u_1, u_2, \dots, u_n; p_1, p_2, \dots, p_r) \\ &\dots \\ y_m &= f_m(t; u_1, u_2, \dots, u_n; p_1, p_2, \dots, p_r) \end{aligned}$$

dove  $t$  indica il tempo in secondi dall'inizio dell'esperimento, e lo stato iniziale del sistema è noto. Un corretto modello a equazioni strutturali può essere di estrema importanza per l'utente: consente di effettuare previsioni sull'evoluzione del sistema, e permette di studiare l'effetto delle variabili d'ingresso sulla produzione.

Esempio: In acquaponica, il coefficiente di aumento del peso di un pesce (uscita del sistema,  $y_1$ ) può' essere modellato<sup>7</sup> con la seguente equazione:

$$y_1 = f_1(t, u_1, p_1, p_2, p_3, p_4) = [p_1^{1-p_3} + (1-p_3) p_2 e^{p_4 u_1 t}]^{1/(1-p_3)}$$

dove  $p_1$  è il peso iniziale del pesce,  $p_2, p_3, p_4$  sono parametri dipendenti dalla specie del pesce e  $u_1$  è la temperatura dell'acqua. È chiaro come qui  $p_2, p_3, p_4$  siano potenzialmente ignoti. Risulta perciò interessante la progettazione di un algoritmo di stima a partire da dati sensoristici.

<sup>7</sup> Ahmed, Ayyaz, et al. "Digital Twin Technology for Aquaponics: Towards Optimizing Food Production with Dynamic Data Driven Application Systems." Asian Simulation Conference. Springer, Singapore, 2019.

### Stima e predizione in modelli a equazioni strutturali

I modelli a equazioni strutturali sono identificabili con moderni algoritmi di apprendimento automatico. L'algoritmo più studiato e applicato per questo problema va sotto il nome di *invariant causal prediction* (ICP)<sup>8</sup>. Una volta stimato, il sistema può essere simulato numericamente e una predizione della dinamica futura delle variabili di output può essere fornita all'utente.

Inoltre, nel momento in cui l'utente espliciti i valori ottimali per le variabili di output, è possibile fornire una stima dei valori ottimali di input. Ad esempio, se la variabile di interesse è la dimensione del frutto entro 3 giorni dall'inizio dell'esperimento, un semplice calcolo inverso (a.k.a. reverse engineering) può fornire – se il sistema è stato correttamente identificato – i valori ottimali di temperatura e umidità.

<sup>8</sup> Heinze-Deml, Christina, Jonas Peters, and Nicolai Meinshausen. "Invariant causal prediction for nonlinear models." Journal of Causal Inference 6.2 (2018).

L'approfondimento sopra esposto pone le basi per lo sviluppo del back-end matematico che serve a supporto della piattaforma, la quale, attraverso il framework del front-end descritto in precedenza, rende fruibile, usabile, da parte dell'utente, la modellizzazione del sistema di coltivazione.

Gli step successivi, dunque, per il back-end matematico sono:

1. immaginare un sistema di coltivazione più semplice possibile;
2. screening dei modelli in letteratura: cercare documentazione su come tutti i componenti del sistema interagiscono (vd. esempio del pesce);
3. trovare un'equazione per ogni proprietà di ogni elemento del sistema che descrive qualche processo (cfr. Goddek, S., & Korner, O. (2019). A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: a case study for system sizing in different environments. Agricultural Systems, 171.);
4. simulare l'evoluzione del sistema a partire da parametri realistici. Con la procedura delineata sopra, capire se in questo sistema è possibile, a partire dalle dinamiche simulate, identificare (stimare) i parametri ignoti (e.g. resistenza stomi fogliari) all'utente, ma specifici per il suo sistema.
5. ricreare un sistema reale più semplice possibile (e.g. sistema acquaponico).
6. raccogliere la dinamica degli indicatori di interesse (quanto cresce, ecc...).
7. capire, tramite una procedura di identificazione di sistema a partire da

questi dati reali, quali i parametri del modello adatti a descrivere la dinamica.  
 8. a partire da questi parametri, è possibile (1) stimare la dinamica futura (2) capire e suggerire decisioni future.

Attraverso la piattaforma, l'utente quindi definisce i suoi indicatori di interesse (output di una pianta, ottimo fisiologico, ottimo ecologico, dipendenza dagli input, ecc) e la piattaforma suggerisce i valori ottimali dei parametri modificabili dall'utente.

### 8.5.3 Sviluppi del back-end informatico

In seguito si vogliono elencare gli step da compiere per l'abilitazione del sistema informatico proposto con la piattaforma:

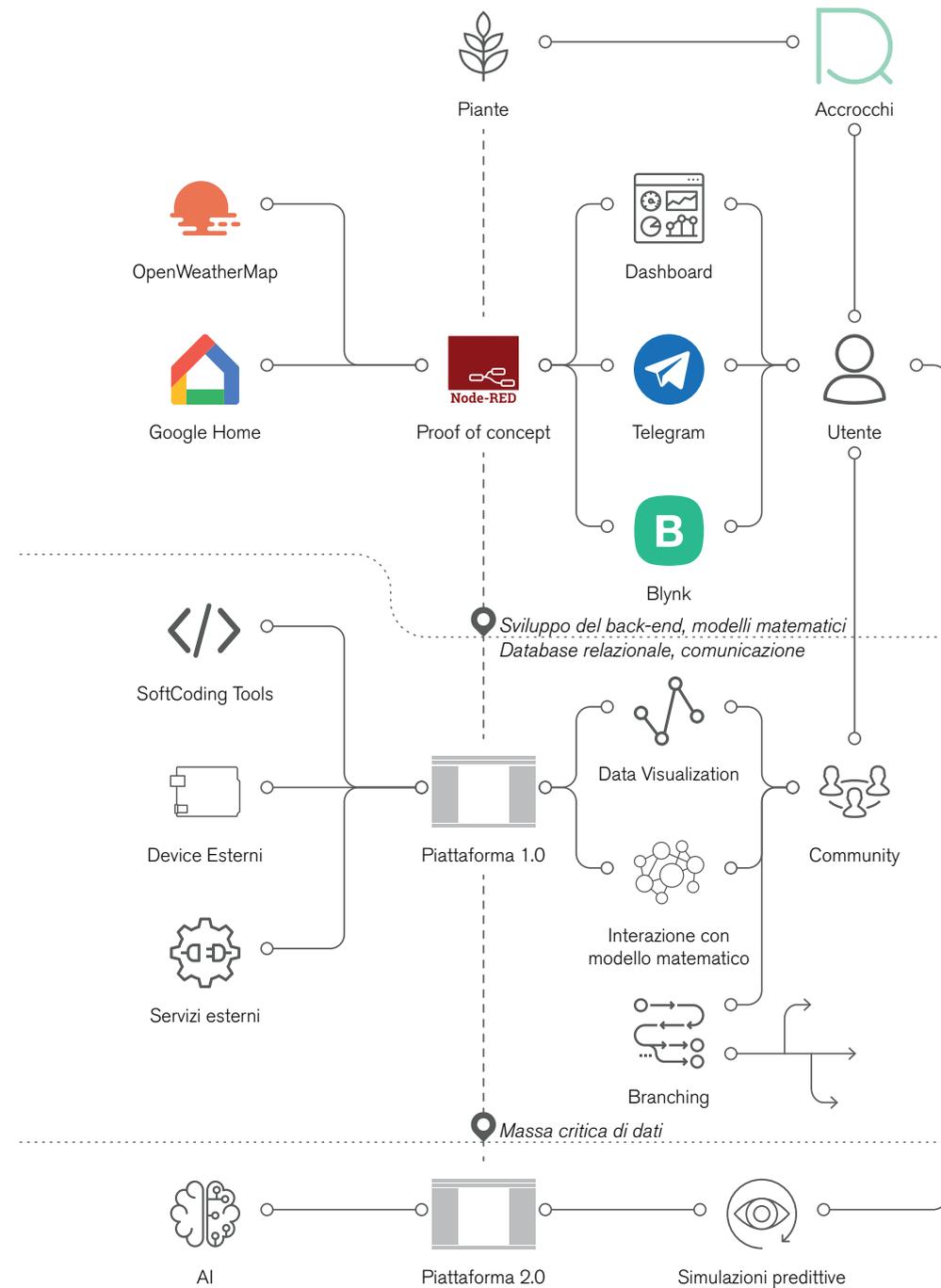
#### Piattaforma 1.0:

