# Abilitazione all'utilizzo di pratiche agricole tecnologiche sostenibili su scala individuale

Politecnico di Torino

Tesi di Laurea Magistrale in Design Sistemico
Anno Accademico 2020-2021

Candidato: Graziano Martino

Relatore: Prof. Fabrizio Valpreda
Correlatore: PhD. Marco Cataffo

in collaborazione con: PIC4SeR
centro interdipartimentale per la robotica
di servizio del Politecnico di Torino

# Abilitazione all'utilizzo di pratiche agricole tecnologiche sostenibili su scala individuale

Politecnico di Torino

Dipartimento di Architettura e Design

Tesi di Laurea Magistrale in Design Sistemico
Anno Accademico 2020-2021

Candidato: Graziano Martino

Relatore: Prof. Fabrizio Valpreda
Correlatore: PhD. Marco Cataffo

in collaborazione con: PIC4SeR
centro interdipartimentale per la robotica
di servizio del Politecnico di Torino

# Indice


**1 Introduzione** **9**

**2 Contesto** **11**
2.1 Il rapporto uomo-natura 12
2.2 Società, economia, ambiente 14
2.3 Produzione e distribuzione di beni e servizi 16

**3 Sistemi agricoli** **19**
3.1 Agricoltura industriale 20
3.2 Agricoltura di precisione 22
3.3 Agricoltura in ambiente controllato 24
3.4 Agricoltura urbana 26
3.5 L'acqua 28
3.5.1 Utilizzo in ambito agricolo 29
3.5.2 Qualità dell'acqua 30

**4 Coltivazioni senza suolo** **31**
4.1 Aeroponica 33
4.2 Idroponica 34
4.3 Acquaponica 35
4.3.1 Vantaggi e limiti 37
4.3.2 Impieghi attuali 38
4.3.3 Configurazioni 39
4.3.4 Qualità ideale dell'acqua 40

**5 Monitoraggio e controllo** **41**
5.1 Ruolo del monitoraggio ambientale 42
5.2 Ambiente acquatico, relazioni interne 43
5.2.1 Temperatura dell'acqua 43
5.2.2 PH 44
5.2.3 Ossigeno disciolto 44
5.2.4 Azoto totale 45
5.2.5 Durezza dell'acqua 45
5.3 Ambiente acquatico, relazioni con l'esterno 46
5.3.1 Temperatura ambientale 46
5.3.2 Illuminazione 46
5.3.3 Ventilazione 47
5.3.4 Flussi d'acqua 48
5.4 Modalità di monitoraggio e controllo 49

**6 Transizione tecnologica** **51**
6.1 Open Source 52
6.2 Internet of Things 53
6.3 Open hardware 53
6.3.1 Arduino e compatibili 54
6.3.2 Sensori e attuatori 55
6.4 Comunità digitali 57
6.5 Makers 58

**7 Metodologia progettuale** **59**
7.1 Scenari 60
7.1.1 Finalità della coltivazione 60
7.1.2 Location della coltivazione 61
7.1.3 Fonti di acqua 61
7.1.4 Ambiente di coltivazione 62
7.2 Personas 63
7.2.1 Sondaggi 63
7.3 Casi studio 69

**8 Ambito progettuale** **75**
8.1 Purpose 76
8.2 Apprendimento 76
8.3 Condivisione e creazione di valore 77
8.4 Linee guida 78
8.4.1 Scala individuale 78
8.4.2 Auto-riproducibilità 79
8.4.3 Adattabilità e scalabilità 79
8.4.4 Espandibilità e integrabilità 80
8.4.5 Abilitazione 80
8.5 Concept 81

**9 Progettazione** **83**
9.1 Monitoraggio e controllo di un sistema acquaponico 84
9.2 Stato dell'arte dei sensori Open Source 85
9.3 Prototipazione 86
9.3.1 Modulo acquario 90

9.3.2 Componenti utilizzati 90
9.3.3 Tecnologie utilizzate 97
9.3.4 Funzionamento del sistema 99
9.3.5 Back-end 100
9.3.6 Front-end 105
9.3.7 Componenti esterni 107
9.4 Esperienza utente 113
9.4.1 Acquisizione del sistema 115
9.4.2 Accesso alle informazioni 116
9.4.3 Avvio del sistema 117
9.4.4 Aggiornamento del sistema 118
9.5 Caso d'uso: acquisizione e utilizzo del sistema 119
9.6 Caso d'uso: aggiornamento del sistema 121
9.7 Caso d'uso: sviluppi possibili 123
9.7.1 Esempio di sviluppo possibile 125

**10 Conclusioni** **127**
10.1 Risultati del progetto 128
10.2 Ricadute possibili 129
10.3 Ruolo del designer 131

**11 Fonti** **133**
11.1 Consulenti 134
11.2 Bibliografia 134
11.3 Sitografia 137

# 1 Introduzione



L'ambito progettuale della tesi è quello della robotica di servizio per l'agricoltura, settore che comprende diversi fattori di tipo economico, sociale e ambientale, i quali sono stati qui considerati come strettamente correlati e facenti parte di un unico sistema complesso[1]. È stato perciò adottato, al fine di intervenire progettualmente in questo sistema, un approccio olistico e multidisciplinare, nei limiti delle conoscenze e delle competenze dell'autore in ogni materia trattata.

Il sistema socio-economico-ambientale attuale, è regolato da paradigmi dominanti all'interno della società, soprattutto quella occidentale, i quali portano questo complesso sistema a svilupparsi secondo determinate configurazioni e modalità[2].
L'obiettivo progettuale di questa tesi è quello di intervenire all'interno di questo schema di funzionamento radicato, ponendo le basi per una nuova configurazione del sistema in ottica di sostenibilità ed ecologia.

Il design sistemico interviene in questo senso con il compito di conciliare le esigenze delle persone, i meccanismi del sistema socio-economico, e i flussi dei sistemi naturali, arrivando a fornire istruzioni, creare strumenti e definire linee guida da adottare per avviare un processo di evoluzione dell'attuale realtà verso una nuova forma[3].

Il risultato è un prodotto / servizio che, non punta a risolvere il problema e l'esigenza più immediata (produzione di cibo in modo sostenibile), ma piuttosto ad impattare sulle abitudini delle persone, sulle loro conoscenze, sulle loro coscienze, mirando ad un cambio di paradigma culturale.
In che modo? Sfruttando le opportunità che l'ambiente offre all'uomo (affordances) e abilitandolo, dandogli cioè i mezzi per sfruttare tali opportunità e soprattutto per crearne di nuove[4].

Questo è possibile sfruttando concetti quali progettazione collaborativa, condivisione della conoscenza, pratiche di tipo "bottom-up" (dal basso verso l'alto), il tutto utilizzando tecnologie Open Source, strumenti accessibili e Internet delle cose, al fine di creare strumenti in grado di favorire nuove modalità di coltivazione su scala individuale[5].

Si propone quindi di raggiungere l'obiettivo progettuale espandendo le possibilità delle persone, abilitandole a processi decisionali e dandogli la possibilità di evolvere, attraverso uno strumento che abiliti all'utilizzo di pratiche agricole sostenibili, che si adatti a diversi contesti a partire dalla scala individuale, e che possa co-evolvere con gli utenti e con la società.

---

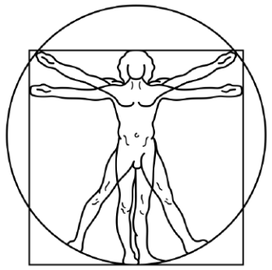
1. *Capra F. (1996). La rete della vita.*
2. *Kuhn T. S. (1962). The Structure of Scientific Revolutions.*
3. *Bistagnino L. (2016). Design Sistemico, 2ª edizione.*
4. *Gibson J.J. (1979). The ecological approach to visual perception.*
5. *Anderson C. (2013). Makers.*

# 2 Contesto



## 2.1 Il rapporto uomo-natura

Per comprendere al meglio le basi teoriche su cui si fonda questa tesi, è opportuno analizzare il tipo di rapporto esistente tra l'uomo e la natura (intesa come ambiente naturale in cui l'uomo vive), e per farlo, è necessario introdurre il concetto di "paradigma". Un paradigma è sostanzialmente un modello di riferimento, uno schema organizzativo che regola le azioni, una cultura che influenza i comportamenti umani, un insieme di "regole" condivise da un gruppo di individui per un determinato periodo di tempo.
Dal punto di vista scientifico, il fisco e filosofo Thomas Kuhn definisce un paradigma come "le conquiste scientifiche universalmente riconosciute, le quali, per un certo periodo, forniscono un modello di problemi e soluzioni accettabili a coloro che praticano un certo campo di ricerca" [1].
Applicando il concetto alla sfera sociale, secondo il fisico e teorico dei sistemi Fritjof Capra, un paradigma è "una 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" [2].
Un paradigma è perciò una visione condivisa della realtà, la quale indirizza le azioni e i comportamenti secondo determinati valori, e di conseguenza influenza la visione che l'uomo ha di se stesso in rapporto al mondo naturale.
L'attuale società occidentale si basa sul paradigma dell'antropocentrismo, una visione secondo cui la natura è una risorsa a disposizione dell'uomo: l'uomo è superiore alla natura e considera l'ambiente circostante solo come un serbatoio di risorse da sfruttare per i suoi scopi.



Questo tipo di visione del mondo, attualmente dominante, nasce dalla Rivoluzione Scientifica compiuta da Newton nel XVII secolo, e dalla Rivoluzione Industriale, con la diffusione del pensiero meccanicistico e del sistema capitalistico; una visione basata sulla crescita e sul progresso economico a discapito di tutto il resto (natura compresa), dalla quale si è sviluppato un sistema socio-economico non sostenibile, incurante degli equilibri che regolano gli ecosistemi naturali.

---

1. *Kuhn T. S. (1962). The Structure of Scientific Revolutions.*
2. *Capra F. & Luisi P. L. (2014). The Systems View of Life.*

Alcune delle conseguenze di questo modus operandi alle quali assistiamo sono la crescita demografica, l'urbanizzazione incontrollata, l'esaurimento di risorse non rinnovabili, l'inquinamento, la competizione per le risorse naturali, le enormi disparità economiche, il consumismo, ecc.
Tutti fenomeni che causano danni irreparabili agli ecosistemi naturali.

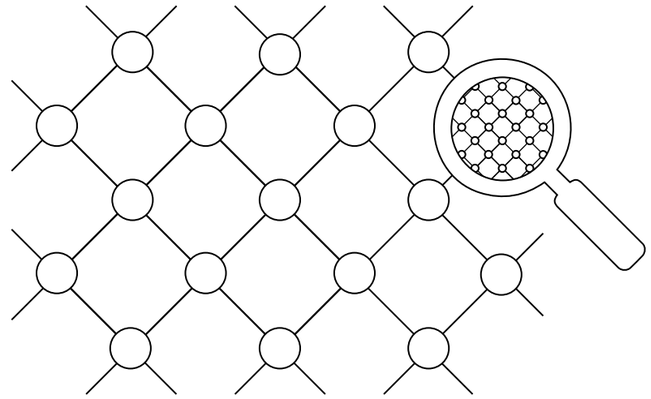
Naturalmente i paradigmi dominanti possono essere cambiati, anche se è evidente come uno schema comportamentale condiviso e accettato universalmente e così radicato, sia difficile da modificare. Questo avviene quando vengono messi in dubbio alcuni dei criteri fondamentali sui quali si basa la visione; in che modo?
Per esprimere in concetto in senso scientifico, sempre secondo Kuhn, ogni paradigma ha delle anomalie, che solitamente vengono ammesse come "errori accettabili" o semplicemente ignorate; quando però il numero di anomalie accumulate in contrasto con la visione dominante diventa troppo elevato, il paradigma entra in una fase di crisi, in cui si sviluppano nuove teorie e, al termine di una "battaglia intellettuale" tra i sostenitori della vecchia e della nuova visione, si definisce una nuova visione dominante, diversa dalla precedente, un nuovo paradigma[3].
Questi eventi vengono definiti cambi di paradigma[4] e avvengono attraverso delle vere e proprie rivoluzioni, che mettono in discussione una visione sulla quale ci si è basati per anni, decenni o secoli, instaurandone una nuova che dominerà per un altro periodo di tempo.
Alcuni esempi di mutamenti di paradigma nel corso della storia possono essere il passaggio dalla teoria del creazionismo a quella dell'evoluzione, il passaggio dal sistema tolemaico al sistema copernicano, o la rivoluzione della meccanica classica a seguito dello sviluppo della meccanica quantistica.
In "The structure of scientific revolutions", Kuhn scrive: "Lo schema della scienza naturale consiste nella transizione da un paradigma all'altro tramite una rivoluzione"[5].
Fritjof Capra identifica come un cambio di paradigma quello che starebbe avvenendo oggi, con la sempre maggiore sensibilizzazione sul tema della sostenibilità e una visione sempre più olistica ed ecologica, a causa del manifestarsi ormai incessante delle conseguenze del comportamento umano nei confronti dell'ambiente, le quali si ritorcono proprio contro l'uomo (un esempio sono le conseguenze dei cambiamenti climatici a cui stiamo assistendo in tutto il mondo).
Questo mutamento della percezione porterebbe ad un cambiamento nei valori grazie alla ecoalfabetizzazione[6].

3. *Kuhn T. S. (1962). The Structure of Scientific Revolutions.*
4. *Handa M. L. (1987). Peace Paradigm.*
5. *Kuhn T. S. (1962). The Structure of Scientific Revolutions.*
6. *Capra F. (1996). La rete della vita.*



## 2.2 Società, economia, ambiente

Possiamo considerare l'ambiente naturale terrestre come un unico grande sistema, costituito da tanti sottosistemi strettamente legati tra loro da flussi di materia ed energia. Questi sistemi sono definiti sistemi aperti in quanto, appunto, non sono sistemi chiusi autosufficienti, ma necessitano di input dall'esterno per alimentarsi; essi si trovano in uno stato di equilibrio dinamico[7], un equilibrio cioè generato da flusso e cambiamento continui.
Nel caso del sistema Terra l'input primario è l'energia solare, dalla quale si innesca tutta la circolazione di materia ed energia tra le diverse parti del sistema. Questa circolazione avviene secondo vari cicli, ciascuno con diverse caratteristiche e tempi (ad esempio il ciclo dell'acqua o il ciclo dell'azoto, ecc.). L'intero sistema è perciò in uno stato di equilibrio dinamico.
Le relazioni che regolano il sistema nel complesso e tutti i sottosistemi, sono relazioni di interdipendenza, stretta correlazione tra un elemento e l'altro, in cui ogni cambiamento influenza a catena tutti gli altri livelli. Possiamo immaginare il sistema come una grande rete che si sviluppa su più scale di grandezza: ogni nodo della rete è collegato, direttamente o indirettamente, a tutti gli altri nodi, e ogni nodo costituisce esso stesso una rete più piccola, fatta di altri nodi, e così via[8].



È secondo questo schema che funzionano gli ecosistemi: un ecosistema è l'insieme di organismi viventi (fattori biotici) e di materia non vivente (fattori abiotici), che interagiscono, costituendo un sistema governato da un equilibrio dinamico. Se consideriamo quindi la Terra come un unico e complesso ecosistema regolato da una struttura a rete, possiamo individuare come nodi di questa rete, ecosistemi più piccoli, a diversa scala territoriale, che fanno riferimento a diversi ambienti o habitat; questi

7. *L. von Bertalanffy. (1968). Teoria Generale dei Sistemi.*
8. *Capra F. (1996). La rete della vita.*

habitat si differenziano a loro volta in sottoinsiemi minori, fino a giungere a dimensioni di territorio e quantità di specie viventi sempre minori (un ecosistema può essere l'intero oceano così come un piccolo stagno).
È evidente perciò come gli ecosistemi esistono su diverse scale di grandezza, collegate tra loro attraverso una complessa rete di interrelazioni e interdipendenze, in cui dei cambiamenti in un piccolo ecosistema possono influenzare gli ecosistemi di scala maggiore, così come i grandi cambiamenti influenzano tutti gli ecosistemi minori.
Allo stesso modo l'uomo (come essere vivente) con tutte le sue attività, fa parte della rete ed interagisce con l'ambiente; la sua sopravvivenza dipende dagli ecosistemi e gli ecosistemi vengono influenzati dalla sua azione.
Tutti gli organismi viventi assorbono energia e materia e liberano prodotti di scarto[9], ma lo fanno senza alterare in modo significativo l'ambiente in cui vivono, dandogli l'opportunità di rigenerare ciò che è stato sottratto, e producendo come "rifiuti" sostanze utili ad un'altra parte dell'ecosistema; gli organismi viventi quindi fanno parte dell'equilibrio dinamico complessivo e contribuiscono a mantenerlo.
L'azione dell'uomo invece, si è evoluta nel corso della storia fino a porsi in maniera dominante sulla natura, secondo i principi del paradigma antropocentrico; l'uomo ha così iniziato a sottrarre sempre più risorse all'ambiente e sempre più frequentemente (senza lasciare il tempo necessario all'ambiente per rigenerarle); ha basato il proprio sistema economico sull'utilizzo di risorse finite e non rinnovabili; ha iniziato a modificare l'ambiente in base alle proprie esigenze (ad esempio disboscando zone forestali per fare spazio a terreni coltivati); ha prodotto una quantità sempre maggiore di rifiuti, di gran lunga superiore al limite massimo che l'ambiente riesce ad assorbire.
Tutto questo provoca inevitabilmente una pericolosa alterazione degli equilibri che regolano gli ecosistemi naturali, portando di conseguenza il sistema complessivo fuori dall'equilibrio dinamico. La storia dell'uomo (in termini temporali) è solo una infinitesima parte della storia della Terra, in cui si sono succedute molte alterazioni dell'equilibrio dinamico naturale, dalle quali si sono generati nuovi stati di equilibrio, diversi dai precedenti (ad esempio la costituzione di un nuovo ordine naturale a seguito dell'estinzione di una specie vivente).
L'uomo quindi sta alterando l'equilibrio naturale globale per raggiungere e mantenere uno stato di maggiore comodità, distruggendo però quello stesso sistema dal quale dipende la sua sopravvivenza; il risultato di tale processo non sarà una fine per la Terra, la cui lunga esistenza è costellata dalla scomparsa di intere specie viventi per poi trovare un nuovo equilibrio dinamico, ma sarà fatale per la sopravvivenza della specie umana, che può essere garantita soltanto se l'uomo si dimostra capace d'inserirsi nei meccanismi del pianeta senza alterarne gli equilibri biologici in modo irreversibile.

9. *Lovelock J. & Margulis L. (1970). "Ipotesi di Gaia".*



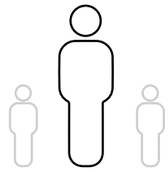
## 2.3 Produzione e distribuzione di beni e servizi

L'attuale e dominante modello produttivo di beni e servizi è basato sulla produzione di massa e sul consumismo , e si è sviluppato a partire dalla diffusione del pensiero capitalistico, il quale pone al centro dell'attenzione il profitto economico.
Con la rivoluzione industriale si è diffusa e radicata l'idea secondo cui la chiave per raggiungere tale profitto fosse la proprietà intellettuale: creare qualcosa di nuovo ed esclusivo da vendere agli altri per ricavare denaro. Questo ha portato, nel corso della storia, all'affermazione, come produttori e distributori, solo di una ristretta cerchia di persone (oggi identificabili come aziende o multinazionali), che detengono il controllo sulle conoscenze, sulle materie prime, sulle tecnologie e i mezzi di produzione, dettando i tempi e le modalità di consumo secondo le proprie esigenze di ricavo e influenzando così tutto il sistema economico.
Questo sistema presenta quelli che, nell'ottica dell'antropocentrismo, vengono visti come vantaggi (che sono però solo apparenti), in quanto ha portato a una sempre maggiore riduzione dei costi di produzione, concentrando le "responsabilità" della gestione della produzione-distribuzione nelle mani di pochi attori; in questo modo il consumatore si trova in una situazione di comodità, in quanto il suo unico compito è quello appunto di "consumare" il prodotto finale. Il problema è che le espressioni produzione di massa e distribuzione di massa implicano due vincoli fondamentali: i prodotti devono essere standardizzati per poter essere riprodotti in grande quantità in poche aree geografiche, e devono essere, da queste aree, distribuiti in tutto il mondo attraverso viaggi lunghi e dispendiosi (in termini sia di denaro che di energie). Si può quindi capire come da quei vantaggi apparenti nascono in realtà dei pericoli, che ormai si manifestano in modo sempre più evidente; i problemi di questo sistema sono:
- di ordine fisico: è costoso, dispendioso, inquina e distrugge l'ambiente, prelevando continuamente e sempre maggiormente risorse naturali che in gran parte non sono rinnovabili;
- di ordine culturale: l'uomo e le sue diversificazioni culturali vengono appiattiti da un insieme di comportamenti e pensieri stereotipati, uguali in tutto il globo.
Si assiste oggi a uno sminuimento delle esigenze, delle necessità, dei gusti, dei contesti locali, con prodotti e servizi standardizzati e chiusi, poco flessibili e personalizzabili, sempre uguali, ovunque. Un prodotto chiuso (ossia legato indissolubilmente a conoscenze e strumenti tecnologici posseduti solo da una persona o un'azienda), non permette un uso libero, costringendo il consumatore ad adattarsi alle caratteristiche del prodotto proposte da qualcun altro[10]. Il consumatore è completamente alienato dal processo produttivo di un oggetto, e anche dal suo processo di smaltimento a fine vita; siamo abituati a considerare un prodotto nella sua totalità, come fosse un pezzo unico senza sapere cosa contiene, come ad esempio uno smartpho-

10. *Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman.*

ne o un elettrodomestico, che utilizziamo come strumenti singoli, mentre al loro interno vi è un mondo più complesso che non siamo in grado di comprendere; è sufficiente che soddisfi le aspettative funzionali ed estetiche che avevamo quando lo abbiamo acquistato e, quando smette di soddisfarle, ce ne disfiamo e ne acquistiamo uno nuovo[11]. Infatti oggi quando ci si approccia a progettare un oggetto, non si tiene conto delle caratteristiche e dei contesti di una cultura o di un'altra, ma si punta solo a soddisfare le aspettative immediate del consumatore, i quali (consumatori e aspettative) sono uniformati e standardizzati in ogni luogo, in modo che si possa produrre lo stesso oggetto in massa, uguale per tutti.
Ecco quindi come nasce l'abitudine al consumismo, che condiziona spontaneamente e inconsciamente tutte le nostre scelte. La nostra coscienza ecologica, pur essendo sempre più emergente, è quasi impotente di fronte a questi modi di agire e di pensare così radicati in ogni aspetto della vita quotidiana. La conseguenza è che non riusciamo a percepire le ricadute che questo modus operandi genera, in quanto la cultura condivisa non ci abitua a vedere che le nostre azioni quotidiane producono dei flussi di materia ed energia che coinvolgono tanti altri nodi della rete, aspetti sociali, economici, e soprattutto ambientali[12].
Come tutti gli altri prodotti, anche il cibo è diventato un semplice prodotto di consumo, perdendo ogni connotazione e valore; una visione molto lontana da quella che dovrebbe avere l'alimentazione, oggi considerata come semplice rifornimento di carburante per sopravvivere. Oggi il cibo è un prodotto come tutti gli altri, da produrre e vendere in più quantità possibile, da distribuire da un capo all'altro del mondo, privandolo della sua provenienza e della sua storia, col risultato che non sappiamo cosa mangiamo[13]; e oltretutto una grossa percentuale del cibo prodotto finisce sprecato, diventa rifiuto senza nemmeno essere "consumato", ignorando tutto il flusso di materia ed energia che vengono impiegate per produrlo, per distribuirlo, e per smaltirlo.
È perciò evidente come una cultura di massa che ignora le contestualità ambientali, e che provoca anche un'uniformazione dei processi di pensiero, è una forma di anti-evoluzione per l'uomo:

l'uomo si allontana da se stesso in quanto le sue peculiarità spontanee vengono appiattite e uniformate



l'uomo si allontana dagli altri uomini in quanto il sistema provoca competizione e disparità

l'uomo si allontana dalla natura perchè alienato dai processi produttivi di cibo e dal funzionamento degli ecosistemi

11. *Bistagnino L. (2008). Il guscio esterno visto dall'interno.*
12. *Bistagnino L. (2016). Design Sistemico, 2ª edizione.*
13. *saggi di Carlo Petrini. Le nuove opportunità per l'agroindustria.*



*"Ma oggi questo modo di pensare non è più adeguato alle sfide e ai problemi che insorgono con grande veemenza. Sia dal punto di vista ecologico e climatico, che da quello economico-finanziario, ma anche cultura e società sono profondamente in crisi. Un nuovo "umanesimo" è anche un modo nuovo di pensare i processi, dalla matematica alle nuove tecnologie informatiche, dall'agricoltura alla cultura.*
*Una delle soluzioni di lungo periodo per limitare gli output negativi del sistema agro-alimentare industriale e globale, probabilmente "la" soluzione, è proprio quella di una ri-localizzazione delle produzioni su scala locale, facendo tesoro di tradizioni produttive, innovazione tecnologica applicata su piccola scala, risorse del territorio sia in termini di sapere umano sia di materie prime. Si vengono così a creare degli insiemi di sistemi locali molto più produttivi ed efficaci, integrati con la produzione di energia non centralizzata, rispettosi tanto della biodiversità quanto della diversità culturale. È un modo per limitare gli sprechi e invertire la tendenza consumistica, organizzare la produzione in funzione delle caratteristiche di un ecosistema e della popolazione locale"* [14].

La rete produttiva deve basarsi sulle relazioni con i diversi ambiti territoriali e con i soggetti che li caratterizzano; il sistema attuale, che offre in qualunque luogo uno stesso prodotto, è riduttivo funzionalmente e dispendioso per l'ambiente. Inoltre è opportuno puntare sulla condivisione della conoscenza in modo da favorire nuove relazioni progettuali e produttive, al contrario dell'attuale situazione in cui ogni settore è interessato ad ottimizzare solo il proprio ambito. Il consumatore non deve più essere visto come utente passivo, ma come soggetto attivo, basando la diffusione di prodotti e servizi sulle sue capacità e non sulle sue debolezze[15].

14. *saggi di Carlo Petrini. Le nuove opportunità per l'agroindustria.*
15. *Bistagnino L. (2016). Design Sistemico, 2ª edizione.*

# 3 Sistemi agricoli

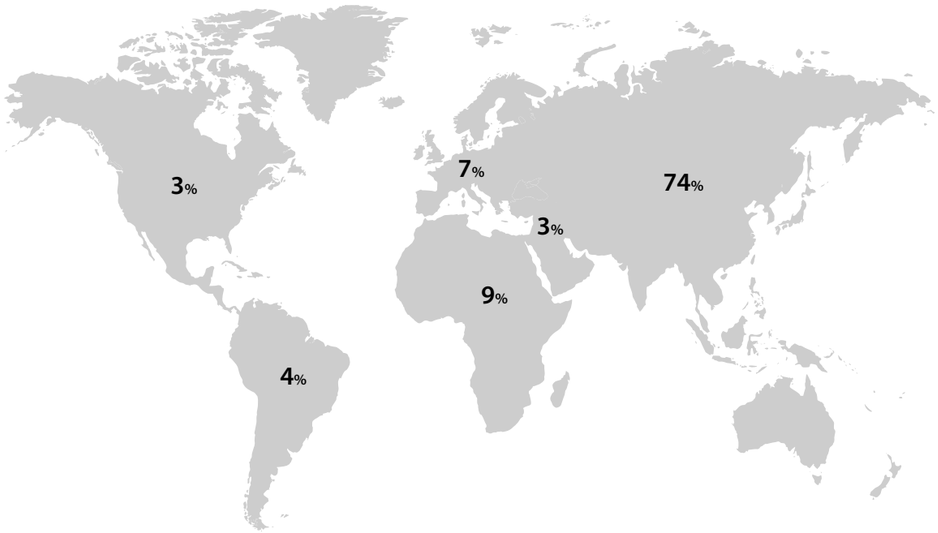


L'agricoltura è una combinazione interagente tra natura, animali e uomo, tra i quali avvengono scambi di materie, informazioni e flussi[1], allo scopo di ottenere prodotti alimentari. L'avvento di questa attività è una delle più grandi rivoluzioni nella storia dell'umanità in quanto ha innescato uno sviluppo della civiltà dal punto di vista sociale, culturale, commerciale, urbano.
Per gran parte della storia, le terre emerse sono state dominate esclusivamente da foreste e praterie; oggi l'intervento dell'uomo ha trasformato il 50% delle terre abitabili in zone agricole, di cui il 23% sono zone dedicate alla coltivazione.

## 3.1 Agricoltura industriale

L'agricoltura di tipo industriale, conosciuta anche come agricoltura intensiva, nasce dall'applicazione dell'idea capitalistica all'attività agricola, secondo cui un aumento della produzione equivale ad un aumento di capitale, il tutto attraverso metodi guidati dai principi meccanicisti, e cioè di tipo lineare invece che circolare.
Essa si sviluppa durante la Rivoluzione Agricola Britannica tra il XVI secolo e la metà del XIX secolo, in concomitanza della Prima Rivoluzione Industriale, la quale ha fornito all'attività agricola nuovi metodi e strumenti, consentendo un notevole aumento della produttività. Come effetto di ciò, si è assistito ad un profondo cambiamento della società, a partire dalla gestione delle terre coltivate (con la classica figura del contadino che ha lasciato il posto all'azienda capitalistica), fino alla sempre crescente urbanizzazione e crescita demografica. Proprio per soddisfare questa crescente richiesta di cibo, l'uomo ha sperimentato nuovi metodi per massimizzare la produzione, iniziando ad utilizzare pesticidi e fertilizzanti chimici, i quali hanno favorito la nascita delle monocolture (coltivazione in uno spazio di terra di un'unica specie vegetale). Tutto questo ha portato a delle conseguenze di ogni tipo:
- effetti di ordine ambientale, con la distruzione incontrollata delle foreste per fare spazio alle coltivazioni, l'alterazione dei corsi d'acqua, la degradazione del suolo, la riduzione della biodiversità, l'inquinamento delle acque, le emissioni di gas serra;
- effetti di ordine socio-economico, con la necessità crescente di prodotti di input e di trasporto globale dei prodotti di output con allungamento della filiera, alimentazione scorretta con il consumo prevalente di poche specie vegetali che sono le più produttive e redditizie, competizione per il controllo dei terreni e delle risorse.
Inoltre oggi si registra una distribuzione geografica delle aziende agricole fortemente sbilanciata, con alta concentrazione nei paesi con reddito medio-basso, poca concentrazione nei paesi con reddito medio-alto, e pochissima nei paesi con reddito alto[2]. Questo evidenzia come la gran parte della produzione avviene in determinate aree dalle quali i prodotti vengono poi distribuiti in tutto il mondo.