1. Creazione di un database relazionale.
2. Sviluppo informatico della piattaforma.
3. Integrazione di metodi di comunicazione.
4. Integrazione o sviluppo di tools per il soft coding per abilitare gli utenti a modellizzare e mappare relazioni
5. Sviluppo di strumenti per l'integrazione di librerie che abilitano a loro volta l'integrazione di device e servizi esterni.
6. Sviluppo di strumenti per data visualization.
7. Sviluppo di strumenti per l'interazione da parte dell'utente con il modello matematico (strumento di mappatura del sistema).

#### Piattaforma 2.0

8. Analisi di Big data.
9. Sviluppo di algoritmi per intelligenza artificiale e simulazioni predittive.

Si vuole sottolineare che la progettazione del back-end è fuori dallo scopo di questa tesi, ma è possibile inserire questi ragionamenti e idee in un progetto più grande e ambizioso.





## 9 Conclusioni

Lo scopo della tesi di ricerca esplorativa e prototipazione esposta è comprendere e comunicare quali possono essere le azioni percorribili al fine di abilitare un futuro rigenerativo nell'ambito dell'agricoltura, intesa come sistema socio-economico, e perciò determinante sia per l'uomo, sia per gli ecosistemi.

Le pratiche bottom-up abilitate dall'elettronica accessibile, dall'IoT e dall'applicazione della filosofia Open Source a varie tecnologie permettono – e di ciò ne abbiamo documentato un esempio con Accrocchio – lo sviluppo di sistemi cyber-fisici che potenziano la comprensione dell'uomo sui processi naturali al fine di abilitare gli utenti ai processi decisionali in base al proprio contesto.

Accrocchio vuole essere un'affordance: un ponte tra lo status quo e la transizione, che permette di rispondere alle esigenze espresse (monitoraggio, controllo, automatizzazione al fine di ottenere un output, che sia produttivo o che sia emotivamente soddisfacente) dell'utente interessato alla coltivazione, e anche quelle inesprese del sistema socio-ecologico.

La possibilità di espansione, integrazione, adattamento e autoriproduzione del sistema proposto, e la conseguente capacità di acquisizione e distribuzione di conoscenze secondo più punti di vista, ovvero secondo più indicatori che guidano le scelte, possono permettere di scardinare i valori di competizione e dominio del paradigma dominante, portando all'attuazione dal basso di pratiche agroecologiche.

Il progetto qui esposto e proposto vuole essere uno step iniziale per la realizzazione di scopi più ambiziosi che possono portare ad una transizione su scale maggiori. La piattaforma, in particolare, si ritiene sia uno strumento essenziale a tal scopo. Sebbene non sia stata definita in maniera impeccabile per inevitabile mancanza di competenze tecniche e conoscenze relative ad un ambito così complesso, e per questioni circostanziali, si è cercato di esporre alcune funzioni e azioni per predisporre la sua realizzazione futura, cercando inoltre di definire un ordine di step futuri plausibili.

Uno dei problemi circostanziali è stato sicuramente l'emergenza sanitaria causata dal Covid-19, che non ci ha permesso di prototipare i moduli Accrocchio nella forma derivata dalla progettazione dei componenti custom quali case stampato in 3D, pannello frontale tagliato al laser e pcb incisa tramite macchinario CNC. Il prototipo realizzato e documentato attraverso gli elaborati fotografici mostrati in precedenza, svolge comunque le funzioni proposte di monitoraggio e di controllo dell'ambiente di coltivazione e, oltretutto, si è rivelato un dimostratore dell'auto-producibilità di Accrocchio e della sua possibilità di essere costruito e riprodotto senza i componenti custom sopra citati.

## 9.1 Adesione alle linee guida

- **Open Source:** la realizzazione del sistema cyber-fisico Accrocchio è stata fatta utilizzando solo componenti elettronici, strumenti, tecnologie e metodi di produzione Open Source. Ciò abilita il continuo sviluppo del prodotto e del sistema da parte degli autori della tesi grazie al contributo di *communities* interessate in maniera accessibile.
- **Componenti e protocolli standard:** i componenti custom documentati, sebbene non possano essere considerati componenti standard, sono stati progettati in maniera tale da essere riprodotti attraverso metodi di produzione accessibili: strumenti desktop presenti in quasi qualunque Fablab o commissionabili online con prezzi accessibili. Altri componenti, quali viti, dadi, ecc... sono pezzi standard, acquistabili ovunque. Analogamente, i protocolli di comunicazione di cui si è usufruito sono tra i più utilizzati attualmente per le comunicazioni tra i dispositivi IoT.
- **Scalabilità:** nonostante lo strumento Accrocchio sia pensato per colture su scala micro, le potenzialità delle tecnologie utilizzate permettono, in un futuro prossimo, l'applicazione di ramificazioni del progetto su ulteriori scale. La piattaforma proposta ha la grande potenzialità di svilupparsi per coprire ambiti maggiori grazie alla sua natura di spazio virtuale. Inoltre l'acquisizione di ipoteticamente big data abilita una modellizzazione sempre più precisa degli ambienti di coltivazione, permettendo un'ottimizzazione di sistemi su scale maggiori sempre più complessi.
- **Espandibilità:** la flessibilità dello strumento permette l'espansione in altri ambiti e su altri sistemi; l'acquisizione dati di un ambiente di coltivazione domestico, per esempio, permette, se associato ad altri dispositivi domotici, una migliore gestione dei flussi energetici della casa. Inoltre attraverso la mappatura della coltivazione e la relativa integrazione con nuovi nodi (elementi), si può espandere il limite di riferimento del proprio sistema (ricordiamo che l'agricoltura è un considerato come un sistema socio-ecologico, e quindi ha ripercussioni su aspetti sia sociali, sia ambientali) aumentando la capacità percettiva dell'utente.
- **Riproducibilità:** la documentazione proposta, diffondibile online, permette la riproduzione dello strumento e delle relative funzioni.
- **Auto-producibilità:** come già anticipato, la realizzazione di un ulteriore Accrocchio è un'operazione altamente fattibile attraverso strumenti accessibili.
- **Adattabilità:** il sistema, essendo flessibile e Open, è in grado di adattarsi a svariati contesti grazie all'implementazione e specializzazione delle funzioni da parte degli utenti. Un esempio che fa riferimento ad Accrocchio è la pos-

sibilità di inserimento di un nuovo sensore in maniera relativamente semplice attraverso i pin predisposti. Inoltre i quattro moduli proposti si adattano ad ogni tipo di coltivazione su micro-scala, limitati solo dal numero di piante monitorabili individualmente.

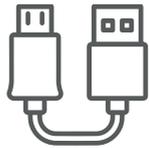
- **Modularità:** il progetto Accrocchio si basa su quattro moduli base interfacciati tramite un modulo controllore (Raspberry Pi), che permettono una disposizione spaziale flessibile. Per quanto riguarda la piattaforma, la modellizzazione del sistema è un processo modulare: l'inserimento di elementi tramite nodi da parte della community corrisponde ad aggiungere una nuova equazione che aggiunge un livello di ottimizzazione dei sistemi di coltivazione.
- **Integrabilità:** si è dimostrato come sia possibile integrare nel sistema cyber-fisico devices e servizi esterni al fine di implementarne la capacità e si sono predisposte affordances per l'integrazione di nuovi sensori e attuatori nei moduli progettati. La piattaforma proposta ipoteticamente può permettere l'integrazione di conoscenze attraverso dati in input, documentazione, istruzioni e soft-coding.



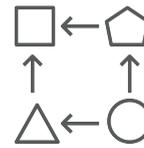
**Open Source**  
- Componenti elettronici  
- Strumenti  
- Tecnologie  
- Metodi di produzione



**Auto-produciibilità**  
- Documentazione  
- Strumenti accessibili



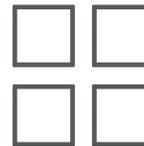
**Componenti e protocolli standard**  
- Componenti  
- Metodi di produzione  
- Protocolli di comunicazione



**Adattabilità**  
- Più contesti di coltivazione  
- Fessibilità data dai moduli  
- Branching e specializzazione



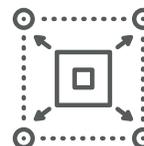
**Scalabilità**  
- Microfarms  
- Sistemi più complessi



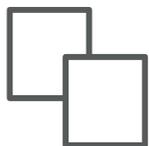
**Modularità**  
- Disposizione più flessibile  
- Modellizzazione come processo modulare



**Espandibilità**  
- Altri ambiti  
- Limite di riferimento del sistema



**Integrabilità**  
- Devices esterni  
- Servizi esterni  
- Conoscenze



**Riproducibilità**  
- Documentazione  
- Open Source

## 9.2 Outcomes

Il sistema cyber-fisico Accrocchio è funzionante e permette di coltivare meglio, automatizzando i processi noiosi e ripetitivi e permettendo scelte decisionali migliori. Si è cercato di aumentare la capacità interpretativa dei dati attraverso grafici e notifiche puntuali.

Accrocchio rappresenta un punto di partenza per progetti più grandi e per abilitare le linee guida della FAO in ambito agroecologia (vd. paragrafo 3.2 "Agroecologia").

Non è stata prerogativa della tesi indagare, per quanto riguarda la piattaforma, un linguaggio visivo atto ad una UI/UX ottimale. Le rappresentazioni grafiche vogliono essere materiale comunicativo per abilitare uno sviluppo successivo.

## 9.3 Ricadute

Con ricadute intendiamo come il sistema che abbiamo definito possa ipoteticamente portare a nuove opportunità (rendere possibile; mettere in grado di, provocare, generare). Premettiamo che gli ambiti agricolo, ambientale, sociale ed economico sono, in questo elaborato, considerati come strettamente correlati, perciò i seguenti punti si riferiscono, in percentuali diverse, a tutti gli ambiti sopracitati.

- La produzione di vegetali in casa comporta vari benefici: inanzitutto cibo fresco, a km0 e senza pesticidi o fitofarmaci chimici; successivamente, come si è già dimostrato nei capitoli riguardanti le piante, esse hanno capacità terapeutiche per l'uomo, a livello psicologico in quanto riducono lo stress, e fisico, depurando l'aria, emanando ossigeno, ecc... (vd. paragrafo 2.4 "Servizi ecosistemici delle piante" e 2.5 "Benefici dell'interazione uomo - pianta").
- La piattaforma, attraverso lo sviluppo e integrazione di librerie riguardanti altri ambiti, oltre quello della coltivazione (e.g. settore industriale o domotico), ha le potenzialità di diventare uno strumento molto espandibile per la gestione e ottimizzazione di processi di sistemi cyber-fisici in generale, permettendo agli utenti di accedere in maniera semplificata a tecnologie che allo stato dell'arte sono proibitive a causa di strumenti chiusi e della competenza pregressa necessaria molto alta.
- In base all'indagine sociologica sotto forma di questionario, molte persone che avrebbero desiderio di coltivare in casa sono limitate dal farlo per mancanza di conoscenze sia pregresse, ovvero non hanno conoscenza a suf-

ficienza per decidere come iniziare e quale sistema di coltivazione sia loro più vantaggioso, nè sanno come attuarlo; sia "di mantenimento", ovvero quali decisioni fare al fine di coltivare nel tempo, o mancanza di tempo. La maggior parte degli intervistati, inoltre, hanno dichiarato che sarebbero disposti ad investire in uno strumento in grado di aiutarli nel coltivare. Riteniamo, quindi, che un sistema come quello delineato, possa essere uno strumento di gran supporto per utenti poco esperti per iniziare a coltivare e ad apprendere nel tempo pratiche ottimali.

- L'eco-alfabetizzazione che la piattaforma si prefigge di restituire, riunendo e distribuendo conoscenze e modelli, permette di comprendere meglio i processi e i flussi ecologici. La mappatura, a tal proposito è uno strumento importante in quanto abilitante per un approccio sistemico applicato all'ambiente di coltivazione. Si ritiene che già solo il considerare interno al sistema di coltivazione, mappandolo, un elemento alieno da esso (erbacce, insetti, ecc), e osservando le sue influenze (a volte sinergiche) permetta di comprendere intuitivamente che il paradigma dominante, il quale vede la pianta come un essere di seconda classe e verte unicamente sul fattore produttività, è obsoleto. Si abilita quindi l'utente ad acquisire agency, ovvero un "ruolo di presenza" nel suo ambiente, aumentando su più scale ed espandendo i limiti del sistema di riferimento oltre quelli naturalmente percepibili. Gli sviluppi proposti possono educare gli utenti meno consapevoli sul come le piante vivono, quindi avviare un dialogo e presa di coscienza sul mondo vegetale. Ciò abilita un processo di riconoscimento degli esseri viventi piante, dando loro più dignità. Riconsiderare la loro presenza all'interno del sistema sociale che si è costruito con relativi benefici ecosistemici, in particolare negli spazi urbani si ritiene uno step importante per attuare la ricucitura della frattura individuale e conseguente scalabilità su fratture di scala maggiore.
- Il continuo sviluppo (branches, integrazione, implementazione, ecc...) che ci si augura da questo progetto lo si può considerare come un processo abilitante per gli utenti per co-evolvere nel tempo con esso, imparando nuove competenze e passando da un sistema di coltivazione su micro-scala ad una scala maggiore: da coltivare in balcone, per esempio, ad una micro serra; oppure intraprendere una piccola attività come microfarm. Ciò implica più cibo locale km0 e filiera più corta.
- Il rischio di intraprendere un tale sviluppo o crescita è limitato poiché, essendo quello proposto uno strumento Open Source, permette un relativamente più basso investimento iniziale.
- Questo strumento potrebbe essere sfruttato per la ricerca nel campo agroecologico, grazie alla raccolta dati (database aperto) e alla sperimentazione, e per prendere decisioni riguardo contesti locali da parte di governances.