1. *L. von Bertalanffy. (1968). Teoria Generale dei Sistemi.*
2. *Lowder S. K., Skoet J. & Raney T. (2016). The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide.*




*percentuale di distribuzione globale delle aziende agricole*[3]

Secondo il Millennium Ecosystem Assesment pubblicato dalle Nazioni Unite nel 2004, la maggior parte delle attività umane insostenibili è legata alla produzione, trasformazione, distribuzione e consumo del cibo. Il settore agricolo (comprensivo di tutta la filiera agroalimentare) viene reputato il responsabile di circa il 25% del totale delle emissioni di gas serra provocate dall'uomo[4].
Nonostante la consapevolezza ormai sempre più diffusa su questi dati e il manifestarsi sempre più frequente delle conseguenze, l'uomo continua a fare uso di queste pratiche, a causa del fenomeno di path-dependence[5], secondo cui per approcciarsi ad un'attività ci si basa sulle decisioni che sono state prese in passato sulla medesima attività, non considerando però che nel frattempo le circostanze di quell'attività sono cambiate; risulta infatti più facile replicare una strategia già esistente e radicata piuttosto che inventarne una nuova. Ecco quindi che si continua a fare uso di approcci legati a convinzioni passate, integrando sì nuove pratiche e nuovi strumenti grazie al progresso tecnologico, ma applicandoli sempre nell'ottica della visione dominante derivante dal passato.

3. *Lowder S. K., Skoet J. & Raney T. (2016). The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide.*
4. *Climate Watch, the World Resources Institute (2020).*
5. *Praeger D. (2007). Our love of sewers: a lesson in path dependence.*



## 3.2 Agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione si sviluppa in concomitanza con la nascita della cosiddetta industria 4.0 che introduce nei processi produttivi le nuove tecnologie della rivoluzione digitale, avendo come obiettivo l'ottimizzazione della produzione. I moderni processi produttivi sono infatti automatizzati attraverso l'informatizzazione e l'interconnessione degli strumenti, e la digitalizzazione dei dati.
Il concetto chiave sta quindi nella realizzazione di sistemi cyber-fisici (CPS) ovvero strumenti fisici strettamente connessi con sistemi informatici, i quali possono comunicare con altri sistemi cyber-fisici ottenendo un controllo coordinato e parallelo di più sistemi diversi. Le tecnologie che permettono la realizzazione e il funzionamento di sistemi di questo tipo possono essere identificate in due categorie: tecnologie dell'informazione (IT) come Internet of Things, analisi di big data, cloud manufacturing; e tecnologie operazionali (OT) come robotica, interfacce avanzate uomo-macchina, produzione additiva[6].
L'applicazione delle tecnologie dell'industria 4.0 in ambito agricolo, dà vita all'agricoltura di precisione, che si basa sul principio di intervenire in modo mirato sul campo coltivato, applicando il giusto trattamento solo nel punto in cui occorre e nel momento in cui occorre[7]; questo è possibile raccogliendo e mappando dati riguardanti il campo (variazioni spaziali e temporali, parametri chimici del suolo, dati qualitativi e quantitativi sulle piante, andamento delle condizioni climatiche, monitoraggio ambientale) attraverso sensori elettronici, e intervenendo fisicamente, sulla base dei dati raccolti, attraverso attuatori (macchine teleguidate, rover, robot, droni).

*foto da: Drones.R.Africa*

6. *Convertini E. (2018). Le Smart Technologies alla base della Quarta Rivoluzione Industriale.*
7. *Precision Ag Definition, International Society of Precision Agriculture. www.ispag.org*

Il funzionamento coordinato delle attività di monitoraggio e di intervento è abilitato dall'uso di tecnologie come la navigazione satellitare (GPS), i sistemi informativi geografici (GIS), telerilevamento, applicazione a dosaggio variabile (TAV), software di gestione dei dati.
L'obiettivo è quello di definire un insieme di variabili quantitative e qualitative che fornisca un supporto decisionale per il coltivatore, al fine di ridurre gli sprechi di input, aumentare la qualità dell'output e massimizzare la produzione.
È quindi evidente come il fine che sta alla base di questo tipo di agricoltura sia sempre guidato dalle idee del paradigma dominante, con sì un miglioramento della qualità e una riduzione degli sprechi, ma senza cambiare il modello produttivo di massa centralizzato nell'ottica della mercificazione del prodotto finale. L'uomo applica il suo ingegno per creare nuove tecnologie per fare meglio ciò che faceva prima, non per cambiare ciò che faceva prima. Da questo punto di vista l'agricoltura di precisione può essere considerata come una forma di agricoltura industriale, migliorata tecnologicamente.
L'innovazione tecnologica in ambito agricolo ha portato sicuramente degli aspetti positivi, come l'ottimizzazione dell'uso delle risorse di input (acqua, fertilizzanti, fitofarmaci), la riduzione dell'utilizzo di prodotti chimici, la riduzione dell'energia utilizzata dalle macchine, l'aumento della qualità del cibo prodotto, il miglioramento dell'esperienza di gestione del campo, il supporto per l'agricoltore nel prendere ed attuare decisioni.
Ma naturalmente tutto questo ha anche degli aspetti negativi: tutti i dati che servono per la gestione ottimale del campo sono in continua evoluzione, i parametri cambiano molto frequentemente dato che essi dipendono da una multitudine di fattori ambientali e processuali, ed è necessaria perciò una gestione ed una elaborazione all'altezza di una mole enorme di informazioni in continuo cambiamento; è necessaria una collaborazione tra diverse figure professionali, data la varietà di competenze richieste, per fornire al coltivatore le giuste affordances per gestire un sistema complesso; inoltre per fare agricoltura di precisione è necessario un notevole investimento iniziale, dati i costi dei sensori, delle macchine e dei software, il che la rende adottabile solo da poche grandi aziende.
Questo può essere un ulteriore dato su come attualmente sia ancora predominante, come modello produttivo, la grande azienda centralizzata che possiede i mezzi e le tecnologie, rendendo impossibile lo sviluppo di realtà più piccole e localizzate a causa di strumenti resi poco accessibili dall'elevata necessità di denaro e competenze.



## 3.3 Agricoltura in ambiente controllato

L'agricoltura in ambiente controllato, detta anche CEA (controlled environment agricolture), nasce da un'esigenza che si fa sempre più pressante, ovvero la necessità di produrre sempre più cibo a causa dei fenomeni dell'urbanizzazione e della crescita demografica. Oggi, oltre la metà della popolazione globale vive nelle città, e si stima che si passerà dagli attuali 7,8 miliardi di individui a 10 miliardi entro mezzo secolo[8]; questo significa che il sistema agricolo dovrà sostenere uno sforzo per soddisfare un numero sempre maggiore di richieste e, se il sistema produttivo dovesse restare quello attuale, ci sarà la necessità di adibire sempre più terreni all'attività agricola, con tutte le conseguenze che questo porterebbe in termini di danni agli ecosistemi, emissioni di gas serra, riscaldamento globale.
È da questa esigenza che nasce l'agricoltura in ambiente controllato, chiamata anche agricoltura verticale, dato che le coltivazioni si sviluppano in verticale su più piani proprio per guadagnare spazio; è un tipo di agricoltura intensiva che avviene in ambienti chiusi ed isolati dall'esterno in cui l'ambiente di coltivazione viene monitorato e controllato con strumenti informatici, al fine di garantire i parametri ambientali ottimali durante ogni fase della crescita delle piante.

Questo metodo di coltivare comporta diversi vantaggi a partire dalla possibilità di moltiplicare la produzione rispetto all'agricoltura tradizionale sfruttando lo spazio verticale, il mancato utilizzo di fertilizzanti e pesticidi grazie all'isolamento dall'esterno, la possibilità di coltivare in spazi urbani non utilizzati o in zone in cui la coltivazione classica non è possibile, una produzione intensiva perenne essendo indipendente dai cambi di stagione, il controllo sulla qualità dei prodotti di output[9].

8. *Population Reference Bureau. (2013) World Population Factsheet. www.pbr.org*
9. *Controlled Environment Agriculture Center. University of Arizona. (2015).*

Coltivare in ambiente controllato consente perciò un incremento della produzione di vegetali privi di prodotti chimici, con metodi più sostenibili e con la possibilità di determinare la qualità finale dei prodotti.
Ma anche questo metodo produttivo presenta degli aspetti limitanti; come primo ostacolo vi è la necessità di conoscenze e competenze in vari campi oltre quello agricolo, considerando che per garantire una produzione a scopo commerciale sono necessari impianti di grandi dimensioni e sistemi informatici in grado di gestirli; questo contribuisce anche a far crescere l'investimento necessario iniziale. Proprio per questo, chi coltiva in ambiente controllato, punta ad utilizzare solo le colture che garantiscono un ritorno economico più elevato, dando quindi la precedenza solo a poche specie di vegetali e limitando così l'offerta.
Inoltre tutti gli strumenti atti al mantenimento delle condizioni ambientali stabilite, come illuminazione, temperatura e ventilazione, necessitano di input energetico, il quale diventa molto elevato nel caso di impianti di grosse dimensioni[10].
Anche in questo caso i limiti del sistema derivano da un approccio finalizzato alla massimizzazione della produzione per la vendita di massa, attraverso strumenti poco accessibili e che richiedono diverse competenze. Considerando però i molteplici vantaggi che questo tipo di agricoltura consente di ottenere, è da considerare come valido punto di partenza in ottica di cambiamento di visione, in quanto, se reso maggiormente accessibile, potrebbe consentire lo sviluppo di tante realtà locali più piccole, aggiungendo così ai vantaggi già elencati anche la riduzione della filiera e dei costi.

10. *Benke K., Tomkins B. (2017). Future Food-Production Systems: Vertical Farming and Controlled-Environment Agriculture.*



## 3.4 Agricoltura urbana

L'attuale sistema agricolo dominante, ossia quello di tipo intensivo e industriale precedentemente descritto, favorisce l'urbanizzazione: le aree rurali vengono ormai considerate solo come zone di approvigionamento da cui ricavare risorse per il sostentamento della vita nei centri abitati; contemporaneamente le città sono considerate come luoghi in cui la vita è resa più facile grazie alla fornitura di beni e servizi, i cui processi però sono spesso a noi sconosciuti. Un esempio potrebbe essere la fornitura di cibo in grosse quantità e in maniera comoda che avviene con i supermercati, in cui possiamo trovare tutti i cibi che vogliamo, già lavorati, già confezionati, già cucinati, dando in cambio solo del denaro, ma conoscendo poco e niente della vera natura di ciò che stiamo mangiando, di come è stato prodotto, da dove arriva, cosa contiene, ecc. Sostanzialmente ci affidiamo ad un sistema esterno per ottenere in cambio una situazione di comfort, perdendo però il controllo su processi, flussi e qualità. Ed è grazie a queste facilitazioni che quasi tutti optano per vivere in città, incrementando ulteriormente l'urbanizzazione e la crescita demografica, con tutte le conseguenze precedentemente descritte che questi fenomeni causano al sistema produttivo, creando un vero e proprio circolo vizioso.
Ecco quindi che il cibo viene ridotto ad un semplice prodotto di consumo al pari di tutti gli altri, considerato solo come carburante al quale dover accedere il più velocemente e comodamente possibile per poterci dedicare alle nostre attività.

*"Demandare del tutto l'approvvigionamento e la trasformazione dei nostri cibi a un'industria che sempre meno ci racconta i processi che si compiono al suo interno ha finito con il rendere la maggior parte di noi totalmente avulsi dal processo; consumatori finali che, ne più né meno alla stregua degli altri prodotti di consumo, si avvicinano a un alimento senza coscienza di ciò che esso è veramente e di ciò che comporta in termini di sistemi complessi, relazioni umane, impatto ecologico e culturale"*[11].

La prima conseguenza di questo sistema è l'allontanamento dalla natura da parte dell'uomo, il quale è portato ad ignorare i flussi che regolano l'equilibrio degli ecosistemi. In questo senso l'agricoltura urbana può essere vista come un punto di partenza per riconciliare gli equilibri della natura con le attività umane all'interno delle città. Infatti l'agricoltura urbana è parte integrante dell'ecosistema urbano, strettamente connessa con il sistema economico, infrastrutturale e architettonico della città[12]. La forma attuale dell'agricoltura urbana la vede svilupparsi soprattutto negli spazi inutilizzati delle città, come possono essere dei lotti abbandonati o edifici in disuso, ma anche all'interno di parchi e giardini, oppure sui tetti degli edifici.
Coltivare in città presenta diversi benefici come la produzione di cibo nello stesso

11. *saggi di Carlo Petrini. Le nuove opportunità per l'agroindustria.*
12. *Letteriello F., Politecnico di Torino. (2020). La multifunzionalità dell'agricoltura urbana.*

luogo in cui verrà consumato, azzerando così la filiera e tutti i costi (economici e ambientali) che ha il sistema distributivo; riavvicina le persone alla natura e alle pratiche agricole, restituendogli il controllo sul processo produttivo e sulla qualità del cibo; permette la produzione di cibo in quelle aree povere in cui si soffre la fame[13]; permette la riqualifica di aree urbane in disuso e fornisce posti di lavoro. Secondo i dati della FAO, i "contadini urbani" nel mondo sono circa 800 milioni e producono l' 11% del cibo consumato nelle città[14].

*foto da: undp.org*

È un fenomeno che sta acquisendo sempre maggiore considerazione e si sta diffondendo sempre più nelle città di tutto il mondo, anche se con sfaccettature diverse: attualmente viene data enfasi a questo fenomeno più dal punto di vista di attività ricreative, di organizzazioni sociali, e di riqualifica delle aree in disuso, ma non è ancora abbastanza supportata e regolamentata in modo da essere considerata come un'attività in grado di fornire cibo all'intera popolazione urbana; in sostanza non è ancora in grado di rendere le città autosufficienti ed indipendenti dal sistema industriale di approvigionamento, trasformazione e distribuzione delle risorse[15].

13. *Millennium Development Goals, ONU.*
14. *dati FAO sull'agricoltura urbana nel mondo. (2019).*
15. *Nieves López I. (2013). Il ruolo dell'agricoltura urbana nelle relazioni tra istituzioni e cittadini nell'Europa contemporanea.*



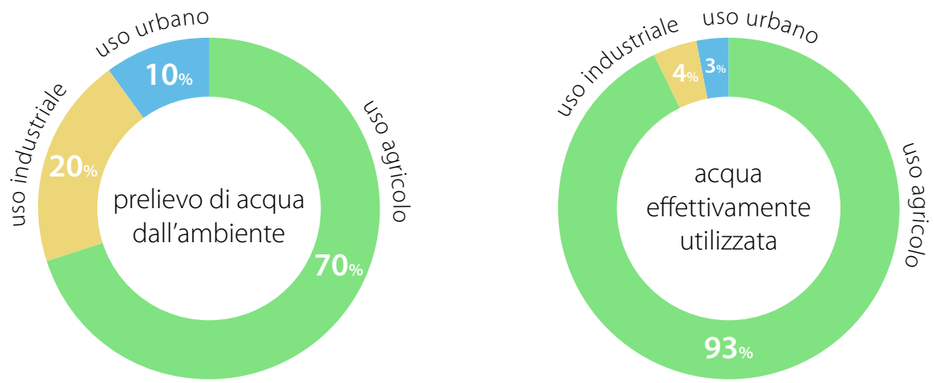
## 3.5 L'acqua

Uno dei maggiori problemi del sistema produttivo attuale è l'utilizzo di risorse naturali finite, non rinnovabili. Il funzionamento dell'intero sistema, connesso quindi alla nostra sopravvivenza, è basato sull'uso di risorse che, se continuate ad essere usate nella maniera attuale, matematicamente si esauriranno causando il collasso del sistema. Inoltre l'utilizzo che ne facciamo non è sostenibile, in quanto preleviamo dall'ambiente le risorse sotto una certa forma e alla fine del ciclo di trasformazione e consumo le restituiamo all'ambiente in una forma completamente diversa, che la natura non è più in grado di assorbire senza subire danni[16].
L'uso non sostenibile delle risorse naturali quindi, non solo minaccia la resilienza degli ecosistemi, ma ha anche effetti negativi (diretti e indiretti) sulla nostra salute e sui nostri standard di vita, in quanto continuiamo ad attingere da un ambiente inquinato (da noi stessi).
Quando si parla di risorse naturali si fa riferimento ad un insieme di materie prime prelevate dall'ambiente al fine di produrre energia, beni e servizi, e tra queste la risorsa principale è l'acqua.
L'acqua è la sostanza sulla quale si basa la vita sulla Terra, svolgendo il ruolo di medium per i più importanti processi biologici, ed è la molecola presente in maggiore quantità sulla superficie terrestre. Quasi tutta l'acqua che si trova sul nostro pianeta è l'acqua salata di oceani e mari (97,5%); della restante parte di acqua dolce, il 70% è costituita da ghiacciai e nevi perenni, il 30% da falde sotterranee, e lo 0,3% da laghi e fiumi[17].
Data quindi l'elevata salinità di quasi tutta l'acqua presente sul pianeta, a cui si aggiunge l'acqua sotto forma di ghiaccio e neve, l'uomo soddisfa la maggior parte del proprio fabbisogno idrico attingendo a quello 0,75% di acqua dolce presente in falde, laghi e fiumi.
In natura, durante tutto il suo ciclo di movimento e trasformazione, l'acqua riesce ad autodepurarsi e autorigenerarsi secondo un preciso equilibrio venutosi a creare lentamente durante l'evoluzione della Terra; questo meccanismo a sua volta garantisce l'equilibrio vitale degli ecosistemi. Alterare il ciclo naturale dell'acqua significa quindi alterare gli equilibri degli ecosistemi.
L'uomo, con le sue attività, influisce costantemente sul sistema naturale di auto depurazione, alterando i flussi naturali e immettendo nelle acque sostanze inquinanti che ne alterano la qualità e la capacità autorigenerante. Le attività antropiche sono la principale causa della scarsità di fonti d'acqua pulita e dell'inquinamento delle risorse idriche, fenomeni che minacciano la prosecuzione della vita sulla Terra[18].

16. *Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. (1992). Beyond the limits.*
17. *UNESCO, (2008). Vital Water Graphics: An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters.*
18. *Toso D., Politecnico di Torino. (2015). Visione sistemica dell'acqua.*

## 3.5.1 Utilizzo in ambito agricolo

Da stime attuali risulta che l'uomo prelevi dall'ambiente circa 3600 $km^3$ d'acqua dolce ogni anno, l'equivalente di 580 $m^3$ annui pro capite.
In tutte le regioni abitate dall'uomo, fatta eccezione per l'Europa e il Nord America, il settore per il quale avviene il maggiore consumo di acqua è di gran lunga l'agricoltura, comprensiva dei settori di coltivazione e allevamento con tutta la rispettiva filiera produttiva e distributiva. Il settore agricolo è responsabile del 70% di tutti i prelievi idrici a livello mondiale; della restante parte il 20% è attribuibile al settore industriale e il 10% all'uso civile e domestico.
È importante inoltre fare una distinzione tra la quantità d'acqua prelevata dall'ambiente e la quantità d'acqua effettivamente utilizzata: l'irrigazione, ad esempio, consuma la metà dell'acqua prelevata come risultato dell'evaporazione, dell'assorbimento e della traspirazione dalle piante. L'altra metà ricarica la falda o il flusso superficiale, o si perde in evaporazione non produttiva. L'acqua che è stata prelevata ma non utilizzata, torna perciò nell'ambiente e rientra nel ciclo, ma solitamente questo tipo di acqua è di qualità minore rispetto a quella prelevata, in quanto "arricchita" di sostanze artificiali inquinanti come prodotti chimici, pesticidi, insetticidi[19].







L'acqua, così come aria e suolo, non funge solo da ricettore di inquinanti, ma ne è anche veicolo di diffusione. Anche se la fonte d'inquinamento è localizzata, la contaminazione si diffonde nell'ambiente, inserendosi quindi nelle catene alimentari, fino a tornare all'uomo, che in questo modo si auto-avvelena. Oggi il settore agricolo è sempre più spesso associato a pericoli come il degrado degli ambienti biofisici, la scarsità di acqua dolce, il calo della qualità del cibo e il calo di fertilità del suolo[20].

19. *dati FAO sull'acqua per usi agricoli. (2012).*
20. *Ganapini W. (2016). Per una lettura sistemica del rapporto tra agricoltura ed ambiente.*



L'agricoltura è la principale responsabile dell'esaurimento delle falde acquifere e della loro contaminazione; di stress idrici causati da un uso sregolato dell'acqua dolce e dall'alterazione dei naturali corsi d'acqua. L'intera filiera produttiva agroalimentare attuale, necessita di un alto consumo di acqua in ogni sua fase: dalla coltivazione, alla trasformazione industriale, fino alla preparazione e alla distribuzione.
Abbiamo bisogno di prodotti alimentari e di acqua dolce pulita per produrli; a causa della crescente domanda da parte delle attività umane da un lato e del cambiamento climatico dall'altro, molte regioni, specialmente nel sud del mondo, hanno difficoltà a reperire acqua dolce in quantità sufficiente a soddisfare le proprie necessità.
In alcune aree d'Europa, il solo inquinamento causato da pesticidi e fertilizzanti utilizzati in agricoltura rimane una delle cause principali della scarsa qualità delle acque[21].

## 3.5.2 Qualità dell'acqua

Per qualità dell'acqua si intende l'insieme di alcuni parametri che indicano il contenuto fisico-chimico dell'acqua. Secondo il metodo di analisi elaborato da Zerluth e Gienger[22] nel 2004, essi possono essere suddivisi in tre categorie:
- parametri chimici, che indicano la presenza e il livello di prodotti chimici, minerali, ossigeno, carbonato di calcio, PH, durezza;
- parametri biologici, che indicano la presenza di batteri, virus, patogeni, funghi;
- parametri energetici, che indicano i livelli di capacità vitale, tensione superficiale, assorbimento della luce.

Nell'ambito esplorato in questa tesi, l'attenzione si focalizza in particolare sulle proprietà chimiche dell'acqua, in quanto sono quelle che maggiormente influiscono sulla salute delle piante; si riportano quindi i parametri più importanti[23] anche al fine di comprendere più rapidamente i capitoli successivi. Essi sono:
- il PH, che indica la concentrazione di ioni idrogeno e rappresenta il livello di acidità o alcalinità dell'acqua, con una scala da 0 a 14 dove da 0 a 7 la soluzione è acida e da 7 a 14 è alcalina;
- il livello di ossigeno disciolto in acqua (DO - dissolved oxygen), che si misura in milligrammi per litro (mg/l);
- la durezza generale dell'acqua (Gh - general hardness), che indica il livello di calcio, magnesio e ferro presenti in acqua, e si misura in gradi tedeschi (°d);
- la durezza carbonatica dell'acqua (Kh - carbonate hardness), che indica il livello di carbonati e bicarbonati presenti in acqua, e si misura sempre in gradi tedeschi;
- il livello totale di azoto, che può trovarsi sotto forma di ammoniaca ($NH_3$), nitriti ($NO_2$), e nitrati ($NO_3$), tutti misurabili in milligrammi per litro (mg/l).

21. *Agenzia Europea dell'Ambiente. (2012). Acqua e agricoltura, prospettive ed esigenze.*
22. *Toso D., Politecnico di Torino. (2015). Visione sistemica dell'acqua.*
23. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

# 4 Coltivazioni senza suolo



I metodi di coltivazione soil-less (senza suolo) sono chiamati così perchè appunto non prevedono l'utilizzo di un suolo organico (come il terreno) in cui le piante affondino le radici; vengono invece utilizzati come supporto fisico materiali inerti chiamati substrati, come ad esempio ghiaia, perlite, argilla espansa, oppure le radici delle piante sono direttamente immerse nell'acqua a seconda della tecnica di coltivazione utilizzata. In assenza di terreno, le piante assorbono il nutrimento di cui hanno bisogno direttamente dall'acqua, la quale viene arricchita con soluzioni nutritive minerali e poi distribuita attraverso un sistema irrigatore[1].

I vantaggi che queste pratiche di coltivazione offrono, sono molteplici[2]: grazie all'assenza del terreno, che favorisce la vita di diversi organismi compresi agenti patogeni, con queste tecniche si elimina l'uso dei pesticidi e si riduce il numero di parassiti e malattie;

alcuni substrati sono anche meglio del terreno, in particolare in termini di capacità di ritenzione idrica e fornitura di ossigeno nella zona della radice;

la maggior parte dei metodi di coltura privi di suolo usa solo una frazione dell'acqua normalmente necessaria per la produzione tradizionale basata sul suolo perché la soluzione nutritiva viene riciclata;

è possibile controllare le condizioni di crescita delle piante e la qualità dei prodotti di output attraverso il controllo dei parametri ambientali e acquatici, e dei nutrienti forniti;

le coltivazioni senza suolo possono essere sviluppate anche in zone aride il cui terreno non consente la coltivazione classica, nonchè in zone urbane e periurbane;

consentono di sfruttare al meglio lo spazio in quanto possono essere allestite in verticale;

consentono una produzione intensiva senza necessità di competere per acqua e terreni e senza l'utilizzo di prodotti chimici.

Naturalmente anche queste pratiche di coltura presentano degli aspetti limitanti a partire dalla maggiore competenza necessaria all'agricoltore per gestire l'impianto; la soluzione nutritiva, essendo l'unica fonte di nutrimento per le piante, richiede una ricerca accurata su tipologie e quantità di elementi nutritivi da somministrare, in base alle specie vegetali coltivate e alla quantità/qualità che si vuole ottenere dagli output;

si tratta di pratiche agricole che solitamente vengono fatte in ambiente controllato e nel caso la produzione sia finalizzata a scopo commerciale sono necessari impianti di grosse dimensioni gestiti da sistemi informatici, facendo lievitare l'investimento iniziale necessario e le competenze necessarie;

inoltre, per garantire il corretto funzionamento degli impianti, è necessario un input continuo di energia.

Le pratiche di coltivazione senza suolo più comuni sono l'aeroponica, l'idroponica, e l'acquaponica.

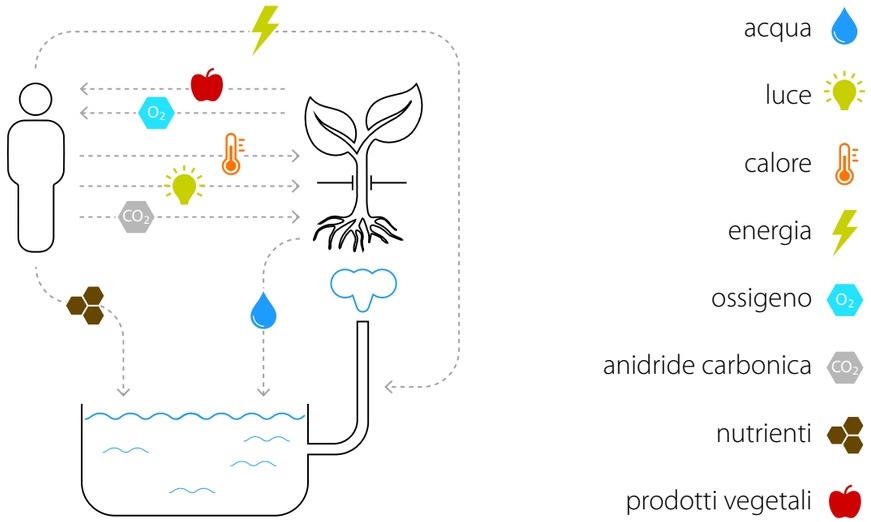
---

1. *Coltura senza suolo - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Coltura_senza_suolo*
2. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

## 4.1 Aeroponica

In aeroponica non viene utilizzato alcun substrato per il sostegno delle piante; esse sono solitamente sorrette da supporti artificiali (come staffe o pannelli di polistirolo) e sono sospese in aria, con le radici esposte. L'acqua, arricchita con la soluzione nutritiva, viene spruzzata direttamente sulle radici attraverso dei nebulizzatori.

*foto da: Globe Guide Media Inc / shutterstock.com*



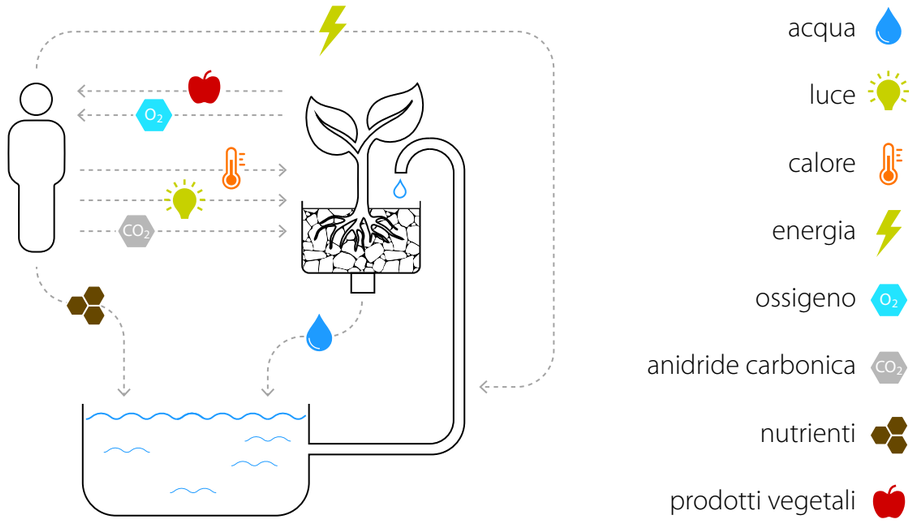

*flussi di un sistema aeroponico*



## 4.2 Idroponica

Nella coltivazione idroponica, le radici delle piante sono inserite nei substrati inerti, i quali vengono inondati a intervalli variabili con l'acqua arricchita dalla soluzione nutritiva.