- L'insieme dei valori dei parametri dei modelli di coltivazione, unici per ogni utente, permettono una produzione ottimizzata per il contesto specifico. Ciò abilita la produzione locale di cibo secondo principi agroecologici.
- L'inserimento di elementi tramite nodi da parte della community implica, come già detto, uno spostamento della percezione del limite del sistema ad al di fuori dal limite percettivo convenzionale. Inoltre ciò abilita il riconoscimento della biodiversità come proprietà fondamentale di un sistema complesso che abilita la resilienza, intesa secondo i tre punti esplicitati da Darnhofer (vd. paragrafo 3.2.1 "Resilienza"): capacità di buffer, capacità adattiva, capacità trasformativa.
- In ultima, questo strumento ha le potenzialità di co-ecolvere con una community, abilitando opportunità che non si è al momento ancora in grado di ipotizzare.

## 10 Fonti

### 10.1 Consulenti

Antonio Orvieto, studente PhD nel "Data Analytics Lab" del Dipartimento di Computer Science dell'ETH di Zurigo. Sito web personale: <http://orvi.altervista.org/>

Marco Cataffo, studente PhD in "Design, Produzione e Management" al Politecnico di Torino, nonché nostro correlatore, il quale ci ha guidati diffondendoci, entro i limiti del possibile, il suo sapere.

Comuni di:

- Arduino
- NodeMCU
- Raspberry Pi
- Node-RED
- Adafruit

### 10.2 Bibliografia

Affairs, U. D. of E. and social. (2019). *World Population Prospects 2019. Highlights*. Retrieved from [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_Highlights.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf)

Allen, T. F. H., Hoekstra, T. W., & Vandewater, J. V. (2015). *Toward a Unified Ecology* (2 edizione; C. U. Press, Ed.).

Altieri, M. (1995). *Agroecology: The science of sustainable Agriculture* (W. Press, Ed.). Boulder.

Altieri, M., Nicholls, C., & Funes, F. (2012). *The scaling up of agroecology: spreading the hope for food sovereignty and resiliency*.

Anderson, C. (2013). *Makers. Il ritorno dei produttori*. Per una nuova rivoluzione industriale (Rizzoli, Ed.). Segrate.

Andreozzi, M. (2011). *Verso una prospettiva ecocentrica. Ecologia profonda e pensiero a rete* (LED Edizioni Universitarie, Ed.). Retrieved from <https://www.ledonline.it/laboratorioteoretico/allegati/482-ecologia-profonda-pensiero-rete.pdf>

Appleton, B., Berckuz, S., Cabrera, R., & Orenstein, R. (1998). *Streamed Lines: Branching Patterns for Parallel Software Development*. Hillside.Net.

Art, F., & Balfe, M. (2015). *Farm as Mind : Bateson's Criteria of Mind Applied to the Irish*

*Farm Marian Balfe Thesis Supervisor* : Dr Francis Halsall National College of Art and Design Faculty of Visual Culture. National College of Art and Design History of Art and Fine Art , Painting.

Artiola, J., Pepper, I. L., & Brusseau, M. L. (2004). *Environmental Monitoring and Characterization* (A. Press, Ed.). Cambridge.

Baker-Smith, K., Boruss, S., & Attila, M. (2016). *What is land grabbing? A critical review of existing definitions*.

Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind* [trad. it. *Verso un'ecologia della mente*, Adelphi, Milano, 2007 (XXIV° ed.)]. In Chandler publications for health sciences.

Bennett, S. (1993). *A History of Control Engineering 1930–1955* (P. P. Ltd., Ed.). Londra.

Betts, J. R., & Morell, D. (1999). *The Determinants of Undergraduate Grade Point Average: The Relative Importance of Family Background, High School Resources, and Peer Group Effects*. *Journal of Human Resources*, 34.

Bonomi, C. (2012). *Fenologia: cicli di crescita e sviluppo delle piante*. Retrieved from [https://www2.muse.it/servizi\\_educativi/docenti/corsi/2012-2013/corso\\_fenologia/documenti/Modulo1\\_fenologia\\_Bonomi\\_2012.pdf](https://www2.muse.it/servizi_educativi/docenti/corsi/2012-2013/corso_fenologia/documenti/Modulo1_fenologia_Bonomi_2012.pdf)

Bortoft, H. (1996). *The wholeness of nature: Goethe's way of science*. Edinburgh: Floris Books.

Bounoa, L., Defries, R. S., Collatz, G. J., Sellers, P. J., & Khan, H. (2002). *Effects of Land Cover Conversion on Surface Climate*. *Climatic Change*, 52.

Bryant, D. A., & Frigaard, N. U. (2006). *Prokaryotic photosynthesis and phototrophy illuminated*. *Trends in Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2006.09.001>

C, D. K., W, V., & R, B. (1999). *Nutrient solutions and water quality for soilless cultures*. Research Station for Floriculture and Glasshouse Vegetables (PBG).

Capra, F., & Lappè, A. (2017). *Agricoltura e cambiamento climatico* (A. Edizioni, Ed.). Sansepolcro.

Capra, F., & Luisi, P. L. (2014). *The Systems View of Life*. In *The Systems View of Life*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511895555>

Ciccarese Mimmo. (2016, June 1). *Biologico è naturale o naturale è biologico?* Retrieved July 5, 2020, from <https://www.teatronaturale.it/pensieri-e-parole/editoriali/23138-biologico-e-naturale-o-naturale-e-biologico.htm>

Coetzee, L., & Eksteen, J. (2011). *The internet of things - Promise for the future? An introduction*. 2011 IST-Africa Conference Proceedings, IST 2011, 1–9.

Commission, E. (2019). *The European Green Deal*. Retrieved from [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)

eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\_1&format=PDF

Commission, F. A. O., Genetic, O. N., & For, R. (2019). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. In *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.4060/ca3129en>

Corrado, A. (2010, September). *Sovranità alimentare: la proposta alternativa della Via Campesina | Agriregionieuropa*. Retrieved July 5, 2020, from Agriregionieuropa anno 6 n°22 website: <https://agriregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/22/sovranita-alimentare-la-proposta-alternativa-della-campesina>

Dale, V. H., Brown, S., Haeuber, R., Hobbs, N. T., Huntly, N., Naiman, R. J., ... Valone, T. J. (2000). *Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land*. *Ecological Applications*, 10.