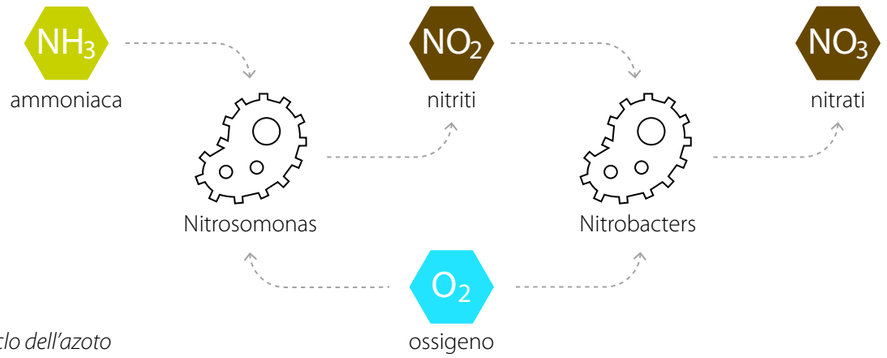
*foto da: pinterest.it*




*flussi di un sistema idroponico*

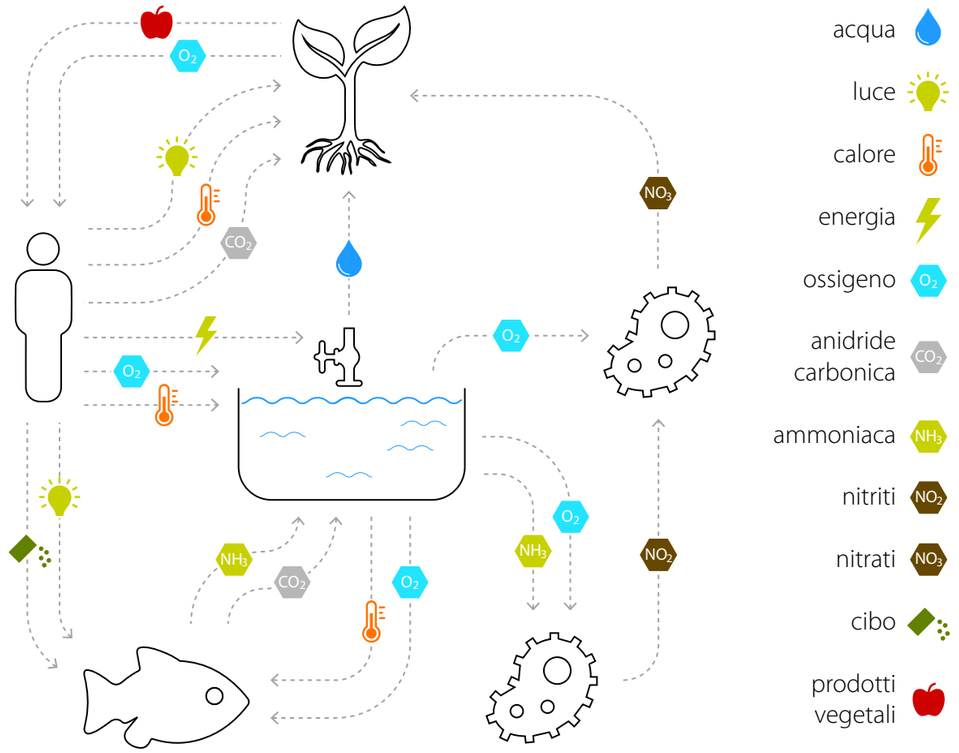
## 4.3 Acquaponica

L'acquaponica è il risultato dell'unione tra la coltivazione idroponica e l'acquacoltura, ovvero l'allevamento di specie animali acquatiche a scopo alimentare o a scopo ornamentale (acquari). L'obiettivo è quello di sfruttare la naturale sinergia che avviene tra gli attori del sistema, che sono le piante, i pesci, e alcune specie di batteri.
Con sinergia si intende la collaborazione a livello biologico tra diverse specie di organismi, i quali svolgono funzioni specifiche per il mantenimento dell'equilibrio dell'ecosistema in cui vivono. Infatti, lo scopo dell'acquaponica è proprio quello di riprodurre un ecosistema naturale, in cui ogni parte coinvolta partecipa al mantenimento dello stato di salute del sistema.
Le feci prodotte dai pesci si disciolgono in acqua, la quale viene filtrata meccanicamente al fine di rimuovere i rifiuti solidi; ciò che rimane in acqua è ammoniaca ($NH_3$), la quale subisce due conversioni ad opera di due specie di batteri: in primo luogo intervengono i batteri ammonio-ossidanti (nitrosomonas) che si nutrono di ammoniaca convertendola in nitriti ($NO_2$); in secondo luogo intervengono i batteri nitriti-ossidanti (nitrobacter) che si nutrono di nitriti convertendoli in nitrati ($NO_3$).
Le colonie batteriche si sviluppano sulle superfici del substrato e costituiscono il biofiltro del sistema, che è fondamentale per il nutrimento delle piante e per la salute dei pesci: per questi ultimi infatti, livelli elevati di ammoniaca e nitriti in acqua costituiscono un pericolo in quanto tossici; contemporaneamente i nitrati costituiscono la fonte di nutrimento per le piante, le quali li assorbono dall'acqua purificandola; dopo il passaggio nel letto di crescita delle piante, l'acqua torna infine nella vasca dei pesci come acqua pulita[3].
Nella coltivazione acquaponica, l'input necessario non è quindi la soluzione nutritiva da aggiungere all'acqua, ma il cibo per i pesci, tramite il quale l'azoto entra nel sistema avviando il suo ciclo per nutrire tutti gli altri organismi presenti.




*ciclo dell'azoto*

3. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*




*flussi di un sistema acquaponico*

### 4.3.1 Vantaggi e limiti

La coltivazione acquaponica presenta evidentemente enormi potenzialità dal punto di vista della produzione di cibo in modo sostenibile e sano; gli aspetti più vantaggiosi della coltivazione acquaponica sono i seguenti[4]:
- è una pratica che consente di produrre cibo in modo intensivo e allo stesso tempo in modo sostenibile;
- è possibile ottenere due prodotti alimentari (pesce e vegetali) a partire da un unico input, il cibo per i pesci.
- l'assenza di terreno esclude quasi del tutto la presenza di agenti patogeni e malattie, oltre a eliminare l'uso di prodotti chimici come fertilizzanti e pesticidi;
- la produzione biologica di output (senza l'utilizzo di prodotti artificiali esterni) consente di ottenere prodotti qualitativamente migliori;
- consente di ridurre gli sprechi e le perdite oltre a portare un notevole risparmio di acqua, dato che viene depurata e riciclata continuamente e in modo naturale;
- può essere praticata ovunque, anche nelle zone in cui il terreno non è coltivabile;
- può essere allestita in diverse scale in base all'obiettivo, consentendo ad esempio sia un utilizzo di tipo commerciale con grandi impianti, sia una produzione a misura familiare con impianti più piccoli, sia un impiego individuale in micro-scala.

Come le altre pratiche di coltura senza suolo però, anch'essa presenta attualmente dei limiti[5]:
- è un sistema complesso basato su un delicato equilibrio, il quale, per essere mantenuto, necessita di competenze in diversi campi e gestione quotidiana;
- necessita un monitoraggio e un controllo costante dell'ambiente e soprattutto dei parametri dell'acqua, che costituisce il medium attraverso il quale si nutrono e sopravvivono tutti gli organismi presenti nel sistema;
- le necessità ambientali di piante, pesci e batteri cambiano in base alla specie e non sempre coincidono, portando quindi il coltivatore a dover stabilire e mantenere un equilibrio dei parametri ambientali che vada bene per tutti;
- essendo un sistema il cui equilibrio si basa sulle strette interdipendenze tra tutti i fattori, una piccola alterazione può causare grossi danni a tutto il sistema;
- la produzione a scopo commerciale richiede l'installazione di grossi impianti idraulici e sistemi di monitoraggio e controllo, per i quali sono necessarie ulteriori competenze;
- l'investimento iniziale necessario è elevato, in quanto si devono allestire un sistema idroponico ed un sistema di acquacoltua, oltre a tutti i componenti per il monitoraggio e il controllo;
- è necessario un input costante di energia elettrica per mantenere l'equilibrio del sistema;

4. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
5. *ibidem*



- è necessaria una fornitura regolare di cibo per i pesci in quanto input principale per il funzionamento di tutto il sistema;
- è necessario l'accesso ai semi di pesce (avannotti, pesci appena nati), e ai semi di piante per assicurare la prosecuzione della vita dell'impianto.

Questi ultimi input possono essere forniti in modi alternativi[6] al fine di ridurre i costi di gestione, ad esempio integrando nel sistema pannelli fotovoltaici per l'energia elettrica, producendo autonomamente il cibo per i pesci (attraverso coltivazione di piante acquatiche o allevamento di insetti), o allevamento di pesci come "serbatoio di scorta" di nuovi esemplari.
Tutto questo porterebbe sempre più il sistema ad essere autosufficiente, anche se queste attività richiedono ulteriori conoscenze, competenze e tempo, non rendendolo realizzabile per chiunque.

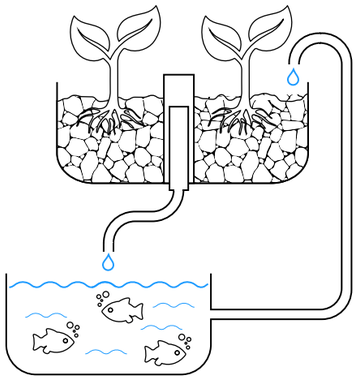
### 4.3.2 Impieghi attuali

Attualmente esistono pochi sistemi acquaponici di grandi dimensioni a scopo commerciale, a causa dell'alto investimento iniziale necessario e delle svariate competenze necessarie per l'avviamento e la gestione degli impianti. Quasi tutte le aziende agricole basate sulla coltivazione acquaponica utilizzano monocolture di specie vegetali ad alto rendimento, in quanto molto spesso i ricavi dell'attività non riescono a compensare i costi; accade quindi che la maggior parte degli impianti di media e grande scala vengono utilizzati per la ricerca e la sperimentazione piuttosto che per produrre cibo[7].
Negli ultimi anni comunque, c'è stato un notevole sviluppo di attività acquaponiche di piccola scala, gestite soprattutto da hobbisti, allo scopo di diffondere consigli e istruzioni. Inoltre sono fiorite molte comunità, in particolare in scuole e università, in cui impianti acquaponici di piccola scala vengono utilizzati a scopo educativo per diffondere la conoscenza sulle pratiche agricole sostenibili e sane, nonchè sui diversi ambiti che un sistema acquaponico tocca (biologia, botanica, allevamento, chimica, elettronica, informatica).
Attualmente l'acquaponica è limitata perciò alla dimensione educativa e sperimentale, o alla produzione finalizzata al consumo personale, in quanto non è ancora in grado di competere con i grandi produttori a livello commerciale.

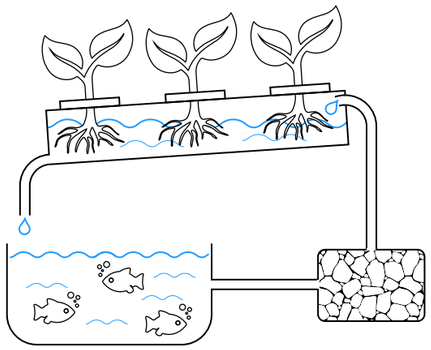
6. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
7. *ibidem*

## 4.3.3 Configurazioni

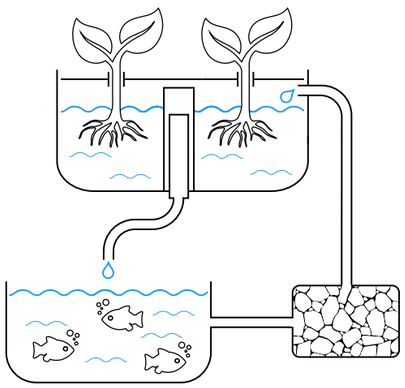
Un impianto acquaponico può essere allestito in diverse configurazioni, ognuna con caratteristiche diverse, in base alle esigenze e al contesto in cui avviene la coltivazione. Di seguito sono illustrate le tecniche maggiormente diffuse e usate.



- Tecnica a letti di crescita (media bed colture):
  in questa configurazione il substrato funge sia da sostegno fisico per le piante, sia da filtro meccanico per i rifiuti solidi, sia da alloggio per il filtro biologico (batteri); l'acqua viene pompata a intervalli regolari dalla vasca dei pesci al letto di crescita che viene svuotato solitamente con dei sifoni automatici, riportando l'acqua nella vasca dei pesci.



- Tecnica nutrient flow (NFT):
  in questa configurazione non viene usato il substrato ed è quindi necessario un filtro esterno; l'acqua viene pompata attraverso il filtro e poi attraverso un alloggio in cui bagna le radici delle piante, solitamente un tubo posto in leggera pendenza in modo che l'acqua torni nella vasca dei pesci semplicemente per gravità.



- Deep water colture (DWC):
  Anche in questo caso non viene usato alcun substrato ed è quindi necessario un filtro esterno; L'acqua viene pompata dalla vasca dei pesci nelle vasche in cui le piante sono sorrette da supporti che lasciano pendere le radici, le quali sono quindi immerse.



## 4.3.4 Qualità ideale dell'acqua

L'acqua è la linfa vitale di un sistema acquaponico in quanto costituisce il mezzo attraverso il quale il nutrimento e l'ossigeno vengono trasportati alle piante, ai pesci e ai batteri, oltre a costituire il loro ambiente di vita; è cruciale quindi, per la salute del sistema, avere una qualità dell'acqua che soddisfi le esigenze di tutti gli organismi.
Come precedentemente illustrato, i parametri fondamentali per la vita in ambiente acquatico sono la temperatura, il PH, il livello di ossigeno disciolto, il livello totale di azoto disciolto (ammoniaca, nitriti, nitrati), e la durezza (generale e carbonatica).
Ognuno di questi parametri ha un impatto diverso su ciascun organismo e le esigenze cambiano in base alla specie: ad esempio una specie di pesci necessita una determinata temperatura rispetto ad un'altra, così come una specie vegetale necessita una maggiore quantità di nutrienti rispetto ad un'altra[8]. Capita spesso infatti che le esigenze di pesci e piante non coincidano, portando quindi il coltivatore a dover trovare un compromesso che mantenga in salute entrambi; si tratta di un delicato equilibrio tra i vari parametri da mantenere costantemente, dato che una piccola alterazione di un parametro diventa dannosa per una o per l'altra specie, oltre a innescare un'alterazione conseguente degli altri parametri che causa danni a tutti gli organismi. Diventa quindi fondamentale la scelta del tipo di pesci in base alla specie vegetale che si vuole coltivare o viceversa, in modo da avere pesci e piante con esigenze ambientali simili.
Nel suo documento "Small-scale acquaponic food production" del 2014, la FAO riassume i range di ogni parametro ottimali per ciascun organismo, indicando poi il compromesso ideale per un generico sistema acquaponico.

| | piante | pesci da acqua calda | pesci da acqua fredda | batteri | media ideale |
|---|---|---|---|---|---|
| temperatura (°C) | 16 - 30 | 22 - 32 | 10 - 18 | 14 - 35 | 18 - 30 |
| PH | 5,5 - 7,5 | 6,0 - 8,5 | 6,0 - 8,5 | 6,0 - 8,5 | 6,0 - 7,5 |
| ossigeno (mg/l) | > 3 | 4 - 6 | 6 - 8 | 4 - 8 | > 5 |
| durezza (°d) | 6 - 14 | / | / | / | 6 - 14 |
| ammoniaca (mg/l) | < 30 | < 3 | < 1 | < 3 | < 1 |
| nitriti (mg/l) | < 1 | < 1 | < 0,1 | < 1 | < 1 |
| nitrati (mg/l) | > 5 | > 50 | > 50 | / | 5 - 50 |

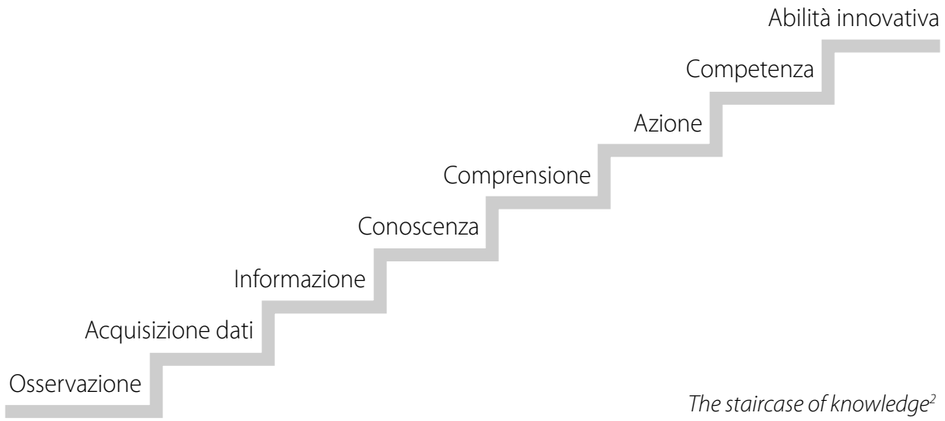
8. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

# 5 Monitoraggio e controllo



## 5.1 Ruolo del monitoraggio ambientale

I sistemi di coltivazione senza suolo, ed in particolare i sistemi acquaponici, sono caratterizzati da rapporti di stretta interdipendenza tra organismi coinvolti e parametri ambientali; nei sistemi acquaponici vengono riprodotti le funzioni e i comportamenti di un vero e proprio ecosistema naturale, il quale è governato da un delicato equilibrio, frutto delle azioni combinate dei vari agenti, influenzate dall'ambiente in cui agiscono. Come è stato illustrato, ad esempio, l'acqua è la componente fondamentale di un sistema acquaponico poichè la sua qualità influenza il comportamento e la salute di tutti gli organismi.
Risulta quindi fondamentale un monitoraggio costante, e all'occorrenza un controllo (inteso come intervento) dell'ambiente acquatico e dei suoi parametri. Il monitoraggio ambientale può essere definito come l'osservazione e lo studio dell'ambiente[1] per ricavare informazioni e conoscenza; questo porta ad una maggiore comprensione delle caratteristiche singole di ogni attore o parametro, e delle relazioni che esistono tra essi, abilitando l'agricoltore a prendere decisioni più efficienti.
Acquisendo, collezionando e interpretando i dati quantitativi e qualitativi provenienti dal sistema di coltivazione, è quindi possibile comprendere il funzionamento complessivo del sistema, quale parametro influenza quale, quale attore influenza quale, ecc. Correlando ad esempio la variazione di un parametro misurato, con un'azione o un insieme di azioni, è possibile derivare informazioni su un altro parametro  che non è possibile misurare. In questo modo si acquisisce non solo conoscenza sui fenomeni misurati direttamente, ma si può derivare conoscenza sulle relazioni tra organismi e ambiente, e prevedere l'andamento del sistema, al fine di ottimizzarlo.




*The staircase of knowledge*[2]

1. *Artiola J., Pepper I. L., & Brusseau M. L. (2004). Environmental Monitoring and Characterization.*
2. *Roots E. F. (1997). Inclusion of different knowledge systems in research.*

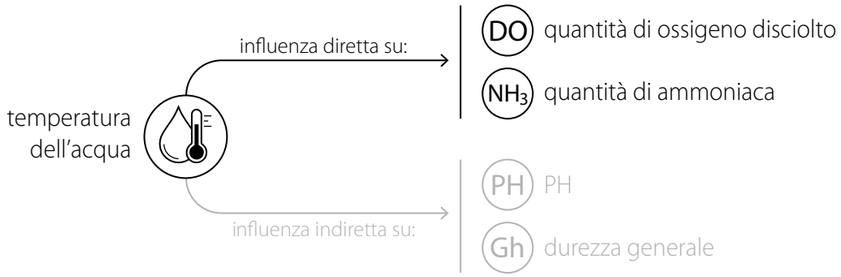
## 5.2 Ambiente acquatico, relazioni interne

Al fine di comprendere il funzionamento di un ecosistema come può essere quello presente in un impianto acquaponico, e individuare le necessità di monitoraggio e controllo dell'ambiente, è necessario esaminare nel dettaglio le relazioni di influenza reciproca che intercorrono tra gli organismi e i fattori ambientali.
Come primo passo si sono analizzate le interdipendenze "interne" al sistema, ovvero il modo in cui interagiscono gli organismi e l'ambiente acquatico, tenendo conto dei seguenti fattori e parametri:
- temperatura dell'acqua;
- acidità dell'acqua (PH);
- quantità di ossigeno disciolto;
- quantità di azoto totale disciolto (ammoniaca, nitriti, nirati);
- quantità di minerali, sali e carbonati disciolti (durezza dell'acqua);
- specie e numero di piante e pesci.

Il variare di questi fattori ne influenza direttamente o indirettamente altri.

### 5.2.1 Temperatura dell'acqua

La temperatura dell'acqua influisce su diversi fattori in un sistema acquaponico[3]. Essa ha un effetto diretto sulla quantità di ossigeno disciolto e sul grado di tossicità dell'ammoniaca; infatti più la temperatura è elevata, minore è la capacità dell'acqua di assorbire ossigeno, il quale perciò cala all'aumentare della temperatura; inoltre una temperatura dell'acqua elevata riduce la capacità delle piante di assorbire calcio, influenzando la durezza dell'acqua. Temperature troppo basse riducono invece l'efficienza del biofiltro e quindi la conversione dell'ammoniaca da parte dei batteri, senza la quale il livello di ammoniaca diventerebbe tossico per i pesci. Questo influisce anche sul PH. Infine, delle escursioni termiche troppo nette (ad esempio dal giorno alla notte) possono provocare stress a pesci e batteri, causando perciò una riduzione della loro efficienza. Risulta quindi fondamentale un monitoraggio costante della temperatura dell'acqua e un controllo nel caso in cui essa esca dal range ottimale.

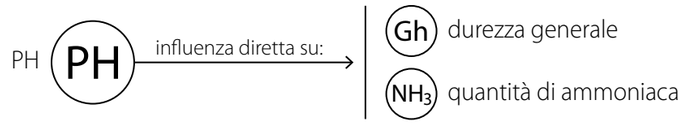



3. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*



### 5.2.2 PH

Il PH indica il livello di acidità o alcalinità dell'acqua, determinato dalla quantità di ioni idrogeno ($H^+$) presenti in acqua. Esso ha un ruolo fondamentale per gli organismi del sistema, in particolare piante e batteri[4]. Le piante riescono ad assorbire nutrienti dall'acqua se il PH resta in un determinato range (diverso per ogni specie); un PH elevato (alcalino) provoca carenza di ferro, fosforo e magnesio, influenzando la durezza generale dell'acqua, mentre un PH basso (acido) riduce la capacità dei batteri di convertire l'ammoniaca in nitrati, aumentando la tossicità per i pesci.
Inoltre è importante considerare che la scala del PH è logaritmica il che significa che l'aumento o la diminuzione di una unità equivale ad un aumento o diminuzione di 10 volte, l'aumento o la diminuzione di due unità equivale ad un aumento o diminuzione di 100 volte, e così via; ad esempio un PH a 7 ha dieci volte meno ioni idrogeno di un PH a 6, cento volte meno ioni idrogeno di un PH a 5, mille volte meno ioni idrogeno di un PH a 4, ecc. Questo significa che una minima variazione del PH può provocare grosse variazioni degli altri parametri influendo sulla salute del sistema.
Risulta quindi fondamentale un monitoraggio costante del PH e un mantenimento del suo equilibrio attraverso un controllo diretto, o intervenendo sui parametri che lo influenzano.



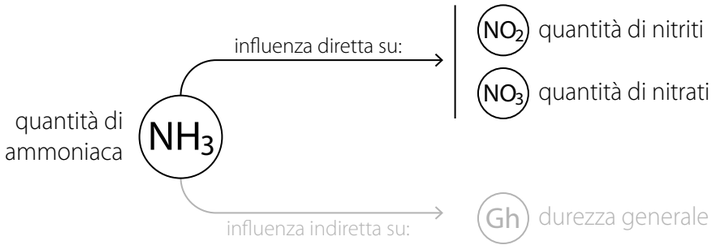

### 5.2.3 Ossigeno disciolto

Piante, pesci e batteri hanno bisogno di ossigeno per sopravvivere e l'ossigeno disciolto in acqua deve essere abbastanza per tutti. La quantità di ossigeno disciolto influisce sulla capacità dell'acqua di assorbire microminerali e quindi sulla durezza generale. Anche l'attività del biofiltro è influenzata dalla quantità di ossigeno disciolto in acqua, influendo perciò sul livello di ammoniaca[5]. L'ossigeno disciolto è il parametro che ha effetti più immediati sul sistema, pertanto sono necessari un monitoraggio e un controllo costanti.

4. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
5. *ibidem*

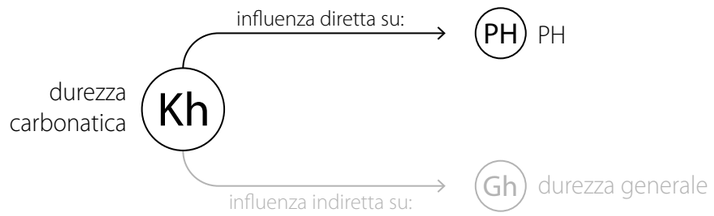
### 5.2.4 Azoto totale

Durante il suo ciclo l'azoto è presente in acqua in diverse forme; inizialmente sotto-forma di ammoniaca ($NH_3$) prodotta come scarto dai pesci, che poi viene trasformata in nitriti ($NO_2$) dai batteri ammonio-ossidanti, ed infine in nitrati ($NO_3$) dai batteri nitriti-ossidanti. Ognuno di questi elementi ha effetti diversi sugli organismi del sistema; l'ammoniaca e i nitriti ad esempio sono cento volte più tossici per i pesci rispetto ai nitrati, i quali sono la forma di nutrimento maggiormente assimilabile dalle piante. Alti livelli di ammoniaca sono più difficilmente assimilabili dai batteri e possono quindi causare la morte dei pesci, oltre a limitare l'efficienza del biofiltro e le conseguenti concentrazioni di nitrati. Inoltre un abbassamento di nutrienti fa calare la durezza generale dell'acqua[6].




### 5.2.5 Durezza dell'acqua

La durezza generale (Gh) dell'acqua indica il livello di micronutrienti presenti in acqua; ne risulta che un'acqua più "dura" è ideale per le piante e non provoca danni agli altri organismi. La durezza carbonatica (Kh) ha un influenza diretta sul PH; un'acqua ricca di carbonati e bicarbonati infatti aumenta l'alcalinità facendo alzare il PH. Questo processo è fondamentale in un sistema acquaponico in quanto va a contrastare l'abbassamento del PH causato dalla respirazione dei pesci e dalla nitrificazione dei batteri, mantenendolo in equilibrio[7].




6. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
7. *ibidem*



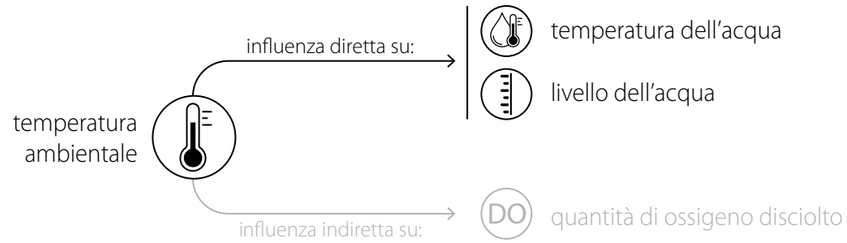
## 5.3 Ambiente acquatico, relazioni con l'esterno

Come secondo passo per la comprensione delle relazioni di influenza reciproca che intercorrono tra gli organismi e l'ambiente, si sono analizzate le influenze "esterne" al sistema, ovvero il modo in cui i fattori ambientali influiscono sui parametri dell'ambiente acquatico e i suoi organismi, tenendo conto dei seguenti aspetti:
- temperatura ambientale;
- illuminazione;
- ventilazione;
- flussi d'acqua;

Il variare di questi fattori ne influenza direttamente o indirettamente altri.

### 5.3.1 Temperatura ambientale

La temperatura ambientale dipende da vari aspetti, in particolare dalla location del sistema di coltivazione e dal clima locale[8]; la temperatura può essere infatti regolata nelle coltivazioni in ambienti controllati e isolati, mentre nel caso di allestimenti all'esterno essa è soggetta alle escursioni termiche naturali. La temperatura ambientale ha un impatto diretto sulla temperatura dell'acqua (e conseguentemente sulla quantità di ossigeno disciolto) e sul livello dell'acqua, in quanto temperature elevate aumentano l'evaporazione causando un abbassamento del livello dell'acqua.

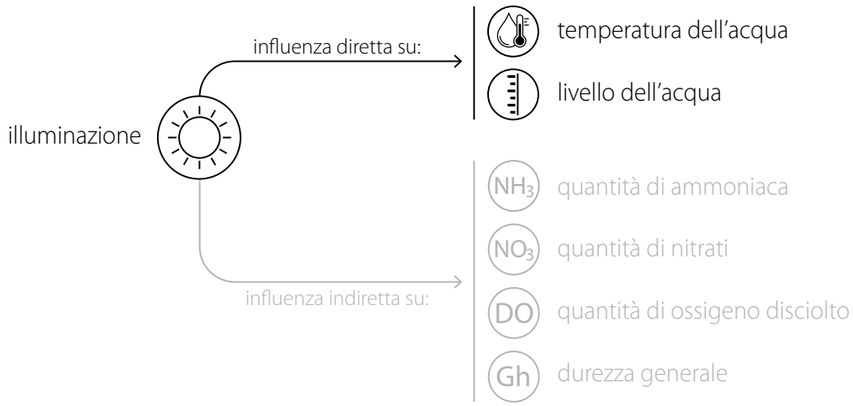



### 5.3.2 Illuminazione

L'esposizione alla luce solare influisce direttamente sulla temperatura e sul livello dell'acqua provocando l'evaporazione della stessa. La luce è anche determinante per la crescita delle piante e conseguentemente per la quantità di nutrienti che esse assorbono dall'acqua, andando a incidere sui livelli di nitrati e sulla durezza dell'acqua. L'azione dei raggi UV è inoltre dannosa per i batteri è può influire sull'efficienza

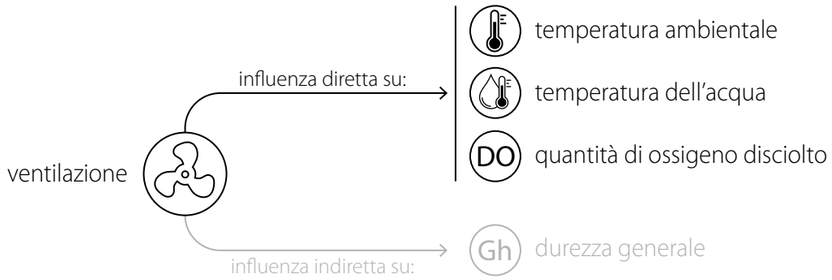
8. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

del biofiltro, andando a incidere sul livello di ammoniaca presente in acqua. Infine, l'esposizione diretta dell'acqua alla luce solare favorisce la nascita di alghe acquatiche che vanno ad assorbire dall'acqua nutrienti e ossigeno, influendo sulla durezza dell'acqua e sulla quantità di ossigeno disciolto. Allo stesso tempo i pesci hanno bisogno del ciclo luminoso naturale giorno/notte, in quanto cambi di illuminazione improvvisi causano stress e rallentamento delle loro attività.
L'illuminazione è quindi un fattore determinante per la salute del sistema dato che, direttamente o indirettamente, influisce su quasi tutti i parametri vitali dell'acqua[9].