Darnhofer, I., Lamine, C., Strauss, A., & Navarrete, M. (2016). *The resilience of family farms: Towards a relational approach*. *Journal of Rural Studies*, 44, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.01.013>

De Lucia, B. (2018). *Serre ed impianti per la floricoltura*. Retrieved from <https://www.uniba.it/docenti/de-lucia-barbara/attivita-didattica/serreeimpianti13marzo2018.pdf>

De Schutter, O. (2010). *Agroecology and the Right to Food*. Report Submitted by the Special Rapporteur on the Right to Food.

D'Emilio, A. (2014). *Controllo del clima. Sistemi computerizzati di controllo climatico*. Retrieved from <http://www.leopoldia.eu/wp-content/uploads/2014/03/Controllo-del-clima-DEmilio.pdf>

Dincer, C., Bruch, R., Costa-Rama, E., Fernandez-Abedul, M. T., Merkoci, A., Manz, A., ... Guder, F. (2019). *Disposable Sensors in Diagnostics, Food, and Environmental Monitoring*.

*Division of the Food and Agriculture Organization for the United Nations*, 2013. (2013). FAOSTAT data. In FAO.

El Saddik, A. (2018). *Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies*. *IEEE MultiMedia*, 25(2), 87–92. <https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167>

Erboz, G. (2017). *How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0*. Szent Istvan University - Faculty of Economics and Social Sciences, Business and Management, (November 2017), 1–8.

FAO. (2016). *Guiding the Transition To Sustainable Food and Agricultural Systems the 10 Elements of Agroecology*.

FAO. (2016). *Scaling-Up integrated rice-fish systems. Tapping ancient Chinese know-how*. Retrieved from [www.fao.org/3/a-i4289e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4289e.pdf)

- FAO. (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*.
- FAO. (2019). *Fao 2019 - Lo Stato Della Biodiversità Del Mondo Per L'alimentazione E L'agricoltura*.
- Favareau, D., Cobley, P., & Kull, K. (2012). *A More Developed Sign: Interpreting the Work of Jesper Hoffmeyer* (U. of T. Pr, Ed.).
- Fornasini, E., & Marchesini, G. (1990). *Teoria dei Sistemi* (L. Progetto, Ed.). Padova.
- Frank, B. (2017). *Urban Systems: A Socio-Ecological System Perspective*. *Sociology International Journal*, 1(1). <https://doi.org/10.15406/sij.2017.01.00001>
- Funabashi, M. (2016). *Synecological farming: Theoretical foundation on biodiversity responses of plant communities*. *Plant Biotechnology*, 33(4), 213–234. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.16.0219a>
- Gallavotti, A., Malcomber, S., Gaines, C., Stanfield, S., Whipple, C., Kellogg, E., & Schmidt, R. J. (2011). *BARREN STALK FASTIGIATE1 Is an AT-Hook Protein Required for the Formation of Maize Ears*. *The Plant Cell*, 23(5), 1756–1771. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.084590>
- Ganesh, K. (2010). *Modern General Knowledge* (U. Prakashan, Ed.).
- Garfield, S. *Communities Manifesto*, (2010).
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). *Precision Agriculture and Food Security*. *Science*, 327(5967), 828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- Ghosh, A., & Corves, B. (2015). *Introduction to Micromechanism and Microactuators* (Springer, Ed.). Berlino.
- Gianquinto Prosdomici, G. (2011). *Il ruolo multifunzionale dell'Orticoltura Urbana*. Padova.
- Gigerenzer, G., & Selten, R. (2002). *Bounded Rationality. The Adaptive Toolbox* (M. Press, Ed.).
- Giribaldi Davide. (2019, February 26). *Intelligenza artificiale, tutti i pregiudizi (bias) che la rendono pericolosa: ecco i rischi di discriminazione algoritmica*. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/intelligenza-artificiale-tutti-i-pregiudizi-bias-che-la-rendono-pericolosa/>
- Goddek, S., & Korner, O. (2019). *A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: a case study for system sizing in different environments*. *Agricultural Systems*, 171.
- Goldewijk, K. K. (2001). *Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE database*. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(2), 417–433. <https://doi.org/10.1029/1999GB001232>
- Golio, M. (2007). *RF and Microwave Passive and Active Technologies* (CRC Press, Ed.). Boca Raton, USA.
- Grandgirard, J., Poinot, D., Krespi, L., Nénon, J. P., & Cortesero, A. M. (2002). *Costs of secondary parasitism in the facultative hyperparasitoid Pachycrepoideus dubius: Does host size matter?* *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 103(3), 239–248. <https://doi.org/10.1023/A>
- Gruissem, W., Buchanan, B., & Jones, R. (2000). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (ASPP, Ed.). Rockville MD.
- Hall, A. D., & Fagen, R. E. (2017). *Definition of system*. In *Systems Research for Behavioral Science: A Sourcebook*.
- Hannah Ritchie, M. R. (n.d.). *Fertilizers - Our World in Data*. Retrieved July 5, 2020, from <https://ourworldindata.org/fertilizers>
- Hannah Ritchie, M. R. (2019, September). *Land Use - Our World in Data*. Retrieved July 5, 2020, from <https://ourworldindata.org/land-use>
- Hardt, Moritz, Tengyu Ma, and Benjamin Recht. *Gradient descent learns linear dynamical systems*. *The Journal of Machine Learning Research* 19.1 (2018): 1025-1068.
- Heath Nick. (2014, March 13). *How IBM's Node-RED is hacking together the internet of things* - TechRepublic. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.techrepublic.com/article/node-red/>
- Houghton, R. A. (1999). *The U.S. Carbon Budget: Contributions from Land-Use Change*. *Science*, 285(5427), 574–578. <https://doi.org/10.1126/science.285.5427.574>
- Ingersoll, R., Fucci, B., & Sassatelli, M. (2007). *AGRICivismo. Agricoltura urbana per la riqualificazione del paesaggio*. REGIONE EMILIA-ROMAGNA.
- Jagmohan Sharma. (2018). *What is importance of plants and trees in our life?* Retrieved from [https://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_importance\\_of\\_plants\\_and\\_trees\\_in\\_our\\_life/5b63e3085801f29e2d43bf58/citation/download](https://www.researchgate.net/post/What_is_importance_of_plants_and_trees_in_our_life/5b63e3085801f29e2d43bf58/citation/download)
- Jeremy Rifkin. (2014). *La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo*.
- Johnson, A. J., Meyerson, E., de la Parra, J., Savas, T. L., Miikkulainen, R., & Harper, C. B. (2019). *Flavor-cyber-agriculture: Optimization of plant metabolites in an open-source control environment through surrogate modeling*. *PLOS ONE*, 14(4), e0213918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213918>
- Justin Lahart. (2009, November 27). *Taking an Open-Source Approach to Hardware*. *The Wall Street Journal*.
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). *A review of social science on digital agriculture*.