## 5.3.3 Ventilazione

La ventilazione ambientale, così come la temperatura e l'illuminazione, dipende dalla location della coltivazione e dal clima. Essa influisce direttamente sulla temperatura ambientale e sulla temperatura dell'acqua. È inoltre importante come fonte di ossigenazione dell'acqua; livelli troppo elevati di ossigeno disciolto però possono ridurre la capacità dell'acqua di assorbire microminerali, influenzando la durezza generale dell'acqua[10].

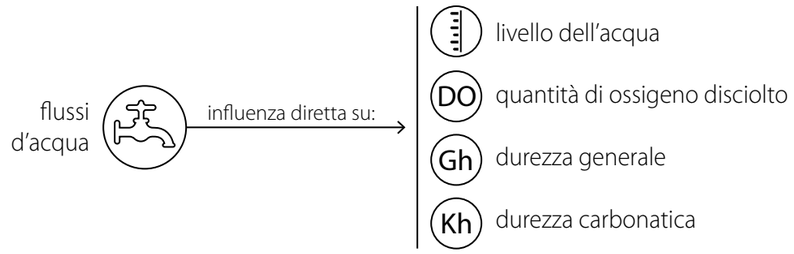



9. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
10. *ibidem*



## 5.3.4 Flussi d'acqua

I flussi d'acqua all'interno di un sistema acquaponico sono determinati da diversi aspetti, come il sistema idraulico, il sistema di irrigazione e le aggiunte di acqua, tutti fattori che possono incidere sul livello dell'acqua nelle vasche e sui suoi parametri.
Il sistema idraulico garantisce la circolazione dell'acqua tra le diverse parti dell'impianto e la sua efficienza è determinante in quanto eventuali perdite o malfunzionamenti possono causare l'abbassamento del livello dell'acqua.
Lo stesso vale per il sistema di irrigazione, che deve essere bilanciato e calibrato in base al contesto, in quanto un'irrigazione eccessiva o insufficiente provoca danni sia alle piante che all'ambiente acquatico.
Infine le aggiunte di acqua possono essere più o meno frequenti in base alla quantità di acqua assorbita dalle piante (che dipende dal numero e dalle specie vegetali coltivate), alla quantità di acqua che evapora (che dipende dalla configurazione del sistema e dal clima), e appunto ad eventuali perdite nell'impianto idraulico. Aggiungere acqua al sistema è un aspetto molto delicato in quanto la qualità dell'acqua che si va ad aggiungere è sempre diversa da quella già presente nel sistema e questo va ad influire sui parametri vitali, in particolare la durezza e la quantità di ossigeno disciolto; aggiunte sostanziose di acqua molto diversa da quella del sistema possono causare brusche variazioni dei parametri provocando danni a tutti gli organismi[11].




11. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

## 5.4 Modalità di monitoraggio e controllo

Le modalità e i mezzi con cui vengono effettuati il monitoraggio e il controllo dell' ambiente di coltivazione variano in base a diversi fattori, come la location di coltivazione, le dimensioni e la configurazione dell'impianto, la quantità e la qualità desiderate dell'output, le caratteristiche e le competenze del soggetto coltivatore, i mezzi disponibili.
Nei sistemi acquaponici, questi aspetti si intrecciano con la complessità delle relazioni di interdipendenza, precedentemente descritte, tra tutti i fattori del sistema che ne determinano il delicato equilibrio e il corretto funzionamento. Ne risulta perciò una necessità di monitoraggio e di controllo particolarmente elevata, per alcuni parametri addirittura costante.
È evidente quindi come il modo in cui si monitora e si controlla l'ambiente acquatico può essere di tipo manuale o ti tipo automatico. L'automazione è necessaria per gestire quei parametri che non potrebbero essere gestiti manualmente (per la complessità delle operazioni o per l'elevata necessità di tempo ed energie, come ad esempio l'irrigazione, che deve essere effettuata costantemente a intervalli regolari); al contrario ci sono altri aspetti che vengono gestiti manualmente a causa, ad esempio, dell'elevato costo dei componenti necessari ad automatizzarli, o dell'elevata necessità di competenze per usarli[12].
Entrambe le modalità presentano aspetti più o meno vantaggiosi, dal punto di vista strettamente pratico e dal punto di vista esperienziale; un monitoraggio ed un controllo automatizzati, ad esempio, danno la possibilità di risparmiare energie e tempo per operazioni ripetitive che necessitano una frequenza assicurata, ma comportano maggiore costo e consumo energetico. Al contrario, le operazioni di monitoraggio e di controllo manuali, consentono un coinvolgimento maggiore della persona con le sue abilità di valutazione[13] oltre che un risparmio energetico ed economico, ma necessitano di dedizione quotidiana e maggiore attenzione.
Si potrebbe perciò affermare che le operazioni automatizzate siano più adatte a misurazioni e interventi quantitativi, mentre le operazioni manuali siano più adatte a misurazioni e interventi qualitativi. Per fare un esempio: è più pratico e più utile programmare la frequenza di irrigazione e automatizzarla piuttosto che dover annaffiare manualmente ogni mezz'ora, mentre è più pratico e meno dispendioso osservare lo stato di salute dei pesci a occhio nudo piuttosto che installare magari una fotocamera per osservarli costantemente anche a distanza.
Questo comunque non significa che un metodo è in assoluto migliore dell'altro per una determinata azione, in quanto l'obiettivo del progetto è proprio quello di rendere più flessibili possibile gli strumenti necessari al monitoraggio e al controllo dei parametri, per renderli adattabili a qualsiasi contesto ambientale e personale, e soprattutto per abilitare gli utenti a sperimentare nuove opportunità innovative.
In altre parole, l'utente non deve essere alienato dal funzionamento automatico di un sistema, ma deve invece sempre avere il potere decisionale, ovvero la possibilità di intervenire per modificare anche le funzioni automatizzate, e la possibilità di ricevere i feedback necessari per decidere di farlo.
Nello specifico di un sistema acquaponico, i parametri e gli aspetti da monitorare e controllare nell'ambiente acquatico sono i seguenti.
Monitoraggio:
- livello dell'acqua;
- temperatura dell'acqua;
- PH;
- quantità di ossigeno disciolto;
- quantità totale di azoto (ammoniaca, nitriti, nitrati);
- durezza dell'acqua.

Controllo:
- irrigazione;
- illuminazione;
- ventilazione;
- temperatura dell'acqua;
- aggiunte di acqua;
- fornitura di cibo ai pesci;

Il monitoraggio e il controllo di tipo automatizzato avvengono attraverso un sistema di sensori (dispositivi elettronici in grado di rilevare i valori ambientali come la temperatura o il PH dell'acqua) e attuatori (dispositivi elettronici programmabili in grado di modificare i valori ambientali, come ad esempio luci, ventole, termostati); questi strumenti possono anche essere utilizzati manualmente.
Il monitoraggio e il controllo non elettronici invece, avvengono attraverso strumenti come i test-kit per i parametri dell'acqua e strumenti analogici come termometri, o semplicemente attraverso l'intervento diretto della persona, come ad esempio per fornire il cibo ai pesci.
Attualmente, la maggior parte degli strumenti elettronici utili al monitoraggio e al controllo degli impianti di coltivazione di scala commerciale e ad una informatizzazione dei processi, vengono creati e venduti secondo la solita visione "tecnocapitalistica" che li rende costosi e poco accessibili, e soprattutto uniformati e standardizzati secondo una visione di massa[14]. È il classico approccio di tipo top-down, secondo cui i mezzi e la tecnologia sono nelle mani di pochi individui i quali producono oggetti chiusi a cui gli altri individui devono adattarsi, indipendentemente dal proprio contesto. Questo rende la coltivazione acquaponica attualmente poco praticabile in senso commerciale di produzione intensiva finalizzata alla vendita[15].

12. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
13. *Roots E. F. (1997). Inclusion of different knowledge systems in research.*
14. *Lahart J. (2009). Taking an Open-Source Approach to Hardware.*
15. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

# 6 Transizione tecnologica



## 6.1 Open Source

La filosofia Open Source nasce da un modello di sviluppo non centralizzato e collaborativo. I termini "open" (aperto, libero) e "source" (programma, sorgente), indicano dei prodotti o servizi le cui istruzioni e basi progettuali possono essere consultate e modificate da chiunque, in modo libero. Si basa sui concetti di progettazione partecipativa, inclusione, condivisione della conoscenza, condivisione degli strumenti, co-creazione[1]; principi evidentemente opposti rispetto alla visione centralizzata del paradigma dominante. Le licenze Open Source concedono agli utenti i diritti che sarebbero altrimenti riservati, dalla legge sul diritto d'autore, all'ideatore del prodotto. Nel 2001 infatti, il dirigente di Microsoft, Jim Allchin, ha dichiarato pubblicamente che l'Open Source distrugge il concetto di proprietà intellettuale[2].
La filosofia Open Source è applicata in particolare allo sviluppo di software, codici sorgente alla base del funzionamento di programmi o dispositivi; ha avuto uno sviluppo significativo a partire dagli anni '90, in corrispondenza dell'avvento di Internet, che ha rivoluzionato la circolazione delle informazioni. Inizialmente era visto come una minaccia per le aziende, dato che il software Open Source è più facile da ottenere rispetto ad un software proprietario, ma col tempo sempre più aziende hanno iniziato ad adottare principi Open Source per restare competitive nel crescente settore e per aver visto i vantaggi che questo approccio può portare.
Ad esempio, IBM, Google e Microsoft sono solo alcune delle grandi multinazionali che oggi hanno un coinvolgimento pubblico nel mercato del software aperto[3].
I punti di forza della metodologia Open Source sono diversi: in primo luogo l'accesso a un software non proprietario consente una riduzione dei costi; la natura collaborativa dell'approccio, offre flessibilità e possibilità di personalizzazione praticamente infinite, al contrario dei prodotti chiusi; i software Open Source possono essere integrati con quelli proprietari e co-esistere; le aziende possono consentire la libera modifica del loro "codice" per ottenerne un miglioramento e per poi rilanciarlo[4].
Il movimento Open Source permette quindi alle piccole imprese di partecipare all'economia globale; prima, le piccole imprese non avevano accesso ai mezzi necessari per partecipare o competere nel mercato globale, erano le corporazioni più grandi, i produttori delle reti e dei software ad avere il potere. La creazione del movimento Open Source ha permesso una libertà di accesso globale agli strumenti informatici che sarebbe stata irraggiungibile in un mondo in cui la proprietà è la regola dominante. Il movimento Open Source ha creato pari opportunità per tutti di partecipare all'economia globale. Questo cambiamento di visone consente di considerare l'utente non più come semplice consumatore passivo, ma come soggetto co-sviluppatore. Un software aperto ha migliaia di programmatori indipendenti, che testano e

1. *Anderson C. (2013). Makers.*
2. *Charny B. (2001). "Microsoft Raps Open Source Approach".*
3. *Voas J., Miller K.W., Costello T. (2010). Free and Open Source Software.*
4. *Fosfuri A., Giarratana M.S., Luzzi A. (2008). La commercializzazione di prodotti software Open Source.*

risolvono i problemi del sistema e lo migliorano costantemente, più di quanti potrebbe averne anche la più grande azienda esistente. Tutto questo grazie al nuovo modo di scambiare, condividere e modificare informazioni portato da Internet, che riduce i costi ed è accessibile per tutti.

## 6.2 Internet of Things

Con l'espressione "Internet of things" (IoT), che significa "l'internet delle cose", si intende l'applicazione di Internet al mondo degli oggetti concreti e dei luoghi. Attraverso la rete, gli oggetti e i dispositivi possono comunicare tra loro al fine di scambiare, elaborare e generare informazioni. Questi oggetti vengono chiamati "smart objects" (oggetti intelligenti), in quanto sono in grado di comunicare e interagire tra loro e con l'ambiente esterno. Questo permette di svolgere operazioni complesse in modo cooperativo, come ad esempio far eseguire un'azione ad una macchina in base ai dati ricevuti da altri dispositivi. L'efficienza di questa collaborazione dipende da diversi fattori come il tipo di tecnologie utilizzate, le modalità di connessione, il numero di dispositivi connessi[5].
Il mondo dell'internet degli oggetti è perciò costituito da sistemi cyber-fisici, in cui la parte informatica interagisce con la parte fisica, allo scopo di aumentare la percezione dell'ambiente esterno da parte dell'essere umano, consentirgli una migliore comprensione che va oltre i suoi sensi, dargli quindi più potere decisionale e dargli infine gli strumenti per applicare concretamente le decisioni[6].
Gli oggetti e i sistemi intelligenti si stanno ormai diffondendo in ogni ambito: agricoltura, industria, salute, domotica, ecc., consentendo una migliore gestione delle risorse ed un risparmio energetico in ogni scala di grandezza (dalla dimensione personale alla dimensione urbana ad esempio). L'utilizzo degli smart objects è aumentato in modo significativo ed aumenta in modo esponenziale nel corso degli anni grazie al continuo sviluppo delle tecnologie e dei mezzi di diffusione delle informazioni, che consente un incremento generale delle conoscenze tra le persone[7].

## 6.3 Open hardware

L'insieme di componenti di elettronica definiti come "Open hardware" (hardware libero), comprende tutti gli oggetti hardware progettati con la stessa filosofia dell' Open Source. Come per i software infatti, avviene la libera divulgazione delle informazioni progettuali dei componenti hardware (schemi, materiali, dati sul circuito), e spesso l'hardware (libero) e il software (libero) necessario al funzionamento del

5. *Internet delle cose - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Internet_delle_cose*
6. *Favareau, D., Cobley, P., Kull, K. (2012). A More Developed Sign.*
7. *Tumino A. (2019). Internet of Things: gli oggetti intelligenti prima di ogni "cosa".*



componente, vengono forniti insieme[8]. La diffusione dei componenti di elettronica accessibili è stata favorita anche dalla progressiva crescita delle performance e la contemporanea riduzione delle dimensioni durante le varie rivoluzioni tecnologiche; questo ha consentito lo sviluppo di componenti elettronici sempre più piccoli e pratici, e una riduzione dei costi[9].
Tra software aperto e hardware aperto c'è comunque una differenza di costi: per quanto riguarda i software, il costo consiste in creazione e mantenimento delle infrastrutture della rete Internet che permette la circolazione delle informazioni aperte; nell'ambito hardware, dopo aver ottenuto l'informazione aperta attraverso la rete, c'è l'ulteriore step della realizzazione concreta del componente, che comporta comunque un costo per chi non possiede gli strumenti necessari. Questo pone l'attenzione sulla differenza tra "costo zero" e libertà di usare e modificare un'informazione.
In ogni caso i costi dei componenti Open hardware sono molto ridotti rispetto ai componenti elettronici proprietari e chiusi; questo favorisce notevolmente la loro accessibilità per tutte le fasce di utenti, permettendo ad esempio anche a dei semplici appassionati o hobbisti di realizzare prototipi in modo libero.
Oggi è presente sul mercato una grande varietà di componenti elettronici accessibili come schede controllori, sensori, attuatori, connettori, adattatori, ecc.

### 6.3.1 Arduino e compatibili

Arduino è una piattaforma Open che comprende una parte hardware, costituita da una famiglia di schede elettroniche microcontrollori con diverse caratteristiche, e una parte software, costituita dall'ambiente di programmazione delle schede (IDE).
È stata ideata e sviluppata nel 2005 da alcuni membri dell'Interaction Design Institute di Ivrea come strumento per la prototipazione rapida, per scopi hobbistici, didattici e professionali[10]. La scheda elettronica si basa su un circuito stampato che integra un microcontrollore con dei pin, connessi alle porte input/output, un regolatore di tensione e un ingresso USB che permette la comunicazione con il computer utilizzato per programmare. La parte software, offre un ambiente di sviluppo integrato compatibile con i più diffusi sistemi operativi (Windows, Apple macOS, Linux) che permette di programmare la scheda tramite un linguaggio di programmazione semplificato, derivato dal "C" e dal "C++"; in questo modo anche gli utenti meno esperti possono lavorare con Arduino. Solitamente la piattaforma hardware è distribuita in versione pre-assemblata, online o in negozi specializzati, ed è possibile realizzare sia prototipi "stand-alone"[11], sia progetti comunicanti con software terzi.

8. *Open hardware - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Hardware_libero*
9. *Moore G.E., Brock D. (2006). Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation.*
10. *The making of Arduino - IEEE Spectrum, https://spectrum.ieee.org/the-making-of-arduino*
11. *In informatica, l'espressione stand-alone indica che un oggetto o un software è capace di funzionare da solo o in maniera indipendente da altri oggetti o software.*

*Arduino UNO*

Inizialmente la piattaforma hardware era closed source; successivamente gli utenti della comunità di Arduino hanno raggiunto un accordo con lo staff sviluppatore secondo cui chi lo desidera può legalmente auto-produrre un clone di Arduino o derivarne una versione modificata, scaricando gratuitamente lo schema elettrico e l'elenco dei componenti elettronici necessari[12]. Questo ha consentito lo sviluppo di prodotti Arduino-compatibili da parte di piccole e medie aziende in tutto il mondo, portando sul mercato un'enorme quantità di schede Arduino-compatibili. Tutti questi prodotti sono accomunati dal codice sorgente per l'ambiente di programmazione e dalla licenza libera GPLv2. Grazie alla base software comune ideata dai creatori del progetto, la comunità Arduino ha potuto quindi sviluppare programmi per connettere a questo hardware quasi ogni oggetto elettronico, computer, sensore, o attuatore, attraverso qualsiasi via di comunicazione, come USB, Bluetooth, infrarossi, Wi-Fi, GPS[13].

## 6.3.2 Sensori e attuatori

I sensori sono dei componenti elettronici in grado di misurare delle grandezze dell-'ambiente naturale e inviare i dati a dispositivi elettronici in grado di visualizzarle; lo fanno effettuando una trasformazione del segnale di input in un segnale di diverso tipo[14] .
I sensori più comuni misurano le proprietà fisiche o chimiche dei materiali oppure le variazioni dei parametri ambientali, come ad esempio sensori che misurano la temperatura e l'umidità dell'aria, sensori che misurano l'intensità luminosa, sensori che misurano l'acidità di un liquido, ecc.

12. *Hardware - Arduino, https://www.arduino.cc/en/Main/HardwarePictures*
13. *Arduino - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_(hardware)*
14. *Secchi C. (2005). Sensori e trasduttori, Ingegneria e Tecnologie dei Sistemi di Controllo.*



Con lo sviluppo dell'elettronica i sensori hanno invaso ogni campo tecnologico; a parte le ovvie applicazioni legate alla strumentazione di misura, i sensori sono diffusamente usati in medicina, nell'industria e nella robotica e in generale nei sistemi di controllo[15]. Anche i nostri smartphone sono sempre maggiormente dotati di sensori, come accelerometri, sensori di luminosità, sensori di distanza, sensori di pressione, ecc.
Un sensore può essere considerato come un'estensione della percezione umana, che ci permette di misurare grandezze e variazioni dell'ambiente circostante che con i nostri sensi possiamo magari percepire ma non misurare. In questo senso, l'aspetto più importante di un sensore è la sua sensibilità, ovvero quanto precisamente riesce a misurare la grandezza (o la variazione di grandezza) in base all'unità di misura di riferimento. Esistono infatti sensori più o meno precisi, solitamente in base alla dimensione[16] (i microsensori riescono infatti a effettuare le letture più velocemente e più precisamente); altre caratteristiche che differenziano i vari tipi di sensore sono di ordine tecnico, come la tensione necessaria di alimentazione, il tipo di collegamento, il protocollo di comunicazione con le schede, la conversione del segnale analogico in digitale.

Un attuatore invece, è uno strumento in grado di agire sulla grandezza fisica e modificarla; può essere definito come un qualsiasi dispositivo che converte dell'energia da una forma a un'altra, in modo che questa agisca nell'ambiente fisico[17]. Un esempio può essere una ventola che, trasformando l'energia elettrica, fa muovere l'aria, influendo sulla temperatura e sull'umidità, oppure una lampada che trasforma l'energia elettrica in energia luminosa modificando l'intensità luminosa dell'ambiente.
Se un sensore può essere considerato come un'estensione dei nostri sensi, un attuatore può essere considerato come un'estensione dei nostri arti. Solitamente sensori e attuatori vengono utilizzati insieme in dei cicli di feedback, in cui l'attuatore interviene in base alla misurazione effettuata dal sensore. Un esempio comune di questo funzionamento è la ventola presente nei computer che si attiva quando la temperatura del dispositivo rilevata dal sensore, supera una certa soglia.
Così come per le schede controllori, esistono sul mercato moltissimi sensori e attuatori Open, compatibili con le piattaforme Arduino e Aduino-compatibili, grazie ai quali è perciò possibile per chiunque realizzare prototipi performanti e a basso costo.

15. *Sensore - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Sensore*
16. *Ganesh K. (2010). Modern General Knowledge.*
17. *Attuatore - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Attuatore*

## 6.4 Comunità digitali

Grazie alla diffusione delle tecnologie Open, alla sempre maggiore diffusione degli smart objects, e alla semplificazione dei processi, le possibilità di sperimentazione e creazione di prototipi si sono estese a tutte le fasce di utenti. La crescente accessibilità e il crescente miglioramento prestazionale di queste tecnologie è favorito dal fatto che le esperienze si evolvono con l'uso[18]: la possibilità di utilizzare e modificare liberamente gli strumenti in base alle proprie esigenze, consente alle persone di acquisire agency, intesa come capacità di comprendere e di agire in base a tale comprensione. In sostanza è la capacità di prendere decisioni migliori basandosi sulla conoscenza acquisita tramite l'esperienza. Questo abilita alla sperimentazione libera e consapevole di nuove vie e conseguentemente alla continua implementazione quantitativa e qualitativa degli strumenti, producendo un effetto di loop innovativo[19]. Uno degli effetti di questo fenomeno è la nascita delle comunità digitali, i luoghi virtuali in cui avviene lo scambio continuo di informazioni attraverso la rete. Una comunità digitale (o comunità online) è un insieme di persone che condividono un interesse, un ruolo, una passione, per un determinato argomento, e scambiano informazioni, opinioni, dati e conoscenze su quell'argomento. Il punto di forza di una comunità digitale è che, grazie a Internet, essa può accogliere un numero illimitato di utenti e questo favorisce una diversificazione enorme delle esperienze condivise in base al contesto specifico di ognuno. All'interno di una grande comunità digitale è perciò possibile trovare sia informazioni vicine al nostro contesto (ambito locale), sia informazioni di contesti diversi (ambito globale), il che le rende dei potentissimi strumenti di creazione di conoscenza e opportunità[20].
Questo scambio di conoscenze provenienti da persone in diversi contesti, crea una ricchezza di informazioni che possono servire come aiuto, spunto, implementazione, soluzione e istruzione per gli utenti meno esperti, i quali, in questo modo, possono ottenere una crescita individuale, ed essere a loro volta veicoli per la crescita degli altri. Il risultato è un'innovazione dal basso (bottom-up), in cui la conoscenza di molti raggiunge i singoli individui; principio opposto rispetto ai modelli di diffusione dell' innovazione attualmente dominanti, in cui la conoscenza di pochi viene diffusa e uniformata per tutti (top-down).

18. *Valpreda F., Cataffo M. (2018). Beyond Participatory Design for Service Robotics.*
19. *Roots E. F. (1997). Inclusion of different knowledge systems in research.*
20. *Anderson C. (2013). Makers.*



## 6.5 Makers

Conseguentemente alla circolazione delle conoscenze e all'accessibilità delle tecnologie Open, si diffondono sempre più le figure dei makers, definiti anche come artigiani digitali; essi auto-producono prototipi funzionanti di dispositivi e sistemi utili a qualsiasi attività quotidiana, sfruttando la grande quantità di informazioni aperte e la possibilità di crearli a basso costo, diffondendo poi, con licenze aperte, la conoscenza e le informazioni acquisite[21].
La nascita della figura del maker è strettamente associata alla nascita di spazi hacker, ovvero di spazi di innovazione collaborativa. Nel 2009 se ne contavano oltre un centinaio negli Stati Uniti d'America[22]. Oggi i makers producono le loro creazioni fai-da-te al di fuori dell'offerta del mercato, attraverso i propri strumenti o usufruendo degli spazi di lavoro condivisi, piccole officine che offrono servizi personalizzati di fabbricazione digitale, all'interno dei quali avviene anche uno scambio diretto di conoscenze e competenze tra le persone. Queste "officine" prendono il nome di FabLab e sono generalmente dotati di una serie di strumenti computerizzati in grado di realizzare, in maniera flessibile e semi-automatica, un'ampia gamma di oggetti; tra questi vi sono prodotti tecnologici generalmente considerati di appannaggio esclusivo della produzione di massa[23].
I FabLab hanno dimostrato grandi potenzialità nel fornire ai makers gli strumenti per realizzare autonomamente dispositivi tecnologici, che possono essere adattati alle esigenze personali e/o locali in modi tuttora non accessibili alle produzioni su larga scala.

21. *Rifkin J. (2014). La società a costo marginale zero. L'internet delle cose, l'ascesa del «commons» collaborativo e l'eclissi del capitalismo.*
22. *Lahart J. (2009). Tinkering Makes Comeback Amidst Crisis.*
23. *FabLab - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Fab_lab*

# 7 Metodologia progettuale



## 7.1 Scenari

Al fine di creare un ponte che avvicini le persone alle pratiche di coltivazione sostenibili, secondo i concetti fin qui illustrati, si passa ad analizzare le effettive necessità dell'utenza di riferimento, a partire dall'analisi dei possibili scenari di impiego.
Uno scenario comprende tutte le caratteristiche fisiche e logistiche del contesto in cui si coltiva, ed è evidente come tali caratteristiche possono differire molto da luogo a luogo. Ogni scenario include circostanze diverse attraverso le quali il sistema di coltivazione viene sviluppato e utilizzato dalle persone, come la dimensione, la configurazione, la location, gli inputs, gli outputs, ecc. Esse dipendono da un insieme di condizioni iniziali variabili, che solitamente sono:
- la finalità della coltivazione;
- il luogo in cui si trova la coltivazione;
- l'ambiente di coltivazione.

Queste variabili iniziali determinano fattori come costo, risorse necessarie, energia necessaria, e soprattutto il tipo di interazione che l'utente ha con il sistema, ovvero la quantità e il tipo di attività che l'utente deve svolgere per gestire il sistema, le modalità e i tempi in cui le svolge.
Considerando il complesso equilibrio di interrelazioni che regola il funzionamento di un sistema acquaponico, è fondamentale capire in che modo quei fattori interagiscono con le caratteristiche del contesto, al fine di definire nel dettaglio i compiti e le responsabilità dell'utente affinchè il sistema rimanga in salute.

### 7.1.1 Finalità della coltivazione

Esistono attualmente pochi sistemi acquaponici di grande scala con finalità commerciale, a causa degli investimenti e delle competenze necessari. La maggior parte degli impianti di media e grande scala vengono utilizzati per la ricerca e la sperimentazione piuttosto che per produrre cibo[1]. Vi è un notevole sviluppo invece di attività acquaponiche di piccola scala, gestite soprattutto da hobbisti, istituti educativi, o associazioni, con una finalità di produzione per il consumo personale, non finalizzata alla vendita, o di ricerca e sperimentazione.
In base a cosa si vuole ricavare dalla coltivazione, perciò, si vengono a determinare fattori come la dimensione dell'impianto (per produrre in grosse quantità con finalità commerciale, sono necessari impianti di media e grande scala), il tipo di configurazione da allestire (la tecnica di coltivazione utilizzata, come ad esempio la DWC, maggiormente utilizzata per impianti di grandi dimensioni, o la tecnica a letti di crescita, più utilizzata in impianti di piccola e micro-scala), e la quantità di inputs da fornire (acqua, nutrimento per i pesci, energia elettrica).

1. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

## 7.1.2 Location della coltivazione

La zona in cui si coltiva, e più precisamente il contesto ambientale, sociale, economico e culturale, determinano diversi fattori dello scenario, come il clima (con le relative influenze ambientali che determinano a loro volta quanto e come è necessario monitorare e controllare i parametri ambientali), la disponibilità e l'accessibilità alle risorse, all'energia e ai componenti, e lo spazio disponibile (fattore da non sottovalutare in quanto, anche se gli impianti acquaponici possono essere realizzati in qualsiasi scala di grandezza, a volte le esigenze dimensionali dettate dalla finalità della coltivazione non sempre sono realizzabili ovunque).
Gli impianti di coltivazioni senza suolo, ed in particolare gli impianti acquaponici, vengono per lo più allestiti in contesti urbani e periurbani, con alcune differenze: in un contesto periurbano, come possono essere serre, vivai, o piccole aziende agricole periferiche, è più comune trovare impianti di grande e media scala per la produzione a scopo di consumo familiare o di vendita locale; mentre in spazi urbani, come giardini, parchi e orti urbani, è più comune l'utilizzo di impianti di piccola scala a scopo di ricerca o di produzione per uso personale.
Tutti questi aspetti determinano le caratteristiche dell'interazione che il coltivatore ha con il sistema di coltivazione.

## 7.1.3 Fonti di acqua

Un altro fattore importante che dipende spesso dal luogo in cui si coltiva, è la qualità dell'acqua in ingresso. In alcuni impianti, soprattutto in ambiente outdoor (all'aperto, ambiente non isolato), è necessario aggiungere frequentemente nuova acqua al sistema a causa dell'evaporazione, dell'assorbimento da parte delle piante, e delle eventuali perdite dell'impianto idraulico[2]; come precedentemente illustrato, l'aggiunta di nuova acqua ad un sistema già avviato e stabile è un aspetto molto delicato in quanto l'acqua che si aggiunge va a modificare i parametri fisici e chimici dell'acqua già presente, con effetti per tutti gli organismi.
La fonte d'acqua alla quale si attinge è perciò molto importante e spesso essa dipende dal luogo. Le fonti di acqua più comunemente usate sono l'acqua di rete (la più accessibile in contesti urbani), l'acqua piovana raccolta e l'acqua di pozzo o falda (più frequentemente usate in contesti periurbani)[3]. Ognuno di questi tipi di acqua presenta qualità diverse, che dipendono dalle proprietà fisico-chimiche del terreno, dal clima, dai trattamenti subiti. Questi aspetti aumentano le responsabilità del coltivatore che deve monitorare l'acqua in ingresso prima di aggiungerla (per verificare l'accettabilità dei parametri) e talvolta intervenire (ad esempio con operazioni di filtraggio meccanico o chimico).

2. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*
3. *ibidem*



## 7.1.4 Ambiente di coltivazione

L'ambiente in cui si coltiva va a determinare tutti i parametri ambientali, fisici e chimici che influiscono sulla coltivazione ed in particolare sull'ambiente acquatico[4].
La scelta dell'ambiente di coltivazione dipende da aspetti come la disponibilità di spazio, la disponibilità economica, le competenze che si hanno, la finalità della coltivazione, la dimensione della coltivazione, l'accesso all'energia.
Le coltivazioni acquaponiche possono essere allestite in ambienti esterni o in ambienti controllati e isolati dall'esterno, andando a determinare importanti differenze di gestione.
In un ambiente chiuso e controllato, ad esempio, la temperatura ambientale (che agisce poi sulla temperatura dell'acqua) può essere regolata e mantenuta artificialmente; c'è invece la necessità di illuminazione programmata dato che, trovandosi all'interno, potrebbe non ricevere la giusta quantità di illuminazione naturale; inoltre è necessaria una ventilazione adeguata in quanto la quantità di ossigeno in un ambiente interno potrebbe non essere sufficiente. In questo caso quindi, le competenze necessarie e il consumo energetico sono maggiori.
In un ambiente esterno invece è più facile beneficiare dell'illuminazione naturale, potendo fare a meno di controllarla attraverso luci o lampade. Inoltre all'esterno c'è escursione termica (dal giorno alla notte o da una stagione a un'altra) quindi è necessario un controllo sulla temperatura dell'acqua.
È evidente quindi come le responsabilità e le esigenze del coltivatore cambiano in base all'ambiente in cui coltiva, determinando le caratteristiche della sua interazione con l'impianto.

4. *FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

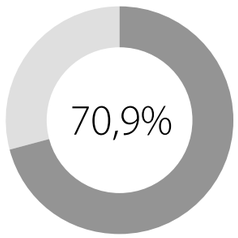
## 7.2 Personas

Dopo l'analisi degli aspetti fisici e logistici della coltivazione acquaponica (scenari), si passa ad analizzare le caratteristiche proprie delle persone che si approcciano alla pratica. L'identikit di un coltivatore comprende tutte le sue caratteristiche ed esigenze personali, le quali si intrecciano con le caratteristiche ed esigenze di ogni scenario. Ogni persona si approccia in modo diverso alla coltivazione solitamente in base a tre aspetti:
- l'interesse e la propensione della persona per la coltivazione, per le coltivazioni senza suolo, per la produzione sostenibile di cibo, per la coltivazione domestica;
- il tempo: tutte le azioni necessarie per la gestione del sistema richiedono tempo, che la persona deve dedicare durante la sua routine; ogni persona ha una diversa routine e quindi una diversa quantità di tempo disponibile;
- le competenze che la persona possiede in materia di botanica, itticoltura, elettronica, informatica;
In base a questi aspetti, una persona avrà più o meno bisogno di affordances dal sistema di coltivazione e questo determina le caratteristiche della sua interazione con esso. Ogni sistema acquaponico prevede azioni di monitoraggio e di controllo, con frequenze e modalità diverse in base allo scenario; la persona ha quindi l'esigenza di adattare le proprie esigenze a quelle del contesto.

### 7.2.1 Sondaggi

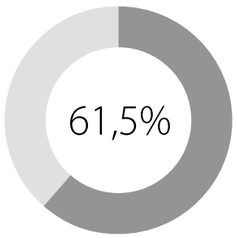
Attraverso le indagini sociologiche svolte dai colleghi Federico Citarda, Alessio Rum e Tommaso Scarpa nella progettazione di un modulo di monitoraggio piante[5], sono emerse alcune informazioni sui possibili utenti, sulle loro abitudini, sul loro interesse, sulle loro competenze. Il questionario è stato sottoposto a persone che per il 71% circa sono di età compresa tra i 20 e i 30 anni, e per l'80% sono coltivatori hobbisti.

età




tra 20 e 30 anni

istruzione



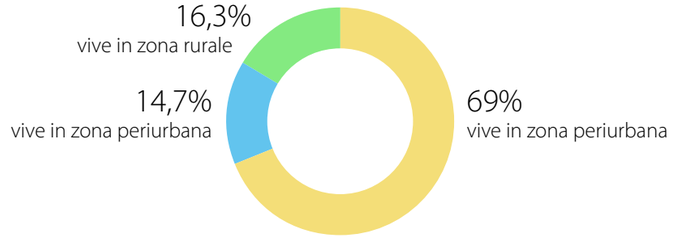

ha un diploma di laurea

5. *Rum A., Scarpa T. Politecnico di Torino. (2020). Accrocchio, accessibilità e scalabilità di pratiche agroecologiche alla micro scala.*



Le domande sono state effettuate a proposito delle seguenti caratteristiche delle persone, e le risposte hanno fatto emergere i seguenti dati.
- Luoghi:
la maggior parte degli intervistati (83,7%) vive in zone urbane e periurbane e i luoghi di coltivazione prediletti sono il balcone (38,5%), l'interno della propria abitazione (31,6%), e il giardino o un piccolo orto (21,4%).

zona di residenza

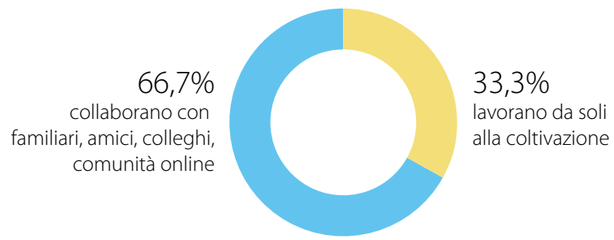



ambienti di coltivazione prediletti

balcone | interno casa | giardino / orto

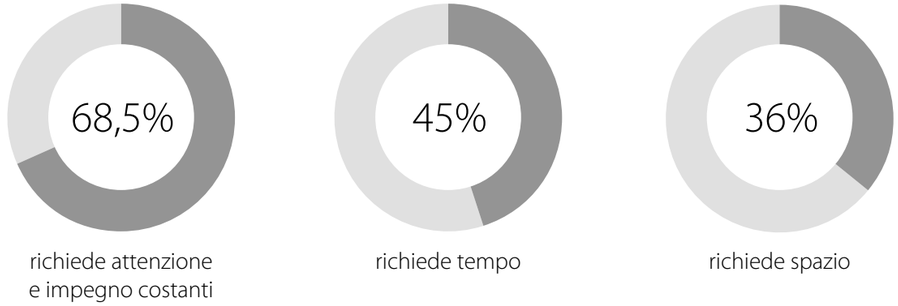
- Collaborazione:
un terzo degli intervistati si occupa della coltivazione da solo, mentre la gran parte di essi coltiva collaborando con familiari, amici, colleghi, comunità online. Questo evidenzia la necessità di scambio di informazioni e conoscenze, e di divisione dei compiti.

collaborazioni



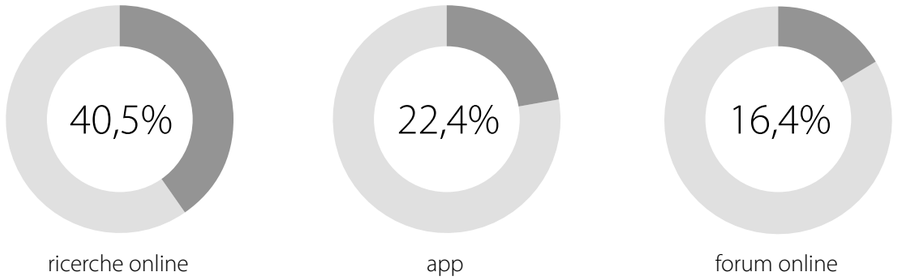
- Aspetti limitanti:
gli aspetti negativi più rilevanti riscontrati da chi gestisce una coltivazione, seppur piccola, sono la necessità di impegno e attenzione costante (68,5%), la necessità di tempo (45%) e la necessità di spazio (36%).

limiti riscontrati da chi coltiva

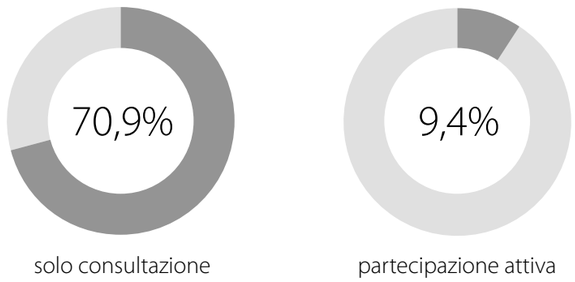



- Mezzi informativi e condivisione:
i mezzi maggiormente utilizzati per la ricerca di informazioni sono ricerche online (40,5%), utilizzo di app (22,4%), e consultazione di forum online (16,4%). Emerge la tendenza degli utenti a utilizzare le piattaforme collaborative online solo a scopo informativo; coloro che le utilizzano in modo partecipativo sono solo il 9,4%.

mezzi informativi prediletti



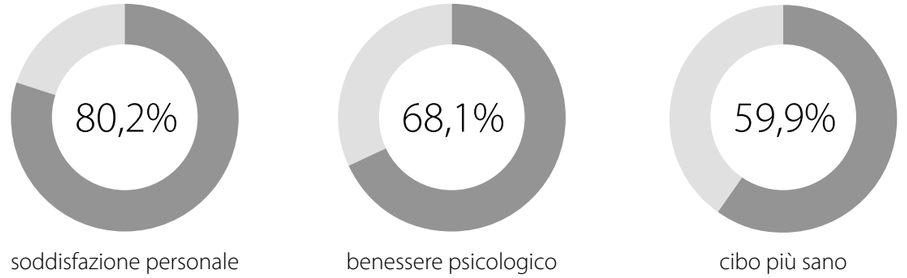

uso di piattaforme collaborative online



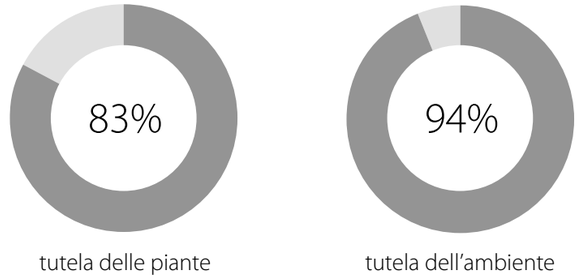



- Interessi emersi:
gli interessi maggiormente riscontrati tra i coltivatori sono la tutela delle piante (83%) e la tutela dell'ambiente (94%), come pure i benefici per la salute dell'uomo, la soddisfazione personale, e il cibo piu sano. Questo evidenzia come chi matura un interesse per la coltivazione, sia poi portato ad avvicinarsi ai concetti di salute personale e ambientale.

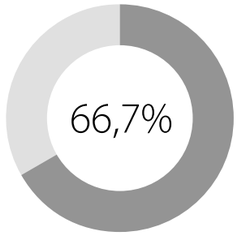
ragioni per cui si coltiva



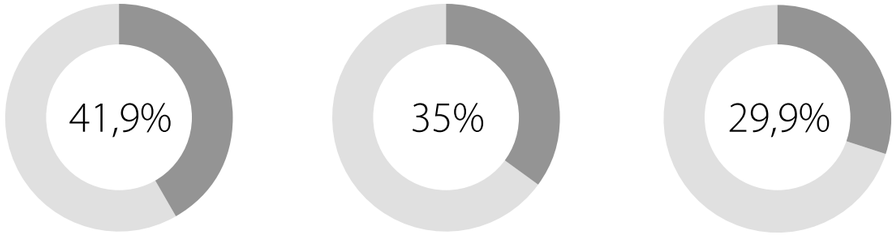

interessi derivati dalla coltivazione



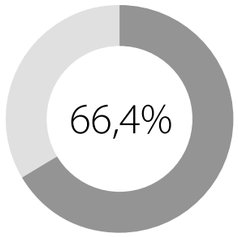

- Conoscenze e competenze
Buona parte degli intervistati (66,7%) conosce le pratiche di idroponica e acquaponica. Più ristretta la percentuale di coloro che conoscono l'Internet of things (41,9%), che hanno un dispositivo domotico (35%), che hanno  almeno una volta utilizzato un dispositivo Open Source (29,9%); pochissimi utilizzano dispositivi elettronici nella propria coltivazione (5,1%).



concetti di IOT, Open Source, domotica, elettronica, programmazione



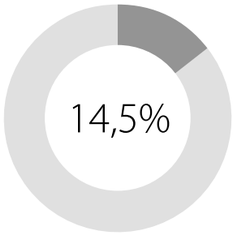

- Propensione all'apprendimento:
è emerso un interesse generale nel voler ampliare le proprie conoscenze in materia di informatica, ecologia, botanica, gestione e progettazione, come pure nell'investire tempo, spazio e denaro in un sistema di coltivazione monitorato e controllato che produca cibo più sano in modo sostenibile.




sono propensi a investire tempo, spazio e denaro per un sistema che produce vegetali sani e in modo controllato

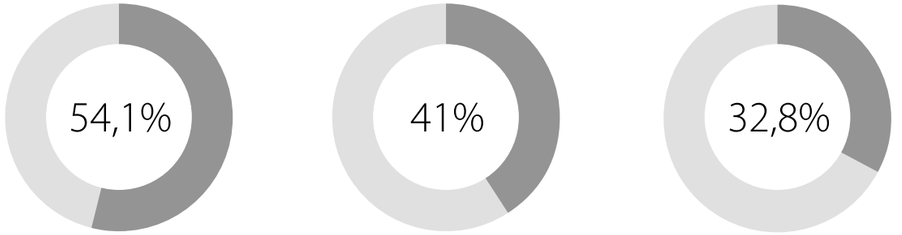


Ostacoli:
il 14,5% degli intervistati non hanno mai coltivato; le principali ragioni per cui si tende a non coltivare sono la mancanza di tempo (54,1%), la mancanza di conoscenze (41%), e la mancanza di spazio (32,8%).




non hanno mai coltivato

motivi per cui si tende a non coltivare




Questi sondaggi, sotto forma di questionari, sono stati utili a far emergere alcuni aspetti chiave per indirizzare la progettazione, in particolare il fatto che i principali ostacoli alla coltivazione sono la mancanza di conoscenze e la mancanza di tempo e spazio. Inoltre è emersa una generale propensione a coltivare in ambito domestico in micro-scala[6].

6. *Rum A., Scarpa T. Politecnico di Torino. (2020). Accrocchio, accessibilità e scalabilità di pratiche agroecologiche alla micro scala.*

# 7.3 Casi studio

Allo scopo di trarre degli spunti progettuali, sono stati analizzati alcuni casi studio che comprendono prodotti e dispositivi appartenenti all'ambito trattato. Alcuni di essi non sono strumenti direttamente collegati alla coltivazione, ma contengono alcuni aspetti integrabili nella progettazione.
Per ogni caso studio sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:
- inputs necessari;
- competenze necessarie;
- spunti progettuali.

## Kitchen Nano Garden

Progetto degli ingegneri della Hyundai, e design Gromo, Kitchen Nano Garden ha come obiettivo l'inserimento di un orto idroponico in cucina, grazie alle sue dimensioni che lo rendono simile a un frigorifero. Il sistema è progettato per sfruttare l'acqua in eccesso dal lavello come risorsa idrica, ed è dotato di un livello separato dedicato al compostaggio degli scarti organici della cucina per nutrire gli ortaggi. Inoltre i parametri ambientali e il livello dell'acqua di ogni ripiano possono essere regolati separatamente per coltivare vegetali diversi[7].

idroponica

**Inputs necessari:**
- acqua;
- energia elettrica;
- soluzione nutritiva;

**Competenze necessarie:**
- botanica;

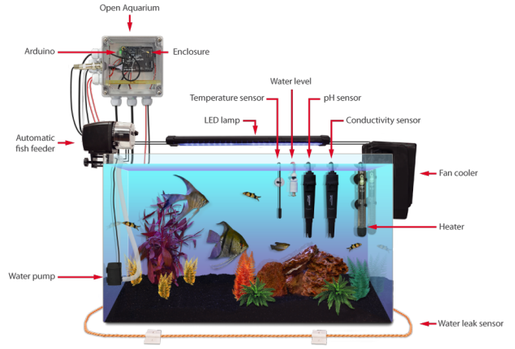
**Spunti progettuali:**
- pronto all'uso;
- riciclo risorse;
- ambiente controllabile;
- integrazione con la cucina;

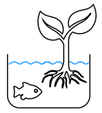
7. *Kitchen Nano Garden, l'orto pensile in cucina. http://www.futurix.it/2011/03/kitchen-nano-garden-lorto-pensile-in.html*



## Open Aquarium

Open Aquarium è una piattaforma Arduino-compatibile pensata per gestire la componente acqua di un sistema acquaponico o idroponico; esso infatti è predisposto per gestire vari sensori e attuatori a scelta, a seconda della coltura utilizzata. Questo lo rende molto versatile e adattabile a qualsiasi contesto. Inoltre tutti i componenti possono essere gestiti grazie a un'API Open Source (compresa nel kit) controllabile con Arduino. C'è anche un'applicazione web tramite la quale è possibile collezionare i dati rilevati e visualizzarli da qualsiasi dispositivo[8].





acquaponica

idroponica

**Inputs necessari:**
- energia elettrica;
- cibo per pesci;

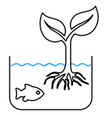
**Competenze necessarie:**
- elettronica;
- informatica;
- botanica;
- itticoltura;

**Spunti progettuali:**
- Open Source;
- modularità, adattabilità;
- integrabilità;
- gestione da remoto;
- collezione dati;

8. *Open Aquarium - Aquaponics and Fish Tank Monitoring for Arduino. https://www.coking-hacks.com/-documentation/tutorials/open-quarium-aquaponics-fish-tank-monitoring-arduino.html*

## Aquapioneers

Aquapioneers fornisce un supporto per un sistema acquaponico di piccola scala. Il punto di forza sta nel fatto che il design della sua struttura sia Open Source, ideato per far si che sia riproducibile da chiunque, in ogni laboratorio di produzione, FabLab, o makerspace[9].



acquaponica

**Inputs necessari:**
- energia elettrica;
- cibo per pesci;

**Competenze necessarie:**
- elettronica;
- informatica;
- botanica;
- itticoltura;

**Spunti progettuali:**
- Open Source;
- riproducibilità;

## AquaSprouts Garden

AquaSprouts Garden fornisce un supporto per un sistema acquaponico o idroponico di piccola scala. Ha un design compatto ed è facilmente spostabile. Viene fornito con pompa, argilla espansa e barra luminosa già inclusi, quindi è subito pronto per iniziare la coltivazione[10].

acquaponica

idroponica

**Inputs necessari:**
- energia elettrica;
- cibo per i pesci o soluzione nutritiva;

**Competenze necessarie:**
- botanica;
- itticoltura;

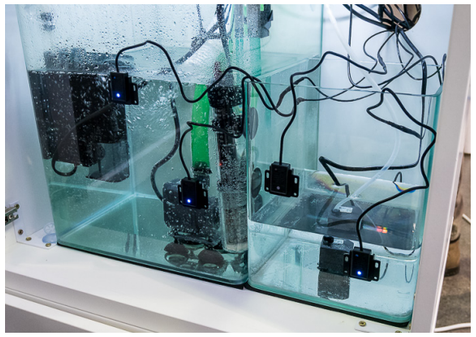
**Spunti progettuali:**
- praticità;
- pronto all'uso;

9. *Aquapioneers kit. http://aquapioneers.io/aquaponics-kit/*
10. *Aquasprouts. https://www.aquasprouts.com/*



## AquaGo

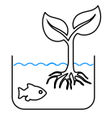
AquaGo è un sistema che permette il monitoraggio e il controllo di un acquario da remoto, potendo gestire sensori di temperatura ambiente, umidità, temperatura acqua, livello dell'acqua, PH, e attuatori come pompe, ventole e luci. Il tutto è gestibile da remoto, grazie a un controller con interfaccia dedicata, con comunicazione GSM o WiFi[11].



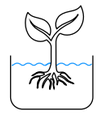
**Inputs necessari:**
- energia elettrica;
- cibo per i pesci;

**Competenze necessarie:**
- elettronica;
- itticoltura;

**Spunti progettuali:**
- modularità, adattabilità;
- connettività;
- gestione da remoto;
- interfaccia di gestione;



acquaponica



idroponica

11. *Aquago. https://www.3lements.it/acquago*

Dai casi studio analizzati emergono alcuni aspetti utili come spunti progettuali oltre quelli già elencati per ogni caso.
I progetti che comprendono piattaforme Open Source necessitano spesso di competenze in vari ambiti per essere utilizzati, ma danno più libertà alla persona di sperimentare e acquisire conoscenza. Si riscontra inoltre, per quanto riguarda i progetti finalizzati alla coltivazione, che la produttività è direttamente proporzionale al costo. Nei casi però in cui la tecnologia è closed source, c'è un minore apprendimento da parte della persona e una più immediata usabilità.
Altro aspetto importante sono le interfacce di gestione, attraverso le quali è più facile monitorare e controllare il sistema, anche a distanza, e visualizzare i dati collezionati in modo da osservarne l'andamento; quest'ultimo aspetto è molto utile nel processo di acquisizione di agency da parte della persona, che riesce in questo modo a prendere decisioni migliori per la gestione del suo impianto.
Dalle ricerche emerge infine che pochi di questi progetti sono supportati da una comunità digitale che ne favorisca l'implementazione.

# 8 Ambito progettuale



## 8.1 Purpose

Dall'analisi fin qui illustrata, emerge la necessità, in ambito di produzione alimentare, di un'inversione dello stato attuale delle cose che porti all'emergenza di pratiche rigenerative; è stato descritto come i processi decisionali e progettuali che partono dal basso (bottom-up) siano molto efficaci per intraprendere questa strada, con l'aiuto delle tecnologie Open Source, sempre più accessibili e performanti, e della circolazione globale delle informazioni.
Per avviare il processo innovativo a partire dal basso, è necessario quindi progettare partendo dalla scala individuale. I sistemi di coltivazione in micro-scala sono meno complessi e non necessitano elevato contenuto tecnologico; si fa riferimento a scenari come piccole coltivazioni domestiche, in giardino, sul balcone, o micro-serre in casa.
Sarebbe perciò utile uno strumento accessibile a tutti individualmente e allo stesso tempo scalabile ed espandibile verso scale maggiori, in modo da ottenere una grande varietà di dati da più contesti diversi. Proprio per questo lo strumento deve essere flessibile e adattabile a scenari diversi.
Nell'ambito della micro-scala inoltre, non sono necessari grandi investimenti, in quanto i sistemi non sono finalizzati alla produzione commerciale; questo identifica l'utenza di riferimento in coltivatori hobbisti o appassionati, che producono a scopo di consumo personale o a scopo di ricerca e sperimentazione.
È anche opportuno considerare che i livelli di cultura del digitale tra le persone sono in costante aumento, e questo favorirà ulteriormente l'approccio, la comprensione e l'utilizzo dei sistemi[1].

## 8.2 Apprendimento

La filosofia Open Source innesca spontaneamente i processi innovativi di tipo bottom-up, i quali favoriscono l'apprendimento di competenze e conoscenze. La possibilità di adattare liberamente gli strumenti alle proprie esigenze, consente alle persone di sperimentare e quindi apprendere, e conseguentemente prendere decisioni sulla base della conoscenza acquisita tramite l'esperienza. Questo porta alla continua implementazione degli strumenti e delle esperienze, che quindi evolvono con l'uso[2]. Il compito del progettista è quindi quello di facilitare l'apprendimento del funzionamento dei sistemi cyber-fisici, fornendo affordances alla persona, come ad esempio associare un'azione con un elemento tramite feedback e notifiche, o facilitare la visualizzazione dei parametri e del loro andamento tramite interfaccia. Tutto

1. *Alfabetizzazione digitale. Educazione al digitale. Cultura del digitale - Performance Management Review. https://www.performancemanagementreview.org/alfabetizzazi ne-digitale-educazione-al-digitale-cultura-del-digitale/*
2. *Valpreda F., Cataffo M. (2018). Beyond Participatory Design for Service Robotics.*

questo favorisce l'apprendimento della persona sul sistema naturale e la abilita a prendere decisioni consapevoli, anche ad esempio decidere di aggiungere un nuovo componente dopo essersi accorti (tramite l'uso) che esso può migliorare la gestione del sistema.
Dalla standardizzazione, facilitazione e comfort forniti dalle pratiche ti tipo top-down, si propone quindi un passaggio ad apprendimento, condivisione e innovazione, forniti dalle pratiche di tipo bottom-up.

## 8.3 Condivisione e creazione di valore

Uno dei punti chiave della filosofia Open Source e delle pratiche di tipo bottom-up, sono le comunità digitali, i luoghi virtuali in cui avviene lo scambio continuo di informazioni attraverso la rete.
Se lo strumento è diffuso su scala individuale, ogni utente che lo utilizza può condividere le proprie informazioni, i propri dati, e la propria esperienza d'uso con altre persone, le quali fanno lo stesso. Grazie alla condivisione di dati ed esperienze diversificate si genera valore: se il sistema è predisposto per essere utilizzato in diversi scenari e da diverse personas, si avrà una maggiore varietà di dati che arricchiscono il bagaglio di informazioni che circolano nella comunità; un utente che utilizza lo strumento nel suo determinato scenario, può usufruire di informazioni provenienti da altri scenari al fine di ottimizzare il proprio sistema di coltivazione.
Questo agevola il processo di apprendimento degli utenti, favorisce la loro crescita individuale (sia sotto l'aspetto tecnico che etico) e l'adozione dello strumento da parte di altre persone, le quali poi, possono anche aggiornare il sistema secondo le proprie esigenze ed arricchire ulteriormente la varietà di dati.
Tutto questo può portare ad un riavvicinamento dell'uomo alla natura attraverso la diffusione di pratiche agricole sostenibili, e alla co-evoluzione di sistemi e persone.
Risulta quindi importante facilitare i processi di condivisione dei dati e dell'esperienza con gli altri utenti, sfruttando il potenziale di creazione di opportunità e innovazione delle comunità (esistenti o favorendone la nascita di nuove), sia a livello locale che globale.



## 8.4 Linee guida

Dalle necessità progettuali evidenziate, emergono le caratteristiche che lo strumento deve avere per soddisfare tali necessità, identificabili come linee guida:
- di scala individuale;
- accessibile;
- auto-riproducibile;
- adattabile;
- scalabile;
- espandibile;
- integrabile;
- abilitante.

### 8.4.1 Scala individuale

Uno strumento per il monitoraggio e il controllo di un sistema di coltivazione, in micro-scala, riproduce le caratteristiche di un sistema complesso in modo dimensionato per una usabilità individuale, riducendo gli input necessari, il contenuto tecnologico e il consumo di energia.
Lo strumento deve essere quindi progettato con affordances adatte all'uso di una singola persona in modo da favorire una diffusione capillare, creando maggiore varietà di esperienze d'uso e contesti locali.
- **Hardware**: dal punto di vista hardware si traduce nell'adozione di componenti (sensori, attuatori, schede controllori, connettori, adattatori) facilmente accessibili e utilizzabili da chiunque, adatti alla gestione di impianti di piccole dimensioni (come ad esempio i componenti Open hardware).
- **Back-end**: dal punto di vista del back-end informatico[3], l'accessibilità individuale può essere raggiunta utilizzando linguaggi di programmazione comuni e/o semplificati abbinati a componenti facilmente programmabili e compatibili (come ad esempio i componenti Open hardware).
- **Front-end**: dal punto di vista del front-end informatico[4], l'accessibilità individuale può essere raggiunta utilizzando interfacce e software accessibili e facilmente utilizzabili (come ad esempio applicazioni per smartphone o desktop software Open).

3. *In informatica si definisce back-end (BE) la parte software di un programma, la quale permette il suo effettivo funzionamento.*
4. *In informatica si definisce front-end (FE) la parte software di un programma che è visibile all'utente e con la quale egli può interagire e inviare comandi al back-end (tipicamente l'interfaccia utente).*

### 8.4.2 Auto-riproducibilità

Uno strumento riproducibile e auto-riproducibile è uno strumento che può essere realizzato da chiunque, in modo autonomo, con materiali e componenti reperibili localmente, usando mezzi accessibili localmente. Questo richiede accessibilità alle informazioni utili ad acquisire le competenze necessarie all'utilizzo di tali mezzi e componenti. La possibilità per ogni utente di auto-produrre lo strumento nel suo ambito locale è determinante per la diffusione dello stesso a più contesti possibile.
- **Hardware**: dal punto di vista hardware si prevede perciò l'utilizzo di componenti facilmente accessibili da chiunque o producibili localmente (come ad esempio i componenti Open hardware e l'elettronica accessibile).
- **Back-end**: dal punto di vista del back-end informatico si punta a sfruttare linguaggi di programmazione comuni, programmi già esistenti (attraverso risorse Open Source, tutorial, informazioni dalla comunità), e componenti programmabili in modo flessibile e libero.
- **Front-end**: dal punto di vista del front-end informatico si punta a sfruttare piattaforme accessibili e compatibili, per inviare comandi, visualizzare dati, ricevere feedback (come ad esempio software di domotica, applicazioni per smartphone).

### 8.4.3 Adattabilità e scalabilità

È necessario progettare uno strumento che sia adattabile a scenari di utilizzo diversi (ambienti, circostanze, inputs, outputs, scopi), a utenti con caratteristiche diverse (in termini di tempo, competenze, esigenze), e a cambiamenti in corso delle caratteristiche dello scenario o dell'utente.
Inoltre deve prevedere la possibilità di essere realizzato in diverse scale di grandezza, mantenendo cioè le sue caratteristiche e le sue funzioni a ogni scala, ma adattandosi a diversi volumi necessari di lavoro.
Il tutto è possibile utilizzando materiali e componenti in grado di garantire la funzione in scenari diversi, includendo possibilità di sostituire i componenti (o parte di essi) in base all'esigenza di lavoro e di dimensioni, e la possibilità di modificare quantità e tipo di componenti per adattarsi all'esigenza.
- **Hardware**: dal punto di vista hardware si prevede l'utilizzo di componenti di elettronica utilizzabili in scenari diversi, e da persone diverse, con la possibilità di accogliere nuovi componenti (dello stesso tipo o di tipo diverso) che abbiano caratteristiche di intercambiabilità, compatibilità dei connettori e praticità di collegamento.
- **Back-end**: dal punto di vista del back-end informatico, è necessaria una compatibilità del linguaggio di programmazione dei componenti, la possibilità di comunicazione con altri software esterni, e la possibilità di aggiornare quantità e tipo di funzioni.
- **Front-end**: dal punto di vista del front-end informatico è necessario sfruttare piattaforme flessibili che diano la possibilità di aggiornare quantità e tipo di comandi, modalità di visualizzazione dei dati, e modalità di ricezione dei feedback.