- re, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91.
- Kuhn, T. S., & Hawkins, D. (1963). *The Structure of Scientific Revolutions*. American Journal of Physics. <https://doi.org/10.1119/1.1969660>
- Labs, S. (2013). Si1145 Datasheet.
- Lee, K. N., & Andrew, G. (2000). *The Human Impact on the Natural Environment* (5th edn.). Climatic Change, 54.
- Leff, B., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2004). *Geographic distribution of major crops across the world*. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(1), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2003GB002108>
- Lennart, Ljung. *System identification: theory for the user*. PTR Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ (1999): 1-14.
- Lin, B. (2011). *Effects of industrial agriculture on climate change and the mitigation potential of small-scale agro-ecological farms*. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 6(020). <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20116020>
- Lopreato, J., & von Bertalanffy, L. (1970). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. *American Sociological Review*. <https://doi.org/10.2307/2093003>
- Lowder, S. K., Skoet, J., & Raney, T. (2016). *The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide*. *World Development*, 87, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>
- Ma, H.-D. (2011). *Internet of things: objectives and scientific challenges*. *Journal of Computer Science and Technology*.
- Mancuso, S. (2018). *L'incredibile viaggio delle piante* (7 edizione; Laterza, Ed.). Bari.
- Mancuso, S., & Viola, A. (2013). *Verde Brillante* (Giunti, Ed.). Firenze.
- Marino, D., & Cavallo, A. (2014). *Agricoltura, cibo e città. Verso sistemi socioecologici resilienti*. Retrieved from [http://www.cursa.it/wp-content/uploads/2018/11/CURSA\\_pasSaggi\\_agricoltura\\_cibo\\_citta-compressed-1.pdf](http://www.cursa.it/wp-content/uploads/2018/11/CURSA_pasSaggi_agricoltura_cibo_citta-compressed-1.pdf)
- Marjolein Elings. (2006). *People-plant interaction - The physiological, psychological and sociological effects of plants on people*.
- Martellozzo, F., Landry, J. S., Plouffe, D., Seufert, V., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2014). *Agricoltura urbana: un'analisi globale del vincolo spaziale per soddisfare la domanda di ortaggi urbani*.
- Martin, G., Clift, R., & Christie, I. (2016). *Urban Cultivation and Its Contributions to Sustainability: Nibbles of Food but Oodles of Social Capital*. *Sustainability*, 8(5), 409. <https://doi.org/10.3390/su8050409>
- Matteo Andreozzi. (2011). *Verso una prospettiva ecocentrica - Ecologia profonda e pensiero a rete*. Milano: Edizioni Universali di Lettere Economia e Diritto.
- Matthew Mason. (n.d.). *Agriculture: History & Introduction* | EnvironmentalScience.org. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.environmentalscience.org/history-agriculture>
- McClintock, N. (2010). *Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift*. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(2), 191–207. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsq005>
- Meadows, D. H. (2019). *Pensare per sistemi. Interpretare il presente, orientare il futuro verso uno sviluppo sostenibile* (Guerini Next, Ed.). Milano.
- Michael Pollan. (2013). Presentazione a *Verde brillante* di S.Mancuso, A.Viola (Giunti, Ed.). Firenze.
- Monfreda, C., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2008). *Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000*. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1). <https://doi.org/10.1029/2007GB002947>
- Moore, G. E. (2006). *Cramming more components onto integrated circuits*, Reprinted from *Electronics*, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff. *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, 11(3), 33–35. <https://doi.org/10.1109/N-SSC.2006.4785860>
- Moore, G. E., & Brock, D. (2006). *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation* (C. H. Press, Ed.). Philadelphia.
- Moskowitz, S. L. (2016). *Advanced Materials Innovation. Managing Global Technology in the 21st century* (Wiley, Ed.). Hoboken, USA.
- Motoyoshi, M. (2009). *Through-Silicon Via (TSV)*. *Proceedings of the IEEE*, 97(1), 43–48. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2008.2007462>
- Neary Dave. (2018, February 1). *6 pivotal moments in open source history* | Opensource.com. Retrieved July 5, 2020, from <https://opensource.com/article/18/2/pivotal-moments-history-open-source>
- Norman, D. (2003). *Emotional design. Perché amiamo (o odiamo) gli oggetti della vita quotidiana* (Apogeo, Ed.). Milano.
- Oehen, B., Hilbeck, A., Herren, H., Müller, A., Home, R., Hoffmann, U., ... Pimbert, M. (2015). *Feeding the people - AGROECOLOGY FOR NOURISHING THE WORLD AND TRANSFORMING THE AGRI-FOOD SYSTEM*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4662.6003>

- Paola Antonelli. (2020, March 24). *Il ruolo del design in tempi d'ansia e cambiamento - Domus*. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.domusweb.it/it/design/2020/03/23/il-ruolo-del-design-in-tempi-dansia-e-cambiamento.html>
- Pasquale, C. (2018). *Smart Agriculture dal 4.0 al 5.0*. Retrieved from [https://www.eima.it/pdf/eima-campu-2018/Smart Agriculture dal 4.0 al 5.0 \(P. Catalano\).pdf](https://www.eima.it/pdf/eima-campu-2018/Smart%20Agriculture%20dal%204.0%20al%205.0%20(P.%20Catalano).pdf)
- Pauli, G. (2018). *Economia in 3D. L'intelligenza della natura* (Edizioni Ambiente, Ed.).
- Pearce, D. W. (2001). *The Economic Value of Forest Ecosystems*. *Ecosystem Health*, 7.
- Pielke, R. A., Marland, G., Betts, R. A., Chase, T. N., Eastman, J. L., Niles, J. O., ... Running, S. W. (2002). *The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: Relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases*. *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 360.
- Pitman, A. J., & Zhao, M. (2000). *The relative impact of observed change in land cover and carbon dioxide as simulated by a climate model*. *Geophysical Research Letters*, 27(9), 1267–1270. <https://doi.org/10.1029/1999GL011029>
- Postel, S. L., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (1996). *Human Appropriation of Renewable Fresh Water*. *Science*, 271.
- Power, A. G. (2010, September 27). *Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 365, pp. 2959–2971. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143>
- Praeger, D. (2007). *Our Love Of Sewers: A Lesson in Path Dependence*. Retrieved from <https://www.dailykos.com/stories/2007/06/15/346883/-Our-Love-Of-Sewers-A-Lesson-in-Path-Dependence>
- Putman, R. J., & Wratter, S. D. (1984). *Principle of Ecology* (U. of C. Press, Ed.). USA.
- Rifkin, J. (2014). *La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo* (Mondadori, Ed.). Milano.
- Righetto, C. (2015). *Giardini per rivivere: orticoltura e giardinaggio a fini terapeutici in contesti sanitari* (Università di Bologna). Retrieved from [http://amsdottorato.unibo.it/7169/1/righetto\\_costantina\\_tesi.pdf](http://amsdottorato.unibo.it/7169/1/righetto_costantina_tesi.pdf)
- Romano, F. (2018). *LA RIVOLUZIONE VERDE E IL MITO DELL'AUMENTO DELLA PRODUTTIVITA' Perché più cibo non ha significato più benessere* (Università Ca'Foscari Venezia). Retrieved from <http://dspace.unive.it/bitstream/handle/10579/13874/847781-1224078.pdf?sequence=2>
- ROMI. (2018). *Vision and scenarios*.
- S. Guarracino. (n.d.). *Rivoluzione Agricola - Dizionario di storia moderna e contemporanea*. Retrieved July 5, 2020, from <https://keynes.scuole.bo.it/sitididattici/farestoria/dizionario/r/r067.htm>
- Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). *From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management*. *Agronomy*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Sayar, F. (2019). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Secchi, C. (2005). *Sensori e trasduttori. Ingegneria e Tecnologie dei Sistemi di Controllo*.
- Selten, R., & Gigerenzer, G. (2002). *Bounded Rationality: The Adaptive Toolbox* (MIT Press, Ed.).
- Sharma, K. (2010). *Nanostructuring Operations in Nanoscale Science and Engineering* (M.-H. C. Inc, Ed.). New York.
- Shawn MacKenzie. (2007). *A Brief History of Agriculture and Food Production*. Retrieved from <https://resources.saylor.org/wwwresources/archived/site/wp-content/uploads/2015/07/ENVS203-7.3.1-ShawnMackenzie-ABriefHistoryOfAgricultureandFoodProduction-CCBYNCSA.pdf>
- Silberbush, M., & Ben-Asher, J. (2001). *Simulation study of nutrient uptake by plants from soilless cultures as affected by salinity buildup and transpiration*. *Plant and Soil*, 233. <https://doi.org/10.1023/A:1010382321883>
- Silici, L. (2014). *Agroecology What it is and what it has to offer*. (July).
- Silvestri, G. (2017). *Fenologia. Lezione n. 1 Parte generale*. Retrieved from [https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/8195/mod\\_resource/content/1/feno\\_generale.pdf](https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/8195/mod_resource/content/1/feno_generale.pdf)
- Sonneveld, C. (2000). *Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture*. University of Wageningen.
- Sullivan, L. H. (1896). *The Tall Office Building Artistically Considered*. Lippincott's Magazine.
- Treccani. (n.d.). *Agricoltura*. Retrieved from <http://www.treccani.it/vocabolario/agricoltura/>
- Turner, J., Lachlan-Cope, T. A., & Thomas, J. P. (1993). *A comparison of Arctic and Antarctic mesoscale vortices*. *Journal of Geophysical Research*, 98(D7), 13019. <https://doi.org/10.1029/92JD02426>
- Turner, W. R., Nakamura, T., & Dinetti, M. (2009). *Global Urbanization and the Separation of Humans from Nature*. *BioScience*, 54.
- Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., & Zelson, M. (1991). *Stress recovery during exposure to natural and urban environments*. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201–230. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7)

UN Department of Economics and social Affairs. (2018, May 16). *68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN* | UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs. Retrieved July 5, 2020, from <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

UNCTAD. (2013). *Annual Report*.

Valpreda, F., & Cataffo, M. (2018). *Beyond Participatory Design for Service Robotics*. 173–181.

Van Os, E. A., Gieling, H., & Ruijs, M. N. A. (2002). *Equipment for hydroponic installations*. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals* (E. Publications, Ed.). Athens.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (n.d.). *Human Domination of Earth's Ecosystems*. In *Urban Ecology* (pp. 3–13). [https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-387-73412-5_1)

Wahl, D. C. (2019, July 26). *Spatial and Temporal Scales in Design Thinking* - Prototypr. Retrieved July 5, 2020, from <https://blog.prototypr.io/spatial-and-temporal-scales-in-design-thinking-ba64336255b3>

Wahl, D. C. (2017). *Panarchy: a scale-linking perspective of systemic transformation*. Retrieved from <https://medium.com/age-of-awareness/panarchy-a-scale-linking-perspective-of-systemic-transformation-a836c8b3e2e6>

Watzlawick, Paul, J. H. Beavin, D. D. J. (1978). *Pragmatica della comunicazione umana. Studio dei modelli interattivi, delle patologie e dei paradossi* (trad. M. Ferretti) (Astrolabio, Ed.). Roma.

Wenk, Philippe, et al. *ODIN: ODE-Informed Regression for Parameter and State Inference in Time-Continuous Dynamical Systems*. AAAI. 2020.

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2011). *Agroecology as a Science, a Movement and a Practice*. In *Sustainable Agriculture Volume 2* (pp. 27–43). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0394-0_3)

## 10.3 Sitografia

*4 Channel 5V Relay Module Datasheet*. (n.d.). Retrieved from [www.handsontec.com](http://www.handsontec.com)

*4.0 Agriculture - Agroservizi Agricoltura*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.agroserviziagricoltura.it/4-0-agricoltura/?lang=en>

*Adaptive Cycle - YouTube*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=jkp5tNGPI6M&feature=youtu.be>

*ADS1115 Datasheet*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>

*Aeroponica - Wikipedia*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://it.wikipedia.org/wiki/Aeroponica>

*Agriculture | National Geographic Society*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/agriculture/>

*Agroecology*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.globalagriculture.org/report-topics/agroecology.html>

*Agrometeorologia - Wikipedia*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Agrometeorologia#Acqua\\_e\\_piante](https://it.wikipedia.org/wiki/Agrometeorologia#Acqua_e_piante)

*Alfabetizzazione digitale. Educazione al digitale. Cultura del digitale | Performance Management Review*. (n.d.). Retrieved July 9, 2020, from <https://www.performancemanagementreview.org/alfabetizzazione-digitale-educazione-al-digitale-cultura-del-digitale/>

*Arduino - HardwarePictures*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.arduino.cc/en/Main/HardwarePictures>

*Are indoor vertical farms the future of agriculture? | Stuart Oda - YouTube*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=z9jXW9r1xr8&feature=youtu.be>

*Are indoor vertical farms the future of agriculture? | Stuart Oda - YouTube*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=z9jXW9r1xr8&feature=youtu.be>

*Attuatore*. (n.d.). Retrieved from <https://it.wikipedia.org/wiki/Attuatore>

*BME280 Datasheet*. (n.d.). Retrieved from <https://learn.adafruit.com/adafruit-bme280-humidity-barometric-pressure->

*Calcolatrice di larghezza piste PCB | DigiKey*. (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.digikey.it/it/resources/conversion-calculators/>