### 8.4.4 Espandibilità e integrabilità

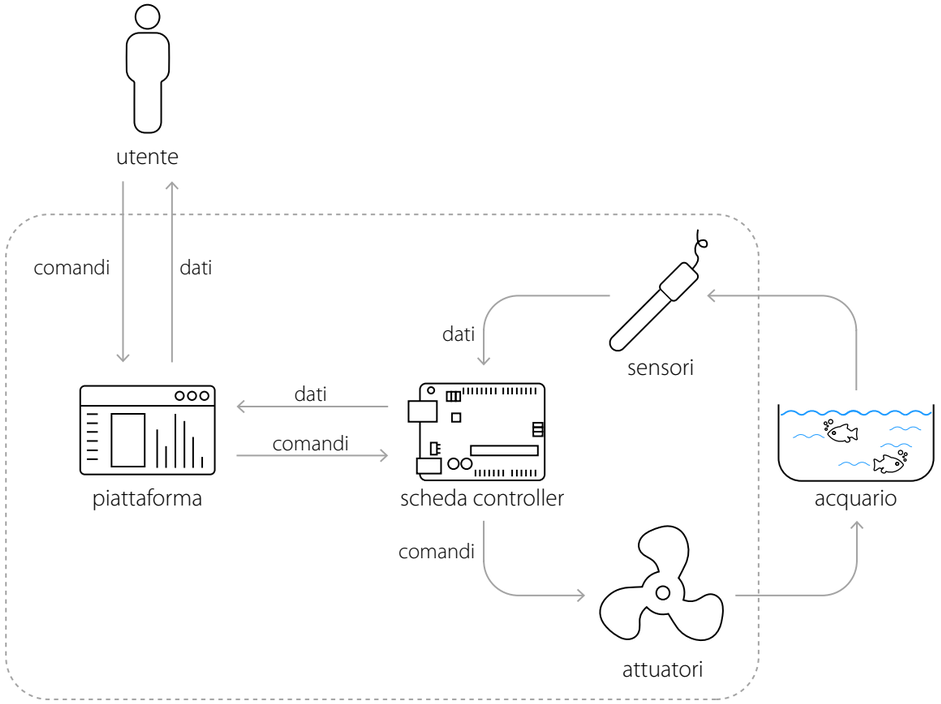
Per rendere lo strumento espandibile è necessario prevedere la possibilità di aumentare le sue dimensioni e le sue funzioni grazie alla possibilità di aggiungere nuovi componenti. La sua integrabilità inoltre deriva dalla possibilità di integrare le funzioni e i componenti dello strumento con quelle di altri strumenti, software o dispositivi, attraverso connessioni fisiche e non.
È fondamentale perciò la modularità dello strumento, la compatibilità hardware e software tra i componenti, e la predisposizione alla connessione di altre parti e/o con altri sistemi.
- **Hardware**: dal punto di vista hardware è necessaria la possibilità di aggiungere sensori e attuatori (dello stesso tipo o di tipo diverso) attraverso la compatibilità di connessione, e la possibilità di aumentare il numero di schede controllori e/o integrare altri tipi di schede (ad esempio schede per la comunicazione con altre parti o per la gestione di sensori/attuatori particolari); le schede controllori devono inoltre essere predisposte ad "accogliere" nuovi componenti attraverso la compatibilità di connettori e connessioni.
- **Back-end**: dal punto di vista del back-end informatico, lo strumento deve prevedere la possibilità di aggiornare quantità e tipo di funzioni e comunicare con altri software esterni, attraverso la compatibilità del linguaggio di programmazione.
- **Front-end**: dal punto di vista del front-end informatico, è necessario l'utilizzo di piattaforme flessibili che permettano di aggiornare quantità e tipo di comandi, modalità di visualizzazione dei dati, e modalità di ricezione dei feedback. È inoltre importante poter integrare le funzionalità dello strumento con interfacce di piattaforme e software simili (ad esempio l'interfaccia di un altro sistema di controllo della coltivazione), o esterni (ad esempio i software di domotica).

### 8.4.5 Abilitazione

Uno strumento abilitante è uno strumento che permette all'utilizzatore di svolgere in modo più agevole delle funzioni complesse per le quali non avrebbe abbastanza tempo, mezzi e competenze. L'abilitazione della persona è realizzabile prevedendo l'accessibilità alle informazioni necessarie, e affornaces come l'automatizzazione del sistema, la gestione da remoto, la ricezione di feedback, l'usabilità dei componenti hardware e software.
- **Hardware**: dal punto di vista hardware è necessario in questo senso l'utilizzo di sensori, attuatori, schede e connettori facilmente reperibili e utilizzabili in scenari diversi, e da persone diverse.
- **Back-end**: dal punto di vista del back-end informatico si prevede l'utilizzo di linguaggi di programmazione comuni e semplificati, e l'accesso a programmi già esistenti (attraverso risorse Open Source, tutorial, informazioni dalla comunità).
- **Front-end**: dal punto di vista del front-end informatico, è necessario l'utilizzo di piattaforme con interfacce accessibili, intuitive e facilmente usabili.

## 8.5 Concept

Dall'analisi svolta emerge la necessità di uno strumento che permetta alla persona di "evolvere" sia dal punto di vista tecnico che etico, e allo stesso tempo in grado di evolversi con lui: in altre parole, attraverso l'esperienza d'uso, la persona acquisisce allo stesso tempo consapevolezza sull'equilibrio di un ecosistema naturale e le abilità necessarie per gestirlo; in questo modo si aprono per la persona diverse possibilità di ampliamento o integrazione del suo sistema con altri sistemi, grazie anche alla varietà di ambiti che le pratiche agricole sostenibili contengono (botanica, itticoltura, elettronica, informatica, ecc.); lo strumento quindi non deve precludere all'utente questa possibilità, anzi deve favorirla, predisponendosi a una continua evoluzione, al passo con quella dell'utente (co-evoluzione). Per raggiungere questo obiettivo, e considerando tutte le linee guida delineate, si è progettato un sistema cyber-fisico Open Source in grado di consentire a chiunque il monitoraggio e il controllo dell' ambiente acquatico di un sistema acquaponico di micro-scala, ed in grado di restituire conoscenza e di evolvere per adattarsi alle esigenze di contesto.
Sono stati perciò utilizzati componenti di elettronica accessibili, compatibili e Open Source, linguaggi di programmazione comuni e semplificati, piattaforme e interfacce accessibili, compatibili e flessibili. In particolare sono stati utilizzati componenti Arduino-compatibili per creare uno smart-system connesso alla rete, gestibile e programmabile da remoto.

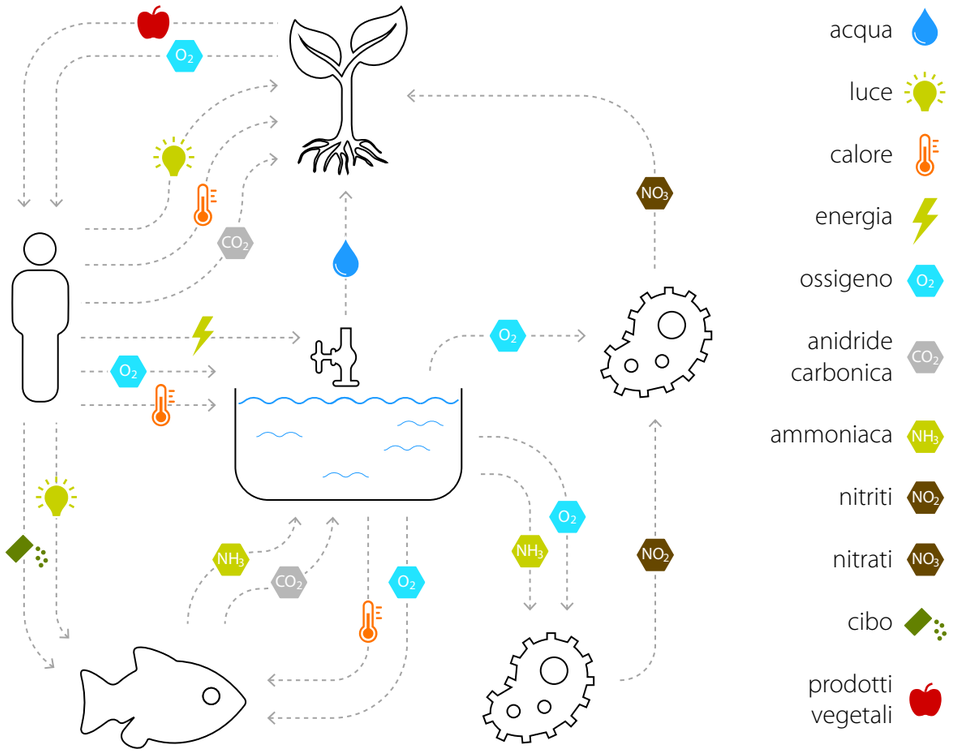


# 9 Progettazione



## 9.1 Monitoraggio e controllo di un sistema acquaponico

Allo scopo di individuare i sensori e gli attuatori necessari al monitoraggio e al controllo dell'ambiente acquatico, si richiama di seguito lo schema dei flussi di materia ed energia di un sistema acquaponico.




**parametri da monitorare**

- temperatura dell'acqua
- PH
- livello dell'acqua
- ossigeno disciolto
- ammoniaca
- nitriti
- nitrati
- durezza dell'acqua

**parametri da controllare**

- illuminazione
- aerazione
- riscaldamento dell'acqua
- irrigazione
- aggiunta di acqua
- nutrimento dei pesci

## 9.2 Stato dell'arte dei sensori Open Source

Avendo posto come uno degli obiettivi progettuali l'uso di componenti di elettronica accessibili, sono stati presi in considerazione i sensori appartenenti a questa categoria, allo scopo di ottenere integrabilità sia dal punto di vista hardware che software. Nello specifico la scelta è ricaduta sui dispositivi compatibili con le piattaforme Arduino, le quali condividono il linguaggio di programmazione, la tipologia di connettori, e la facile reperibilità, oltre alla possibilità di integrabilità con sistemi e piattaforme esterni.

**sensori compatibili**

temperatura dell'acqua:

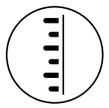
- Sonde PT100
- Sonde PT1000
- Sonda DS18B20

PH:

- Sonda E201-BNC

ossigeno disciolto:

- Elettrodo Galvanico DO



livello dell'acqua

- Sensore a ultrasuoni HC SR-04
- Sensore di livello K-0135

---

ammoniaca

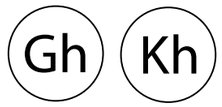
*sensore compatibile non disponibile*

nitriti

*sensore compatibile non disponibile*

nitrati

*sensore compatibile non disponibile*




durezza dell'acqua

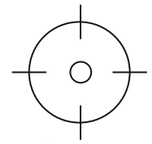
*sensore compatibile non disponibile*



## 9.3 Prototipazione

Attraverso l'osservazione e la gestione di un impianto acquaponico domestico in micro-scala, si è definito meglio il rapporto di azioni tra l'utente e il sistema, allo scopo di identificare i componenti utili a facilitare i compiti dell'utente.
In particolare si sono delineate le azioni necessarie, e i metodi e i tempi in cui svolgerle (nel contesto in cui è avvenuta la prototipazione). Come risultato è stato creato un modulo IoT funzionante che risponde contemporaneamente alle necessità emerse e alle linee guida, che si adatta cioè alle caratteristiche dello scenario scelto, ma prevede la possibilità di essere implementato per adattarsi a scenari diversi e/o per integrarsi con altri sistemi, software e dispositivi.

**scenario**



finalità:

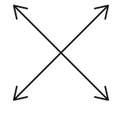
monitoraggio
e controllo dei
parametri dell'acqua

location:

zona urbana

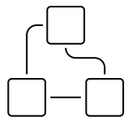
ambiente:

veranda coperta
outdoor



dimensioni:

acquario: 50 L
letto di crescita: 0,07 $m^2$
biofiltro: 15 L



configurazione:

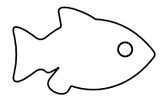
letto di crescita
(media bed)

fonte di acqua:

acqua di rete

piante:

2 piante da foglia



pesci:

0,7 kg di pesci
da acquario

### parametri monitorati

**elettronicamente**

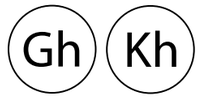
temperatura dell'acqua

PH

livello dell'acqua

**manualmente**

ossigeno disciolto




durezza dell'acqua

ammoniaca

nitriti

nitrati

### interventi

**automatici**

irrigazione

aerazione

riscaldamento dell'acqua

**manuali**

aggiunta di acqua

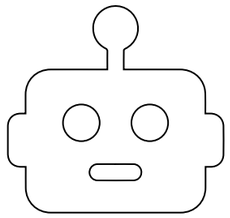
nutrimento

### vincoli emersi

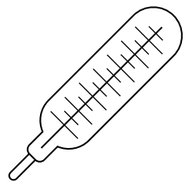
Attraverso l'esperienza d'uso del sistema prototipato, sono emersi alcuni aspetti vincolanti, traducibili in necessità specifiche dello scenario scelto:
- la temperatura dell'acqua è fondamentale per la salute dell'acquario e, in ambienti esterni, essa è soggetta a costante variazione; deve essere perciò monitorata quotidianamente per osservarne il cambiamento giornaliero e stagionale;
- Il PH dell'acqua è influenzato da diversi processi interni ed esterni all'acquario, essendo perciò in costante cambiamento; essendo un parametro chiave per la salute degli organismi, esso deve essere perciò monitorato quotidianamente per osservarne l'andamento.



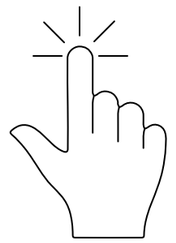
- l'ossigeno disciolto in acqua viene utilizzato da tutti gli organismi del sistema e deve perciò essere presente in quantità sufficiente per soddisfare le esigenze di tutti; esso deve quindi essere monitorato quotidianamente per osservarne l'andamento;
- i pesci devono essere nutriti quotidianamente per garantire la giusta produzione di ammoniaca e conseguentemente di nitrati, necessari al nutrimento delle piante;
- ammoniaca e nitriti possono essere nocivi per i pesci, mentre i nitrati sono necessari per le piante; questi parametri cambiano più lentamente rispetto agli altri, ma devono comunque essere misurati almeno una volta ogni 2 giorni, per monitorare il funzionamento del biofiltro;
- è stato osservato che un sistema acquaponico all'aperto "perde" acqua a causa dell' evaporazione e dell'assorbimento delle piante, e che l'acqua aggiunta influenza la durezza dell'acqua nell'acquario. Pertanto è maglio aggiungerla più spesso in piccole quantità, piuttosto che meno spesso in grosse quantità. Prima di ogni aggiunta devono essere misurati PH e durezza della "nuova" acqua;
- è stato osservato che l'ossigeno disciolto in acqua non raggiunge il valore minimo necessario senza un input esterno; l'ossigeno deve essere perciò fornito dall'esterno in modo continuo;
- è stato osservato che la temperatura dell'acqua in ambiente esterno scende spesso sotto il range ottimale, soprattutto in inverno; è necessario perciò fornire calore dall' esterno quando la temperatura dell'acqua si abbassa troppo;
- le radici delle piante hanno bisogno di acqua per attingere ai nutrienti, ma anche di ossigeno a intervalli regolari. Il letto di crescita deve perciò essere riempito e svuotato a intervalli regolari con un sistema di irrigazione automatico (pompa + sifone a campana).



automatizzazione necessaria

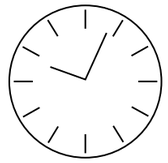


misurazioni quotidiane necessarie



interventi quotidiani necessari

user journey



attività svolte quotidianamente

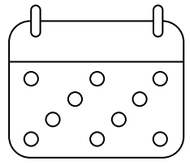
misurazione temperatura dell'acqua

PH misurazione del PH

DO misurazione dell'ossigeno disciolto in acqua

nutrimento dei pesci

monitoraggio del livello dell'acqua



attività svolte settimanalmente

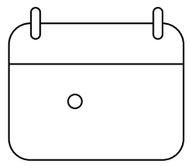
Gh Kh misurazione della durezza dell' acqua

$NH_3$ misurazione del livello di ammoniaca in acqua

$NO_2$ misurazione del livello di nitriti in acqua

$NO_3$ misurazione del livello di nitrati in acqua

aggiunta di acqua con misurazione del PH e della durezza



attività svolte mensilmente

manutenzione e pulizia

attività automatiche continue

irrigazione

aerazione

riscaldamento dell'acqua



## 9.3.1 Modulo acquario

Il sistema cyber-fisico prototipato è costituito quindi da un modulo composto da diversi componenti hardware e software, con il quale vengono monitorati alcuni parametri dell'acqua presente nell'acquario dell'impianto acquaponico descritto.
In particolare si occupa del monitoraggio costante della temperatura dell'acqua, del livello dell'acqua nella vasca, e del PH, e restituisce i dati tramite un display LCD e una connessione Wi-Fi per l'invio anche a dispositivi remoti. Gestisce inoltre il ciclo di irrigazione del letto di crescita delle piante azionando una pompa da 12V a intervalli programmati.
Di seguito sono elencati nel dettaglio i componenti hardware che costituiscono il modulo, i quali sono tutti programmati con codice scritto in linguaggio C++.

## 9.3.2 Componenti utilizzati

Componenti elettronici:
- Arduino MKR Wi-Fi 1010
- sensore DS18B20
- sensore E201 con sonda BNC
- sensore HC SR-04
- display LCD 1602 I2C
- pompa da 12V (240 l/h)
- resistenza da 4,7 kΩ
- relay 5V KY-019

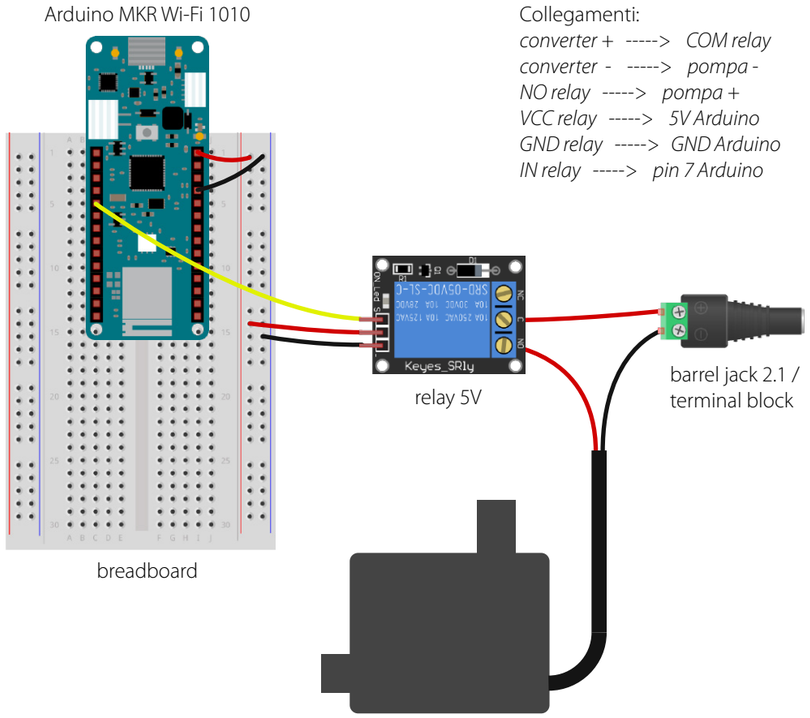
Connettori e adattatori:
- breadboard
- connettori Dupont male-female (x11)
- connettori Dupont male-male (x6)
- barrel jack 2.1 / terminal block
- cavo USB type-B

| COMPONENTE | TIPOLOGIA | CONSUMI | INTERFACCIA |
|---|---|---|---|
| Arduino MKR Wi-Fi 1010 | microcontrollore | 50 mA | Arduino IDE |
| sensore DS18B20 | sensore di temperatura dei liquidi | 1 mA | digitale |
| sensore E201 con sonda BNC | sensore di PH dei liquidi | 10 mA | analogico |
| sensore HC SR-04 | sensore di distanza a ultrasuoni | 15 mA | <NewPing.h> |
| display LCD 1602 | display | 25 mA | I2C |
| pompa da 12V | pompa per liquidi | 400 mA | / |
| totale | | 501 mA | |

**Connettore barrel jack 2.1 / terminal block:**
questo tipo di connettori[1] vengono utilizzati per permettere il collegamento tra i moduli relay e i dispositivi la cui tensione di alimentazione supera quella massima erogata da ogni pin di Arduino. Nel sistema prototipato è stato utilizzato per alimentare la pompa (12V) tramite un alimentatore esterno con jack da 2.1mm.

**Relay 5V:**
il relay[2] permette di controllare, tramite Arduino, dispositivi la cui tensione di alimentazione supera quella massima erogata da ogni pin di Arduino. Nel sistema prototipato è stato utilizzato per controllare la pompa da 12V, alimentata con alimentatore esterno. Il relay necessita di un alimentazione da 5V e non necessita librerie esterne.

**Pompa 12V:**
la pompa[3] utilizzata per l'irrigazione del letto di crescita è una pompa per liquidi con portata massima di 240 litri all'ora; necessita di un'alimentazione da 12V proveniente da un alimentatore esterno ed è controllata, tramite il relay, dalla scheda Arduino.

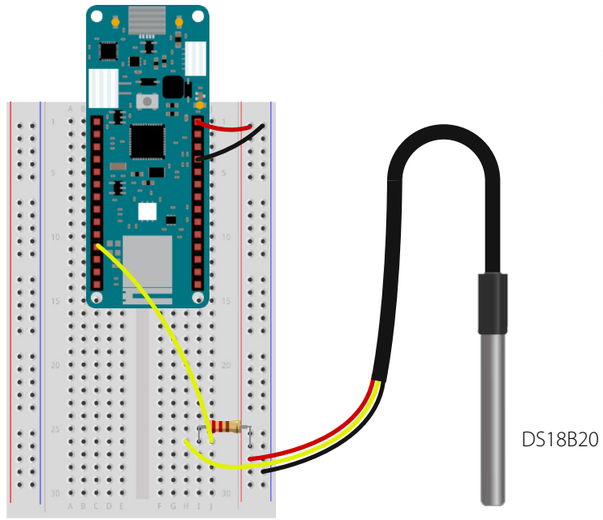



Collegamenti:
*converter +* -----> *COM relay*
*converter -* -----> *pompa -*
*NO relay* -----> *pompa +*
*VCC relay* -----> *5V Arduino*
*GND relay* -----> *GND Arduino*
*IN relay* -----> *pin 7 Arduino*

*1. http://sun-light.com.sg/image/cache/data/CONNECTOR/dc/bARREL%20jACK%20FEMAIL-448x249.jpg*
*2. https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/A300/KY-019.png*
*3. https://images-eu.ssl-images-amazon.com/images/I/4113keuEl0L.jpg*



**Sensore DS18B20:**
il sensore di temperatura DS18B20[4] è costituito da una sonda waterproof e viene usato per misurare la temperatura dei liquidi. Ha la capacità di rilevare temperature con precisione da 9 bit a 12 bit in un range di temperature fra un minimo di -55°C ed un massimo di +125°C, con un'approssimazione di +/-0.5°C.
Per il funzionamento sono necessarie le librerie DS18B20.h e OneWire.h che permette l'utilizzo di un unico pin per la comunicazione.
Il range di alimentazione supportato va da 3V a 5.5V e ha un consumo di 1mA.
Per il collegamento alla scheda Arduino è stata utilizzata una resistenza da 4,7 kΩ.

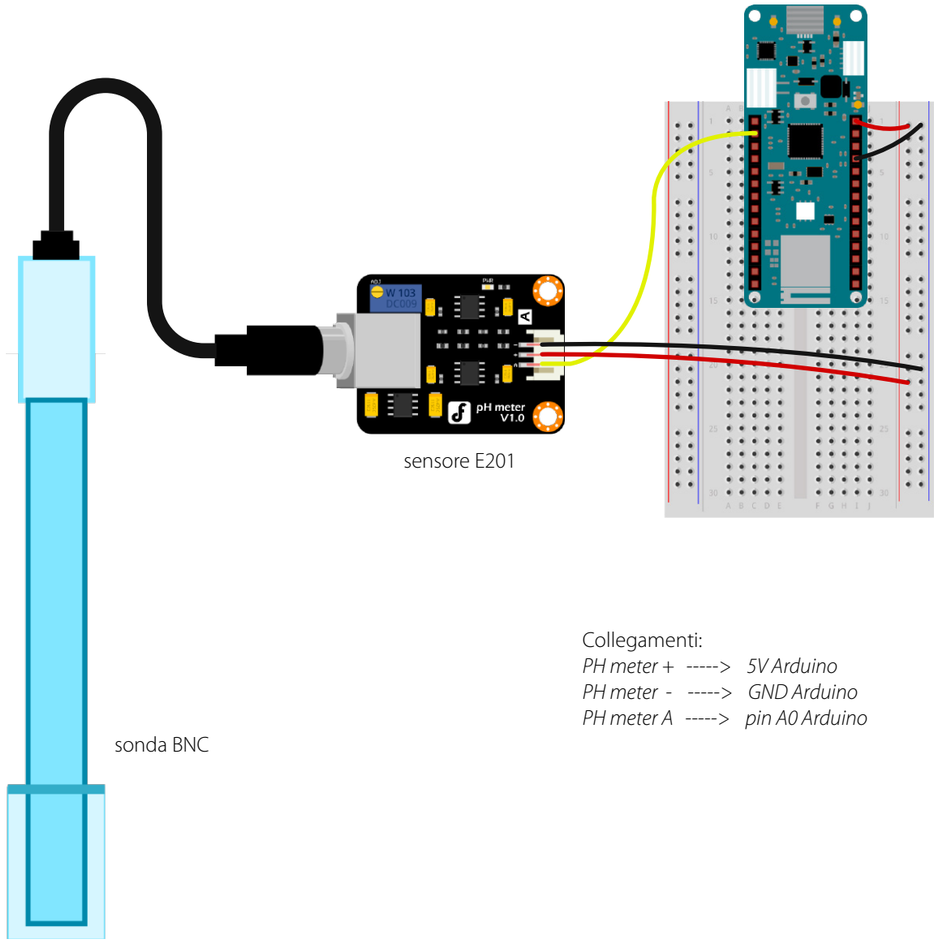



Collegamenti:
*DS18B20 +* -----> *5V Arduino*
*DS18B20 -* -----> *GND Arduino*
*DS18B20 S* -----> *pin 2 Arduino*

*4. http://denkovi.com/userfiles/productlargeimages/product_715.jpg*

## Sensore E201-BNC:

il modulo E201-BNC[5] è costituito dal sensore analogico e dalla sonda con elettrodo waterproof con interfaccia BNC. È utilizzato per misurare il PH delle soluzioni liquide e funziona in un range di temperatura del liquido da -10°C a +50°C. Ha un tempo di risposta di ≤5 secondi e un tempo di assestamento di ≤60 secondi.
Per il funzionamento non sono necessarie librerie esterne e la tensione di alimentazione necessaria è di 5V.
Solitamente la sonda viene fornita insieme ad una piccola soluzione a PH neutro per consentire la taratura iniziale del sensore.




sensore E201

sonda BNC

Collegamenti:
*PH meter +  ----->  5V Arduino*
*PH meter -  ----->  GND Arduino*
*PH meter A  ----->  pin A0 Arduino*

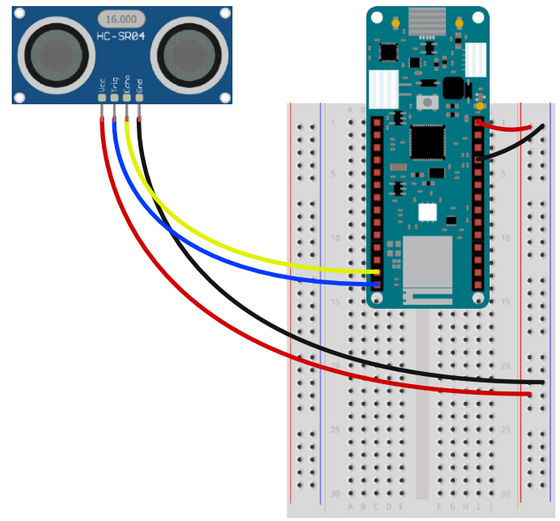
5. *https://prod-giuntialpunto-static.giunti.stormreply.com/images/l/41FEhndNZxL._SL500_.jpg*



## Sensore HC SR-04:

Il sensore HC SR-04[6] è un sensore a ultrasuoni costituito da un emettitore di ultrasuoni e un ricevitore e viene usato per misurare la distanza da un oggetto o da una superficie; esso però non misura direttamente la distanza, ma calcola il tempo impiegato dalle onde sonore emesse a raggiungere l'oggetto (sul quale rimbalzano) e a tornare al ricevitore. Viene perciò misurato il tempo che passa tra l'attivazione del pin trasmettitore (trigger) e quella del pin ricevitore (echo), e successivamente viene convertito il tempo in lunghezza conoscendo la velocità del suono. Ha un campo di misura che si estende da 2 cm a 4 m, con un'approssimazione di 1 cm.
Per migliorarne il funzionamento è possibile usare la libreria NewPing.h e la sua tensione di alimentazione è di 5V.

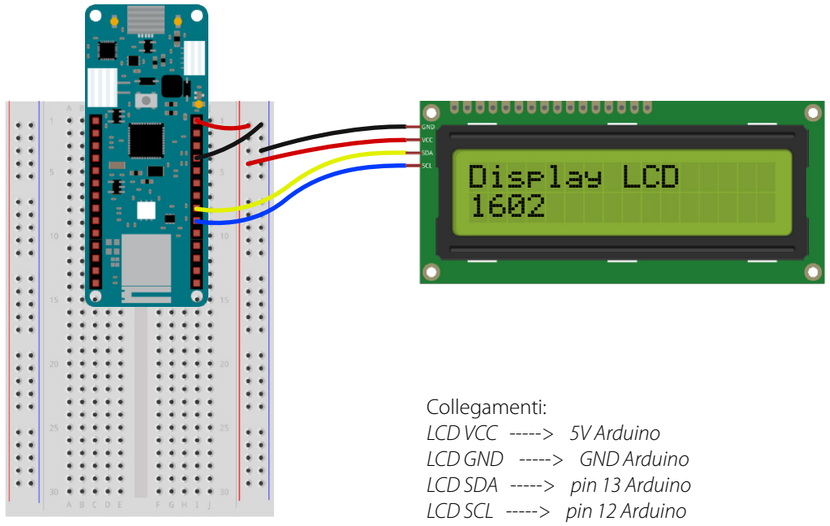
HC-SR04




Collegamenti:
*HC-SR04 VCC  ----->  5V Arduino*
*HC-SR04 GND  ----->  GND Arduino*
*HC-SR04 Echo  ----->  pin 4 Arduino*
*HC-SR04 Trig  ----->  pin 5 Arduino*

6. *https://www.weturtle.org/dettaglio-tutorial/11/tutorial-sensore-ad-ultrasuoni-hcsr04.html*

**Display LCD 1602 I2C:**
il display LCD[7] viene utilizzato per visualizzare "in loco" i parametri rilevati dai sensori. Ha un'interfaccia I2C che consente di avere solo due linee di segnale bidirezionali, Serial Data Line (SDA) e Serial Clock Line (SCL). È anche presente un potenziometro per regolare la retroilluminazione del display. Sul display è possibile stampare fino a due righe di testo da 16 caratteri ciascuna.
La tensione di alimentazione è di 5V ed è necessaria la libreria LiquidCrystal_I2C.h per il funzionamento.