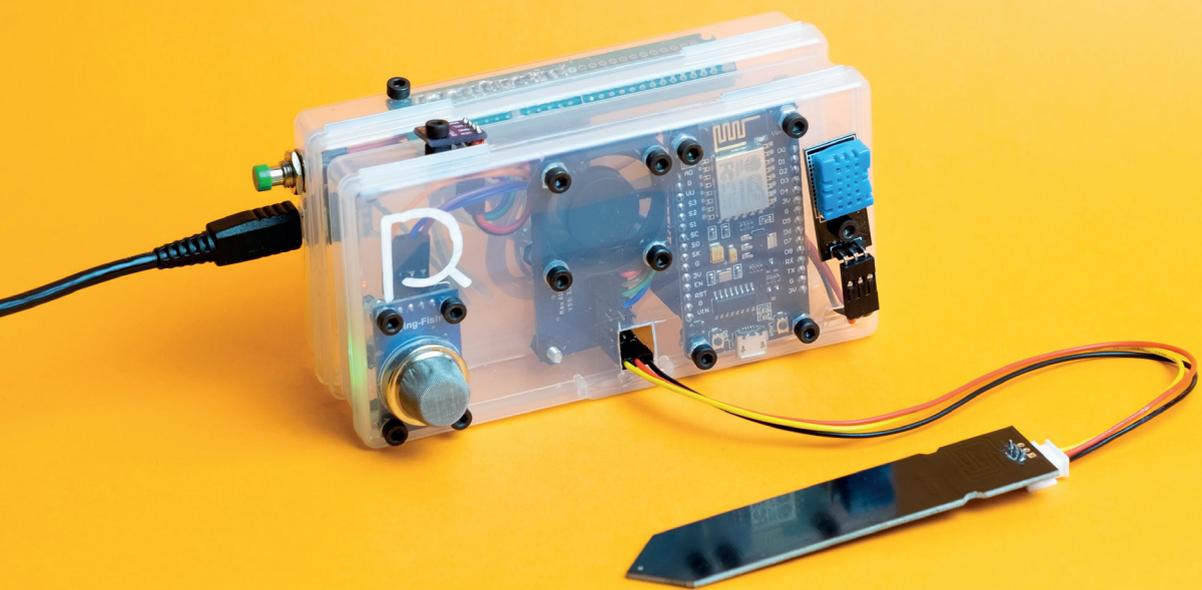
- conversion-calculator-pcb-trace-width
- Capacitive Soil Moisture Sensor Datasheet.* (n.d.). Retrieved from <https://www.dfrobot.com/product-1385.html>
- Causes, Effects and Solutions to Urbanization Leading to Urban Growth - Conserve Energy Future.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-urbanization.php>
- Che cosa sono i servizi ecosistemici.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.lifem-gn-serviziosistemici.eu/IT/progetto/Pages/se.aspx>
- Ciclo biogeochimico - Wikipedia.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_biogeochimico](https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclo_biogeochimico)
- Com'è cambiata l'anguria, spiegato con un quadro del Seicento - Il Post.* (2015, August 1). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.ilpost.it/2015/08/01/anguria-evoluzione-dipinto/>
- DC Fan Datasheet.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.farnell.com/datasheets/1878771.pdf>
- DHT11 Datasheet.* (n.d.). Retrieved from [www.aosong.com](http://www.aosong.com)
- Environmental Factors Affecting Plant Growth | OSU Extension Service.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/environmental-factors-affecting-plant-growth>
- Environmental Problems of Modern Cities | Owlcation.* (2016, December 19). Retrieved July 5, 2020, from <https://owlcation.com/stem/Environmental-problems-of-modern-cities>
- ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit Datasheet.* (n.d.). Retrieved from [www.handsontec.com](http://www.handsontec.com)
- Fattori che Influenzano il Contenuto e la Qualità dei Principi Attivi nelle Droghe | Appunti Farmacia.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://appuntifarmacia.altervista.org/fattori-influenzano-contenuto-la-qualita-dei-principi-attivi/>
- fotoperiodismo in Vocabolario - Treccani.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.treccani.it/vocabolario/fotoperiodismo/>
- Google Trends.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://trends.google.com/trends/?geo=US>
- HC-SR04 Datasheet.* (n.d.). Retrieved from [www.ElecFreaks.com](http://www.ElecFreaks.com)
- Hidden Costs of Industrial Agriculture | Union of Concerned Scientists.* (2008, July 11). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.ucsusa.org/resources/hidden-costs-industrial-agriculture>
- Il cocomero in un dipinto del Seicento | Artribune.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.artribune.com/tribnews/2015/08/cocomero-prima-ogm-natura-morta-barocca-quando-storia-arte-aiuta-scienze-naturali/>
- Internet delle cose - Wikipedia.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Internet\\_delle\\_cose](https://it.wikipedia.org/wiki/Internet_delle_cose)
- L'evoluzione del cibo: come frutta e verdura si sono trasformate nei secoli.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.noisiamoagricoltura.com/evoluzione-cibo-frutta-verdura-trasformazione-nei-secoli/>
- Le piante hanno la memoria: apprendono e ricordano, la scoperta è italiana - Repubblica.it.* (2014, January 15). Retrieved July 5, 2020, from [repubblica.it website: https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/15/news/le\\_piante\\_hanno\\_la\\_memoria\\_apprendono\\_e\\_ricordano\\_la\\_scoperta\\_italiana-76003291/](https://www.repubblica.it/scienze/2014/01/15/news/le_piante_hanno_la_memoria_apprendono_e_ricordano_la_scoperta_italiana-76003291/)
- MCP23017-E/SS Datasheet.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001952C.pdf>
- Miniaturizzazione - Wikipedia.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://it.wikipedia.org/wiki/Miniaturizzazione>
- morfogenesi nell'Enciclopedia Treccani.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.treccani.it/enciclopedia/morfogenesi/>
- Norman Borlaug - Biographical.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/1970/borlaug/biographical/>
- OSBeehives | BuzzBox Hive Health Monitor & Beekeeping App.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.osbeehives.com/>
- Panarchy: a scale-linking perspective of systemic transformation.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://medium.com/age-of-awareness/panarchy-a-scale-linking-perspective-of-systemic-transformation-a836c8b3e2e6>
- Piante mirmecofile - Wikipedia.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://it.wikipedia.org/wiki/Piante\\_mirmecofile](https://it.wikipedia.org/wiki/Piante_mirmecofile)
- Raspberry Pi 3 Model B+ Datasheet.* (n.d.). Retrieved from [www.raspberrypi.org/products/raspberry](http://www.raspberrypi.org/products/raspberry)
- Resilience Alliance - Panarchy.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.resalliance.org/panarchy>
- Resilience Alliance - Resilience.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://www.resalliance.org/resilience>
- Rory Sutherland: Perspective is everything | TED Talk.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from [https://www.ted.com/talks/roby\\_sutherland\\_perspective\\_is\\_everything?language=en](https://www.ted.com/talks/roby_sutherland_perspective_is_everything?language=en)

*Simply Complex Systems | Tom Wessels | TEDxWindham - YouTube.* (n.d.). Retrieved July 6, 2020, from [https://www.youtube.com/watch?v=Vr\\_4VHQFbr0&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=Vr_4VHQFbr0&feature=youtu.be)

*sinergia in Vocabolario - Treccani.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <http://www.treccani.it/vocabolario/sinergia/>

*What is open source software? | Opensource.com.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://opensource.com/resources/what-open-source>

*Zero di vegetazione - Agrometeorologia.* (n.d.). Retrieved July 5, 2020, from <https://putignanometeo.forumfree.it/?t=36085628>





**POLITECNICO  
DI TORINO**

Politecnico di Torino  
Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico  
A.A. 2019/2020  
Tesi di Laurea Magistrale



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico  
A.A. 2019/2020  
Tesi di Laurea Magistrale