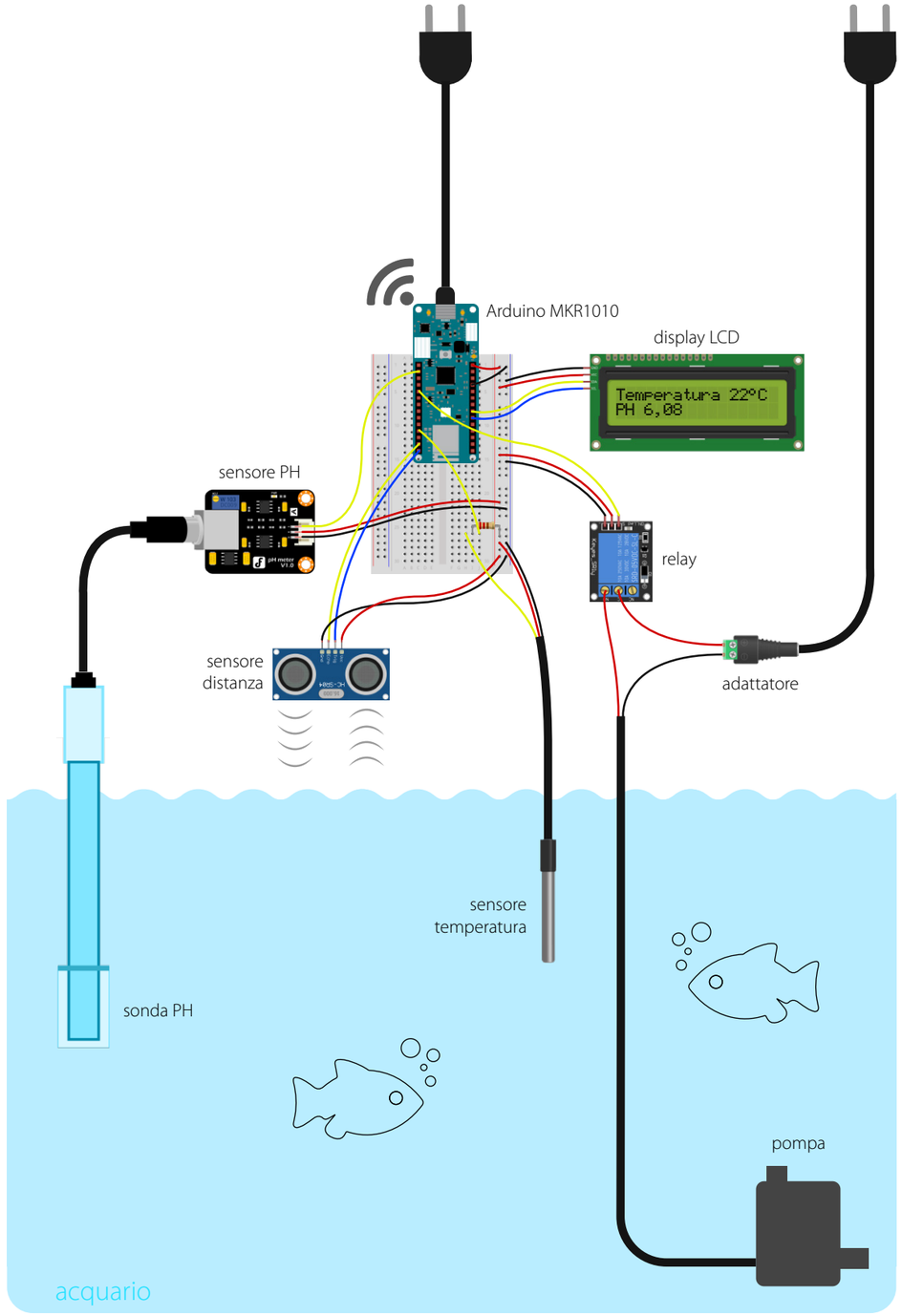



Collegamenti:
*LCD VCC -----> 5V Arduino*
*LCD GND -----> GND Arduino*
*LCD SDA -----> pin 13 Arduino*
*LCD SCL -----> pin 12 Arduino*

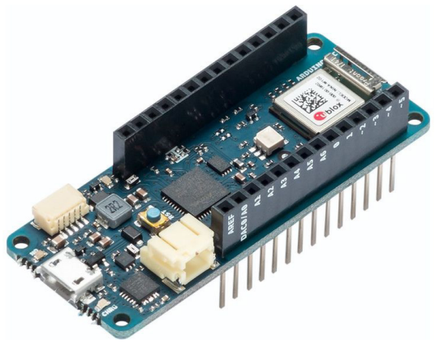
7. *http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=I%C2%B2C_LCD1602*



*Sistema assemblato*



### 9.3.3 Tecnologie utilizzate



#### Arduino MKR Wi-Fi 1010

La scheda che controlla il sistema è un Arduino MKR 1010[8] dotato di modulo Wi-Fi ESP32. Come tutte le piattaforme Arduino, è una scheda Open Source ideale per progetti IoT. Sfruttando la connettività Wi-Fi è infatti possibile infatti ricevere dati e inviare comandi a distanza, attraverso Internet. Essendo una board della famiglia Arduino, essa è inoltre compatibile con la gran parte dei dispositivi elettronici Open Source, sia dal punto di vista hardware che software.

#### Blynk

Blynk[9] è una piattaforma di sviluppo IoT che, tramite applicazione per iOS e Android, permette di controllare board collegate ad internet, come la Arduino MKR Wi-Fi 1010. Blynk permette di visualizzare su qualsiasi dispositivo (smartphone, tablet, PC, ecc.) i dati provenienti dalla scheda, o di inviare comandi attraverso i widgets. Fornisce inoltre la possibilità di condividere molto facilmente i dati (o anche interi progetti), e di ricevere notifiche dal sistema.

8. *https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wifi-1010*
9. *https://blynk.io/*



#### Arduino IoT Cloud

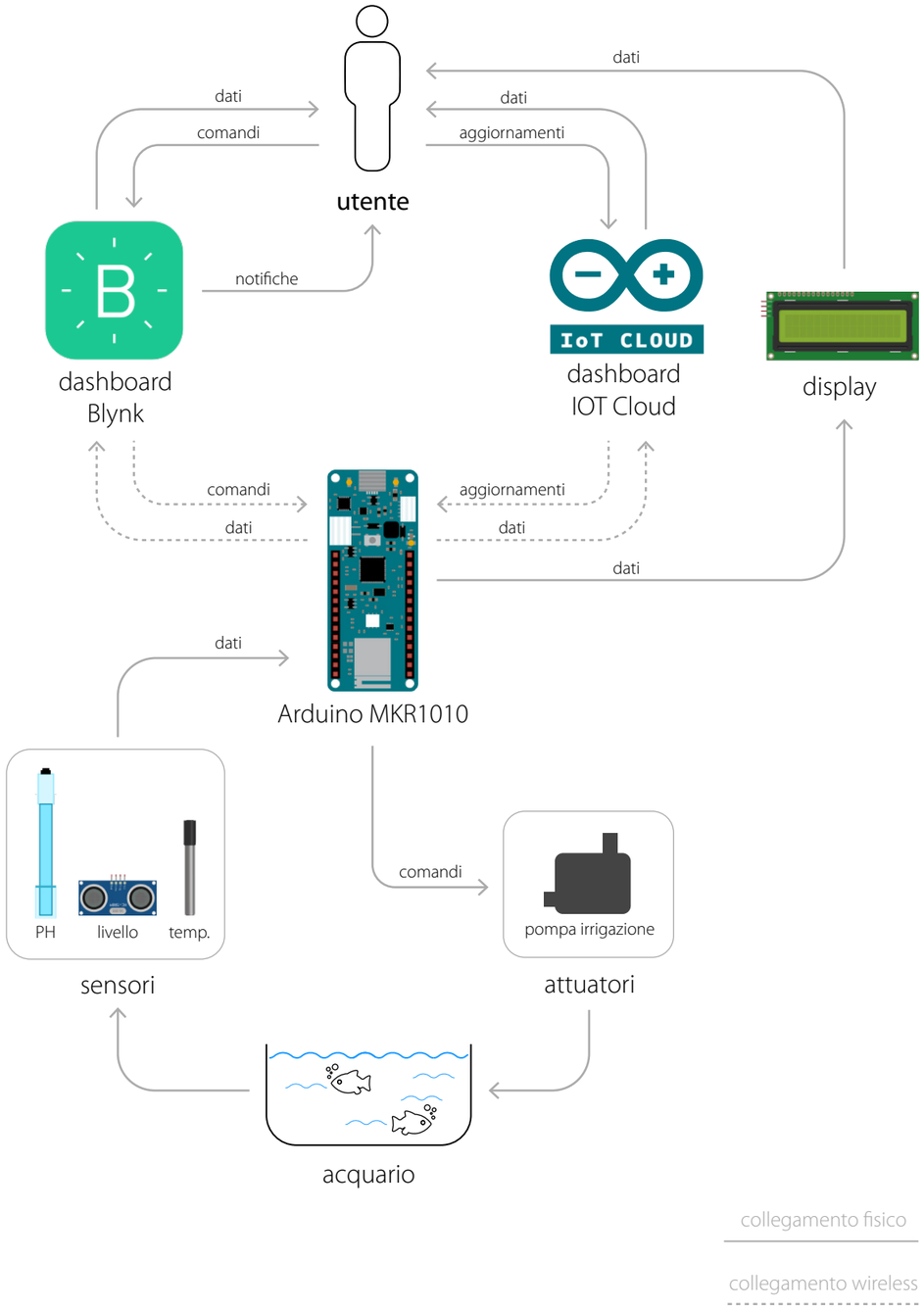
Arduino IoT Cloud[10] è una piattaforma sviluppata dai creatori di Arduino per integrare la gestione dei controllori tramite cloud. Attraverso questa piattaforma è infatti possibile gestire le schede e creare degli schizzi del proprio progetto riproducendolo come gemello digitale; il sistema genera quindi automaticamente gli sketch in base ai nodi impostati permettendo inoltre di caricarli sulla scheda tramite OTA direttamente dall'interfaccia della piattaforma. Permette anche l'utilizzo di altre vie di interazione come HTTP e MQTT. Grazie a questa piattaforma è inoltre possibile far comunicare la board connessa con applicazioni o dispositivi esterni (come ad esempio assistenti digitali e domotici).

#### Aggiornamenti OTA

Grazie alla programmazione Over the Air[11] (OTA), è possibile aggiornare lo sketch caricato sulla scheda attraverso una connessione Wi-Fi, senza dover perciò collegare fisicamente la scheda al PC per ogni aggiornamento. Questo procedimento, nel caso della gestione di impianti acquaponici, rappresenta un vantaggio, dato che la scheda potrebbe trovarsi, in base allo scenario, in posizioni scomode per essere smontata o collegata ad un PC tramite cavo.

10. *https://create.arduino.cc/iot/devices*
11. *Over-the-air - Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Over-the-air*

## 9.3.4 Funzionamento del sistema






## 9.3.5 Back-end

Tutti gli sketch sono scritti in linguaggio di programmazione C++. La scheda Arduino è stata programmata la prima volta tramite cavo attraverso l'IDE, mentre per i successivi aggiornamenti dello sketch è stata utilizzata la programmazione OTA attraverso la piattaforma Arduino IoT Cloud.

### Connessione a Internet

Il primo passaggio è la connessione della scheda Arduino al Wi-Fi attraverso l'inserimento del nome e della password di rete; nel campo "`auth[]`" va invece inserito il token per la connessione a Blynk. Per la connessione al Wi-Fi sono necessarie le librerie SPI.h e WiFiNINA.h.

```
#include <SPI.h>
#include <WiFiNINA.h>

char auth[] = "token";
char ssid[] = "nome rete";
char pass[] = "password";
```

### Connessione ad Arduino IOT Cloud

Il secondo passaggio è la connessione con il Cloud di Arduino e l'inclusione delle librerie necessarie per effettuare i caricamenti degli sketch attraverso la rete Wi-Fi (OTA), in modo da poter compilare e caricare gli sketch direttamente da Arduino IOT Cloud. Le librerie necessarie per la comunicazione Over-the-air sono WiFiUdp.h e ArduinoOTA.h.

```
#include <WiFiUdp.h>
#include <ArduinoOTA.h>

void setup() {
  ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
}
void loop() {
  ArduinoCloud.update();
}
```

### Connessione a Blynk

Dopo aver inizializzato la connessione a Blynk tramite il token creato dall'applicazione e la connessione al Wi-Fi, il sistema invia le letture dei sensori tramite dei pin virtuali collegati a dei widget nell'applicazione Blynk, che permettono di visualizzare i dati sullo smartphone. Lo sketch prevede inoltre l'invio di una notifica quando il livello dell'acqua nella vasca, rilevato dal sensore HC-SR04, scende sotto i 30 litri, fungendo quindi da allarme per eventuali perdite (o da promemoria per il compito di riempimento); in questo caso, sempre tramite Blynk, è possibile disattivare la pompa tramite un interruttore. Per la comunicazione con Blynk è necessaria la libreria BlynkSimpleWiFiNINA.h.

```
#include <BlynkSimpleWiFiNINA.h>
#define BLYNK_PRINT Serial

void setup() {
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}
void loop() {
  Blynk.run();
  Blynk.virtualWrite(V1,sensor.getTempC());
  Blynk.virtualWrite(V2,phValue);
  Blynk.virtualWrite(V3,litri);
  if (litri < 30) {
    Blynk.notify("Livello acqua basso! (30 L)");
  }
}
```

### Funzionamento sensore DS18B20

Il sensore di temperatura DS18B20 può essere immerso completamente e rileva la temperatura dell'acqua in gradi Celsius (°C) e/o Fahrenheit (°F).
Il sistema stampa le letture sul display LCD e contemporaneamente le invia a Blynk tramite Wi-Fi. Le librerie necessarie sono OneWire.h e DS18B20.h.

```
#include <OneWire.h>
#include <DS18B20.h>

OneWire oneWire(2);
DS18B20 sensor(&oneWire);
float tc;

void setup() {
  sensor.begin();
}
void loop() {
  sensor.requestTemperatures();
  lcd.print(sensor.getTempC());
}
```



### Funzionamento del sensore E201-BNC

Il sensore per il rilevamento del PH converte le letture analogiche della sonda in digitali, stampandole sul display LCD e inviandole contemporaneamente a Blynk tramite Wi-Fi. Lo sketch è impostato per effettuare 10 letture in 10 millisecondi, ordinarle in ordine crescente, ed estrapolare il valore centrale (facendo quindi una sorta di media); la variabile "`Offset`" viene utilizzata per la taratura iniziale del sensore, aggiungendo o sottraendo un numero al valore medio per correggere la misurazione in un liquido a PH noto.

```
#define SensorPin 0
#define Offset +0.1

unsigned long int valoreMedio;

void loop() {
  int buf[10];
  for(int i=0;i<10;i++
  {
    buf[i]=analogRead(SensorPin);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<10;i++)
    for(int j=i+1;j<10;j++)
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        int temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
  valoreMedio=0;
  for(int i=2;i<8;i++)
    valoreMedio+=buf[i];
  float phValue=(float)valoreMedio*5.0/1024/6;
  phValue=14-(3.5*phValue+Offset);

  lcd.print(phValue);
}
```

### Funzionamento del sensore HC-SR04

Il sensore a ultrasuoni HC SR-04 è utilizzato per misurare la distanza dalla superficie dell'acqua per monitorare il livello dell'acqua nella vasca. Il pin "**TRIG**" emette un impulso a ultrasuoni che rimbalza sull'acqua e torna al sensore dove viene ricevuto dal pin "**ECHO**"; il sensore quindi calcola il tempo necessario all impulso per andare e tornare, convertendolo in distanza (cm); essendo posizionato ad una distanza nota (5 cm) dalla superficie con quantità di acqua nota (40 L), il sensore effettua un'ulteriore conversione della distanza calcolata in quantità di acqua nella vasca (L), inviando le letture a Blynk tramite Wi-Fi.

```
#define TRIG_PIN 5
#define ECHO_PIN 4

unsigned long int valoreMedio;

void setup() {
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
}
void loop() {
  digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

  unsigned long tempo = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
  float distanza = 0.03438 * tempo / 2;
  float litri = 50 - 2 * distanza;
}
```



### Funzionamento della pompa

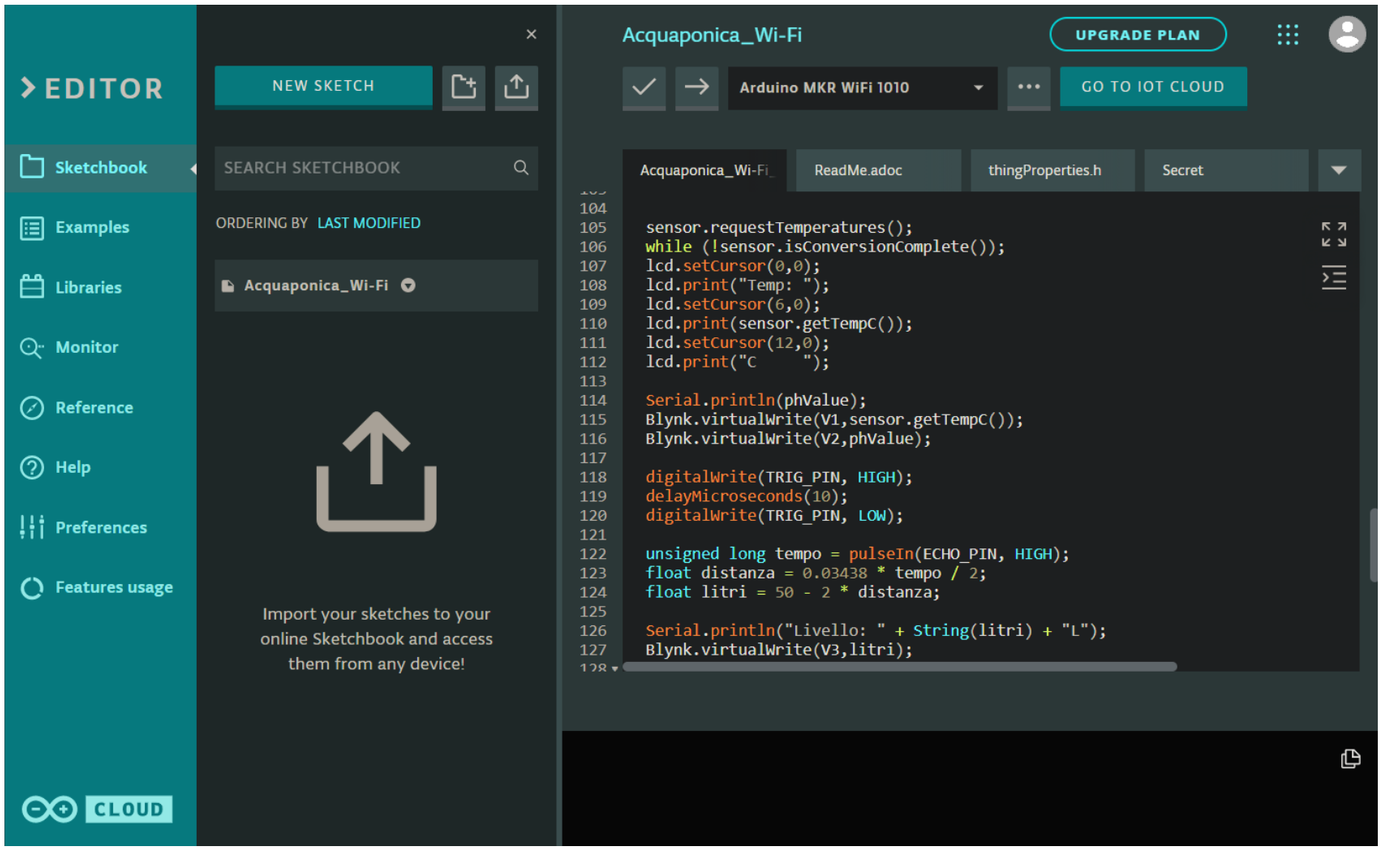
La pompa per l'irrigazione del letto di crescita è stata programmata per attivarsi a intervalli regolari: il ciclo inizia con 30 secondi di accensione per riempire il vaso a metà per poi spegnersi per 10 minuti, durante i quali le radici delle piante sono immerse e possono nutrirsi; poi la pompa riparte per altri 30 secondi in modo da riempire completamente il vaso e azionare il sifone a campana, che lentamente lo svuoterà riportando l'acqua nell'acquario; per consentire alle radici delle piante di assorbire ossigeno, la pompa si spegne di nuovo per altri 10 minuti, per poi ricominciare il ciclo.

Per permettere questo funzionamento autonomo indipendente dai tempi di funzionamento degli altri componenti, viene utilizzata la funzione "**millis**", che sfrutta l'orologio interno della scheda e permette di creare del cicli indipendenti dal resto del sistema. I sensori infatti effettuano una lettura ogni 5 secondi, mentre la pompa deve attivarsi per 30 secondi ogni 10 minuti, rendendo quindi necessari due loop indipendenti.

```
#define PompaPin 7
unsigned long tON, dtON;
int tempoPompaON = 30000;
int tempoPompaOFF = 600000;
int stPompa = HIGH;

void setup() {
  pinMode(PompaPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  dtON = millis() - tON;
 if (dtON > tempoPompaON) {
  tON = millis();
  stPompa = !stPompa;
  digitalWrite(7, stPompa);
 }
 if (dtON > tempoPompaOFF) {
  tON = millis();
  stPompa = !stPompa;
  digitalWrite(7, stPompa);
 }
}
```

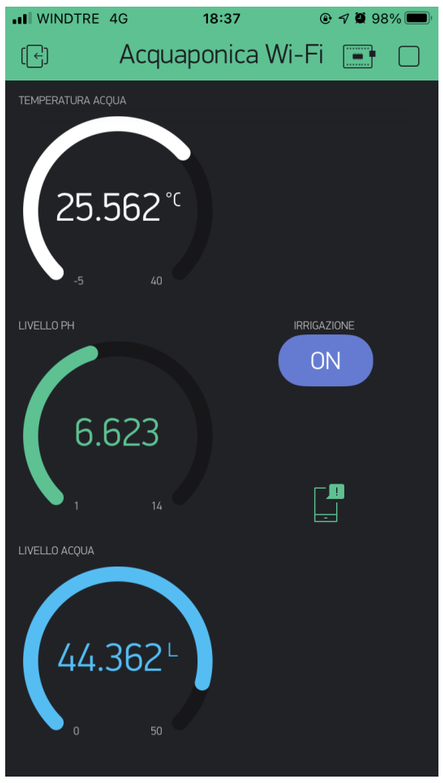
Arduino IoT Cloud
(desktop dashboard)



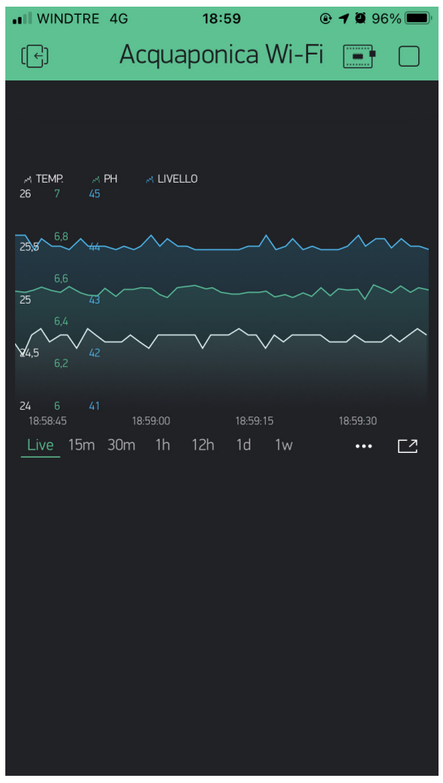

schermata di creazione, compilazione, e caricamento degli sketch tramite Wi-Fi;
è anche possibile importare e salvare i propri sketch per modificarli e caricarli da qualsiasi dispositivo in qualsiasi momento

## 9.3.6 Front-end

Blynk
(mobile app)




schermata di visualizzazione dei parametri in tempo reale e dei comandi




schermata di visualizzazione e andamento dei valori, dalla quale è anche possibile esportarli e condividerli

notifica di avviso

### 9.3.7 Componenti esterni

Oltre alla pompa per l'irrigazione del letto di crescita delle piante, l'impianto prototipato è stato dotato di altri due attuatori, il cui funzionamento è però indipendente dal sistema illustrato. Nello specifico sono presenti un riscaldatore per acquari e un aeratore.
Il riscaldatore funziona automaticamente grazie al termostato incorporato, attivandosi quando la temperatura dell'acqua scende sotto la soglia impostata, essendo il sistema allestito in ambiente outdoor e soggetto quindi ai cambi di temperatura durante la giornata e le stagioni.
L'aeratore invece serve ad ossigenare l'acqua della vasca ed è sempre attivo, in quanto, dalle misurazioni descritte precedentemente, è necessario un apporto esterno di ossigeno per mantenere il livello di ossigeno disciolto entro il range ottimale.
Questi due attuatori sono dispositivi esterni closed-source e non sono gestiti dalla board Arduino in quanto, come detto, il riscaldatore è automatico e l'aeratore è sempre attivo, e non è perciò necessario programmarli.
In ogni caso, in base alle necessità, è comunque possibile integrare questi dispositivi esterni nel funzionamento del sistema Open Source adattando il tipo di collegamento hardware con lo stesso sistema utilizzato per la pompa; utilizzando perciò dei moduli relay per il collegamento ad Arduino e alimentatori esterni per l'alimentazione.
Lo stesso discorso può essere fatto anche per l'integrazione dal punto di vista software di servizi e piattaforme esterne.
Questa possibilità conferma le caratteristiche di versatilità, integrabilità e creazione di opportunità che offre un sistema cyber-fisico modulare Open Source, rendendosi espandibile verso diversi ambiti.

sensore
temperatura

sensore
distanza

display
LCD

sonda PH

pompa
irrigazione

## 9.4 Esperienza utente

L'esperienza di prototipazione illustrata dimostra come la realizzazione di sistemi di monitoraggio e controllo per coltivazioni domestiche di piccola scala utilizzando un approccio Open Source, produce diversi vantaggi per l'utente nella sua esperienza d'uso. Grazie a questo tipo approccio viene data all'utente la possibilità di mettere in pratica azioni e metodi che altrimenti non potrebbe sfruttare (come ad esempio la possibilità di integrare nel sistema dei componenti esterni per estenderne il set di funzioni attuabili), andando quindi a espandere le vie a sua disposizione per soddisfare il proprio obiettivo. Grazie all'accessibilità e alla flessibilità dei componenti e delle informazioni, l'utente non solo può creare il proprio sistema autonomamente e a costi bassi, ma è anche facilitato nell'adattamento del sistema ai cambiamenti di esigenza, ai cambiamenti di contesto, ai cambiamenti di obiettivo, ecc.
Utilizzando mezzi e componenti Open Source quindi, non si fornisce all'utente un set di performance chiuso e limitato, bensì si espandono le sue possibilità in diverse direzioni, in ogni fase dell'esperienza di acquisizione ed uso del sistema.

- *Auto-producibilità (creazione autonoma del sistema):* per auto-produrre il proprio sistema, l'utente può accedere facilmente a componenti hardware e software, può accedere agli strumenti sfruttando gli spazi di lavoro condivisi, può accedere alle informazioni necessarie grazie alla grande disponibilità di documentazione presente in rete; inoltre non deve fare grandi investimenti grazie ai costi bassi.

- *Adattabilità (diversi tipi di contesti di coltivazione):* per adattare il sistema a cambi di contesto (ambiente, coltivazione, obiettivi produttivi) o esigenza, l'utente può modificare la parte hardware aggiungendo o rimuovendo facilmente i componenti grazie alla compatibilità e/o all'adattabilità dei connettori; parallelamente può modificare la parte software per sviluppare nuove azioni e performance.

- *Scalabilità (ampliamento per contesti più grandi):* per scalare il sistema verso scale di grandezza maggiori, dovute ad esempio ad un cambio di esigenza produttiva, l'utente può facilmente aumentare il numero di componenti e parallelamente modificare la parte software (back-end e front-end) per gestire un maggior numero (o tipo) di componenti.

- *Espandibilità (aggiunta di funzioni per ambiti diversi):* per espandere il set di funzioni svolte dal sistema (tipi e quantità di funzioni), l'utente può agire sulla parte hardware aggiungendo o sostituendo facilmente i componenti e parallelamente sulla parte software per gestire i nuovi componenti o per integrare le funzioni di servizi e/o piattaforme esterne compatibili (come ad esempio diverse interfacce o dispositivi).



- *Integrabilità (integrazione di e con altri sistemi, dispositivi, servizi):* per integrare nel sistema le funzioni di altri servizi o dispositivi, o per integrare il sistema nelle funzioni di altri sistemi, l'utente può collegare fisicamente (e non) dispositivi esterni grazie all'adattabilità delle connessioni, e modificare il software per la comunicazione con altre piattaforme, servizi web, applicazioni, dispositivi (ad esempio per sfruttare le funzioni di un dispositivo domotico per gestire il sistema, o per collegare altri moduli di coltivazione come potrebbe essere un modulo di monitoraggio delle piante e dei parametri ambientali).

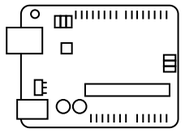
Il tutto è favorito da un approccio e uno sviluppo dei sistemi e delle conoscenze di tipo bottom-up che, come precedentemente descritto, consente alla persona e ai sistemi di co-evolvere: la persona acquisisce competenze e potere decisionale; il sistema può espandersi in qualsiasi direzione. È evidente come questo meccanismo funge da stimolo e facilitazione allo sviluppo di attività agricole locali con tutti i benefici che ne conseguono.

I vantaggi per la persona derivati dall'esperienza d'uso di sistemi di questo tipo rispetto all'uso di strumenti e sistemi proprietari e chiusi sono:

| prodotti e servizi chiusi (top-down) | prodotti e servizi aperti (bottom-up) |
|---|---|
| progettazione e produzione centralizzate | progettazione e produzione autonome |
| conoscenza non condivisa | accesso a conoscenze condivise |
| standardizzazione e scarsa flessibilità | adattabilità, espandibilità, integrabilità |
| comfort immediato | acquisizione di competenze e conoscenze |
| ridotta possibilità di sperimentazione | possibilità di sperimentazione su più ambiti |
| "usa e getta" | co-evoluzione di prodotto e persona |
| abilitazione immediata e circoscritta | acquisizione di potere decisionale |
| processi poco chiari | comprensione |

Si esplicitano quindi nel dettaglio, ponendole come istruzioni, le possibilità che la persona ha a disposizione e le vie che può intraprendere per acquisire un sistema cyber-fisico come quello descritto, per accedere alle informazioni necessarie ad utilizzarlo, e per modificarlo e aggiornarlo secondo l'esigenza.

## 9.4.1 Acquisizione del sistema



hardware

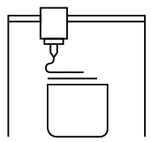
**Accesso ai componenti Open Source**
Essendo componenti Open Source a basso costo, l'utente può accedere facilmente alle parti hardware, come schede, sensori, attuatori, connettori, adattatori, ecc.

**Creazione di componenti custom**
Grazie alla facile adattabilità elettronica, l'utente può adattare parti esterne per creare componenti hardware fai da te, come ad esempio ventole, pompe, luci, connettori, ecc.

software

**Accesso ai software Open Source**
L'utente può accedere ai software Open Source, come app, interfacce, programmi di coding, ecc., installandoli sui propri devices.

**Accesso ai software compatibili**
L'utente può acquisire app e programmi compatibili, scaricandoli sui propri devices.



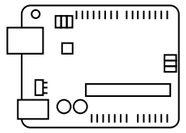
strumenti

**Assemblaggio dei componenti**
Una volta acquisiti i componenti, l'utente può assemblarli utilizzando i propri strumenti, oppure accedere agli strumenti negli spazi di lavoro condivisi (come i FabLab).

**Creazione di parti custom**
L'utente può creare parti custom in base alla propria esigenza (esempio: alloggio per l'hardware stampato in 3D) utilizzando i propri strumenti, oppure accedendo agli strumenti negli spazi di lavoro condivisi.



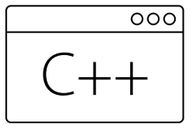
## 9.4.2 Accesso alle informazioni



hardware e elettronica

**Documentazione Open Source**
L'utente può accedere alla grande quantità di documentazione sui dispositivi elettronici Open Source prensente in rete.

**Informazioni dalla comunità**
L'utente può accedere alle conoscenze di altre persone (comunità) attraverso gruppi di lavoro, tutorial, forum online, social network, ecc.




software e informatica

**Documentazione Open Source**
L'utente può accedere alla grande quantità di documentazione sui linguaggi di programmazione e sui software Open Source prensente in rete.

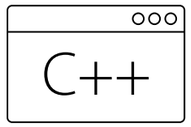
**Informazioni dalla comunità**
L'utente può accedere alle conoscenze di altre persone (comunità) attraverso gruppi di lavoro, tutorial, forum online, social network, ecc. .

coltivazione

**Documentazione online**
L'utente può accedere tutte le informazioni e le istruzioni sui sistemi di coltivazione presenti in rete (esempio: documenti FAO).

**Informazioni dalla comunità**
L'utente può accedere alle conoscenze di altre persone (comunità) attraverso gruppi di lavoro, tutorial, forum online, social network, ecc.

## 9.4.3 Avvio del sistema

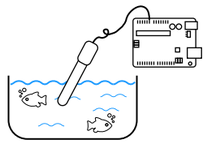



back-end

**Programmazione**
L'utente può programmare i componenti hardware attraverso i software di coding compatibili e accessibili (esempio: Arduino IDE, NodeRED, IOT Cloud, ecc.).

front-end

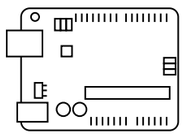
**Interfacce**
L'utente può creare le proprie interfacce di monitoraggio e controllo utilizzando software compatibili e accessibili (esempio: Blynk, IOT Cloud, Telegram, ecc.).



installazione

**Assemblaggio**
L'utente può collegare tra loro i componenti nel modo più adatto per la sua coltivazione sfruttando la modularità del sistema e la adattabilità dei connettori.

## 9.4.4 Aggiornamento del sistema



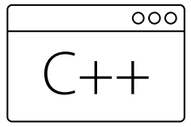
hardware

**Aggiunta / sostituzione componenti**
L'utente può aggiungere o rimuovere facilmente componenti hardware (schede, sensori, attuatori, ecc.) sfruttando la versatilità e la adattabilità dei collegamenti.

**Adattamento di altri componenti**
L'utente può acquistare dispositivi esterni come lampade, fotocamere, batterie, ventole, ecc. e integrarli nel sistema grazie alla facile adattabilità elettronica.

**Integrazione di dispositivi terzi**
L'utente può collegare al sistema (fisicamente o wireless) devices esterni come ad esempio assistenti vocali o dispositivi domotici.



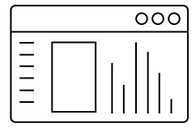



back-end

**Aggiunta / modifica funzioni**
Utilizzando i software di coding, l'utente può modificare in qualsiasi momento gli sketch, parallelamente alle modifiche hardware, per aggiungere e/o modificare le funzioni.

**Modalità di programmazione**
L'utente può modificare sia il modo di creare i programmi, sia il modo di caricarli, utilizzando altri software di coding compatibili (esempio: software di programmazione tramite web browser o tramite nodi).

**Integrazione con dispositivi / servizi terzi**
L'utente può utilizzare altri tipi di software di programmazione per la comunicazione con i devices esterni e/o con servizi esterni (esempio: creazione delle funzioni per comunicare con l'assistente vocale o con un servizio online, utilizzando un software di programmazione a nodi).

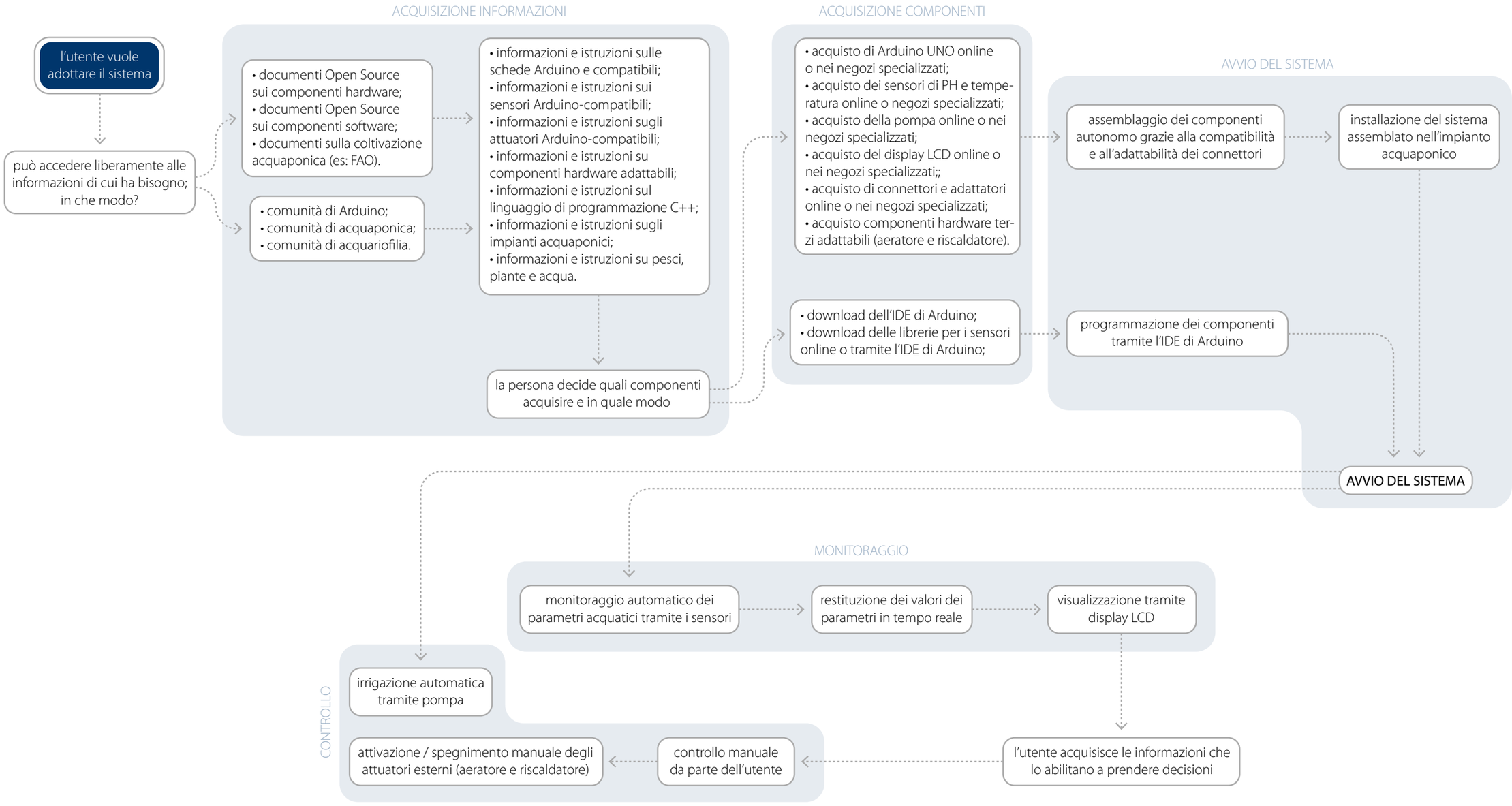


front-end

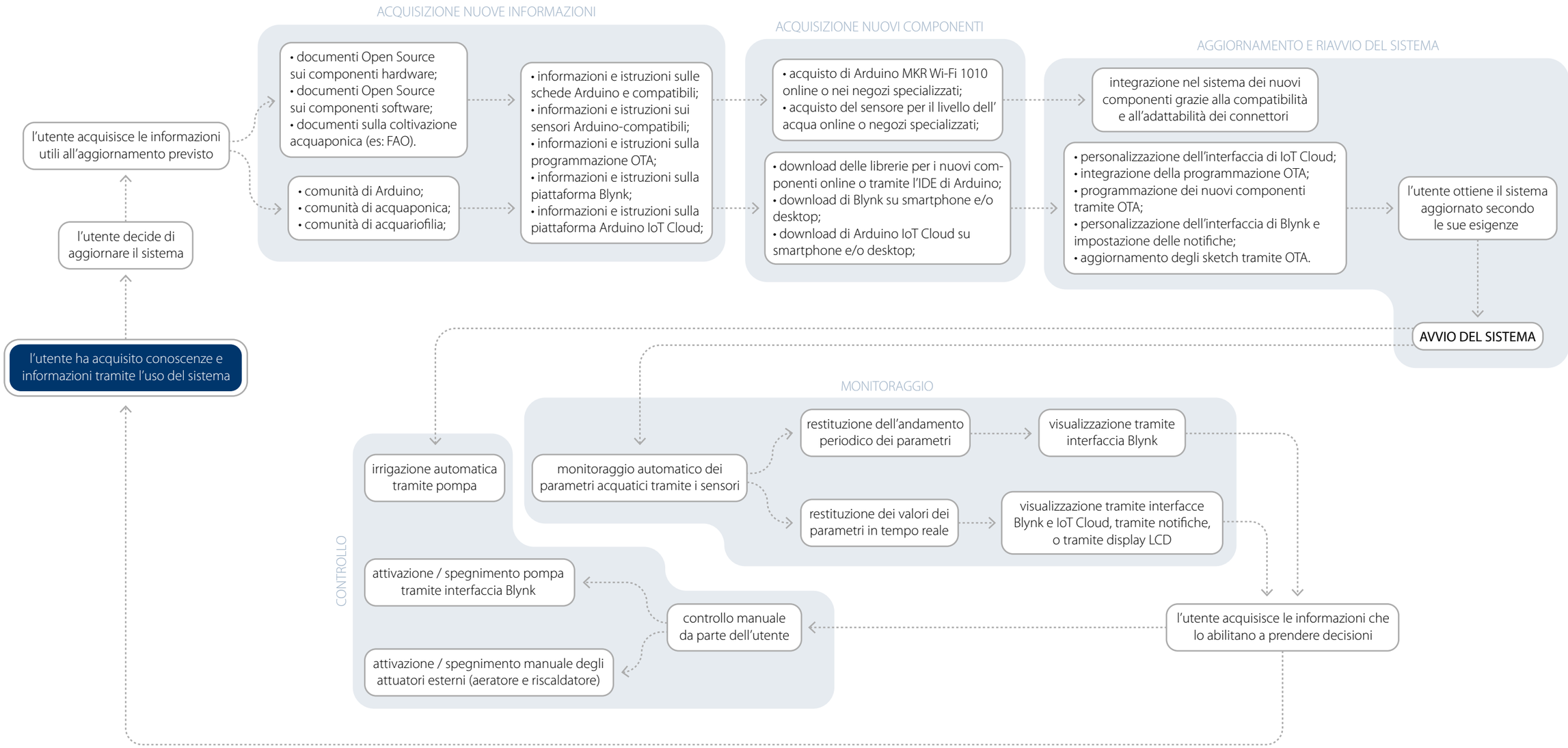
**Aggiornamento interfaccia**
L'utente può aggiornare la propria interfaccia di monitoraggio e controllo parallelamente alle modifiche hardware e software (aggiunta di comandi, grafici, ecc.) utilizzando software compatibili, accessibili e versatili (esempio: Blynk, IOT Cloud, ecc.).

**Integrazione con altri software**
L'utente può utilizzare le interfacce di monitoraggio e controllo di altre piattaforme (app, siti web, ecc.) utilizzando software di programmazione che ne permettono la comunicazione.

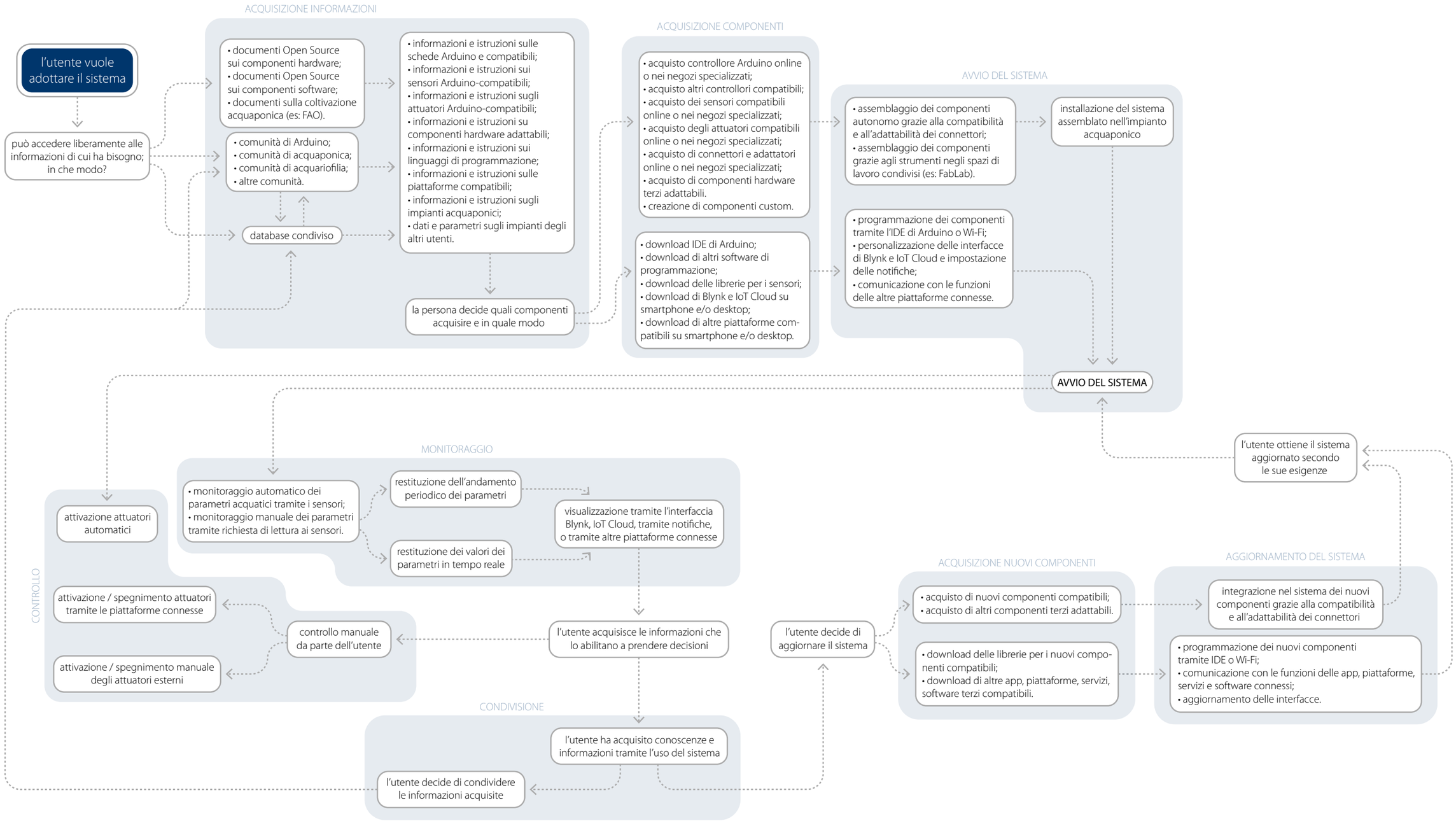
## 9.5 Caso d'uso: acquisizione e utilizzo del sistema (proof of concept)



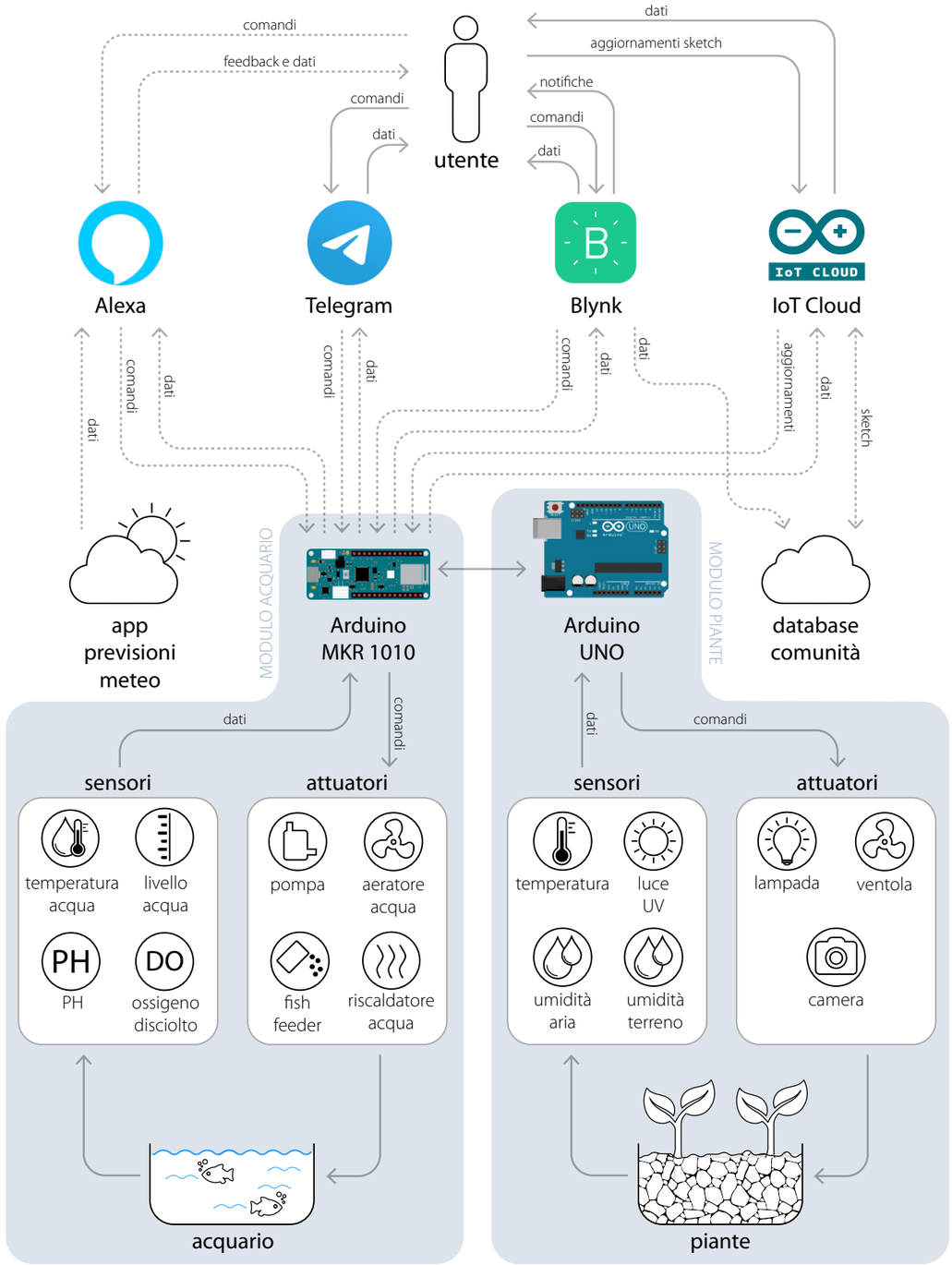
## 9.6 Caso d'uso: aggiornamento del sistema (proof of concept)



# 9.7 Caso d'uso: sviluppi possibili



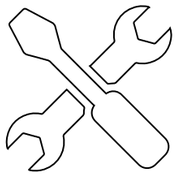
### 9.7.1 Esempio di sviluppo possibile



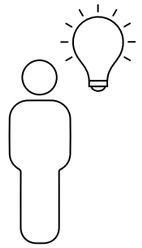
# 10 Conclusioni



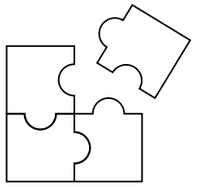
## 10.1 Risultati del progetto



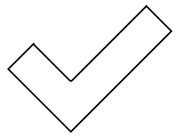
**Abilitazione**
Il sistema progettato fornisce un aiuto all'utente nella gestione di coltivazioni basate su pratiche agricole sostenibili (come acquaponica, idroponica) che, come è stato illustrato, possono risultare complesse e dispendiose in termini di energie e tempo.



**Restituzione conoscenza**
Il sistema progettato permette all'utente di aumentare le sue conoscenze e le sue competenze durante l'esperienza d'uso (a partire dalla auto-produzione del sistema fino ai dati sulla coltivazione che il sistema restituisce), facendogli acquisire comprensione, potere decisionale e capacità innovativa.



**Possibilità di espansione**
Il sistema progettato dà all'utente molteplici possibilità di sviluppo (espansione per scale più grandi, adattamento a cambi di contesto, integrazione con altri sistemi, ecc.) abilitandolo a effettuare modifiche in base al proprio contesto e alle proprie esigenze e stimolandolo a sperimentare nuove vie.



**Adesione alle linee guida**
Il sistema progettato soddisfa i criteri espressi nelle linee guida mettendo a disposizione dell'utente uno strumento accessibile, versatile, funzionale, abilitante.

## 10.2 Ricadute possibili

Obiettivo della ricerca e del progetto esposti nella tesi, è quello di porre le basi per impattare il sistema socio-agro-economico in ottica di sostenibilità e rigenerazione. Le possibilità che il progetto fornisce, in termini di possibili effetti sul sistema, sono:

### Produzione di più cibo locale e sano

Grazie alla diversificazione delle esperienze e all'adattabilità a diversi contesti, che lo strumento proposto consente, si avranno dati diversi per ogni utilizzatore del sistema; questa varietà di informazioni, se raccolte e rese disponibili, possono aiutare a produrre in modo ottimizzato per ogni contesto, favorendo la produzione di cibo in ambito locale. Inoltre la possibilità di espansione e scalabilità e la contemporanea acquisizione di conoscenza, possono stimolare la persona ad ampliare il proprio sistema di piccola scala verso scale maggiori, avviando un'attività di produzione di cibo locale; la nascita di queste realtà, che possono fornire cibo più sano azzerando la filiera, può essere favorita anche dall'accessibilità dello strumento proposto e dal basso investimento che comporta (essendo basato su un approccio Open Source).

### Co-evoluzione di strumenti e persone

Una persona che realizza e utilizza il sistema proposto, acquisisce conoscenze e competenze in diversi ambiti, guadagnando la capacità di prendere decisioni verso qualsiasi direzione (esempio: cambio di coltura, cambio di componenti, ampliamento del sistema, integrazione, ecc.), e lo strumento consente questo tipo di sviluppo; la persona e lo strumento quindi possono evolvere insieme. Di conseguenza, se le informazioni vengono messe a disposizione delle altre persone, si può assistere alla co-evoluzione di strumenti e comunità, che può portare, grazie alla grande varietà di informazioni, ad una sempre maggiore ramificazione dello sviluppo.

### Stimolo alla sperimentazione

La persona viene quindi abilitata a utilizzare lo strumento e contemporaneamente ad acquisire potere decisionale per un diverso utilizzo dello stesso; iniziando a vedere possibili sviluppi grazie alle conoscenze acquisite, e avendo a disposizione uno strumento che consente tali sviluppi, la persona è stimolata a sperimentare sempre nuove vie, ad esempio per espandere il proprio sistema di coltivazione, per cambiare configurazione, per cambiare tipo di coltura, per aumentare la produzione, per integrare con altri sistemi, anche di diversa natura (esempio: collegamento con il sistema di alimentazione fotovoltaico della casa, o con il sistema di gestione domotica della casa, ecc.).

### Cambio di paradigma

Le linee guida su cui si basa il progetto (possibilità di auto-produzione, di espansione, di adattamento, di integrazione, ecc.), come già detto, consentono l'acquisizione di competenze e potere decisionale agli utilizzatori, la diversificazione delle esperienze in ogni scenario, e la diffusione delle conoscenze; tutto questo può favorire



un sempre maggiore passaggio da pratiche di tipo top-down (poco efficaci e attualmente dominanti), a pratiche di tipo bottom-up, con tutti i vantaggi precedentemente descritti. Dal punto di vista della produzione agricola, lo si può tradurre in un progressivo passaggio dal mercato globalizzato focalizzato sulla produzione di massa, alla produzione di cibo più sano e in ambito locale, con tutti i benefici ambientali che ne conseguono.

### Crescita di comunità locali

L'accessibilità dello strumento, unita al costante sviluppo della cultura digitale, e alla crescente sensibilizzazione delle persone sui temi della sostenibilità, fa si che un numero sempre maggiore di utenti possa decidere di adottare lo strumento, diversificando sempre più le esperienze; questo può favorire la nascita di nuove comunità in ambito locale (che, come detto, possono aiutare a ottimizzare la produzione per il contesto specifico), o la crescita di quelle già esistenti, avendo come risultato una sempre maggiore circolazione di informazioni aperte.

### Sviluppi software e ricerca

La programmabilità e l'integrabilità dello strumento dal punto di vista software, unite all'IoT, pongono le basi per sviluppi informatici in diverse direzioni; alcuni esempi, come mostrato nel precedente schema "Sviluppi possibili", possono essere: l'integrazione di software di programmazione semplificata per creare funzioni più facilmente; l'ampliamento delle vie di comunicazione con dispositivi e servizi esterni; lo sviluppo di piattaforme aperte e "intelligenti" in grado di fornire istruzioni, suggerimenti e avvisi, basandosi su variabili di input personalizzabili; lo sviluppo di gemelli digitali che riproducono i flussi fisici e i valori rilevati consentendo all'utente di monitorare e controllare il sistema nel dettaglio; la creazione di database condiviso in grado di raccogliere e ridistribuire i dati.
È evidente come questi strumenti possano aiutare ancora di più la persona a gestire una coltivazione, a comprendere tutti i processi, ad acquisire conoscenza e competenza, a riavvicinarsi alla natura acquisendo consapevolezza sugli ecosistemi naturali, ad acquisire quindi capacità decisionale che stimola la sperimentazione orientata in senso sostenibile.
Inoltre, le possibilità di sperimentazione alle quali lo strumento ci abilita, unite alla varietà dei dati raccolti da ogni diverso contesto, fanno si che lo strumento possa essere utilizzato anche per scopi di ricerca, al fine di individuare le strategie migliori (ottimizzate per i contesti locali) in materia di agro-ecologia.

## 10.3 Ruolo del designer

Nel contesto descritto in questa tesi, il ruolo del designer sistemico in fase di progettazione è quello di conciliare, attraverso un approccio multidisciplinare, le esigenze della persona, i meccanismi del sistema socio-economico, e i flussi dei sistemi naturali, arrivando a definire le istruzioni, gli strumenti, le linee guida da adottare per orientarsi verso un sistema produttivo più sostenibile.
Attraverso l'approccio utilizzato e descritto, che si basa sui principi di self-making, informazioni aperte, co-progettazione, condivisione, è emerso come il designer non si limita a fornire linee guida e istruzioni per la cui realizzazione ha bisogno di committenza, ma ha la possibilità di realizzarle in prima persona, fornendo un proof of concept valido di ciò che aveva teorizzato.

Sfruttando tecnologie e strumenti Open Source, si è realizzato un prototipo funzionante che risponde alle linee guida precedentemente stabilite, e che dimostra l'effettiva validità delle ipotesi. Questo può valere come ulteriore conferma che, utilizzando pratiche di tipo bottom-up attraverso un approccio Open Source, si può accedere a tecnologie e conoscenze che altrimenti sono rese attualmente poco accessibili da strumenti chiusi e dalla necessità di competenze.
Con questo non si intende che lo strumento descritto non richieda alcuna competenza, ma che vengono messi a disposizione dell'utente i mezzi per accedere a tali competenze, a tali strumenti, a tali tecnologie, semplificandone l'esperienza.
In questo modo il designer può fornire i mezzi che, conciliando le esigenze della persona con quelle del sistema socio-economico e quelle dei sistemi naturali, fungono da punto di partenza verso la transizione ecologica.

Una caratteristica chiave dello strumento progettato è la sua flessibilità, la sua capacità di adattamento a contesti diversi, la possibilità di comunicare con altri sistemi, la possibilità di essere modificato dall'utente, le molteplici opportunità di sviluppo alle quali abilita; ecco quindi che emerge anche un'evoluzione del ruolo del designer, il quale non si limita a progettare funzioni e affordances per soddisfare solo le esigenze più immediate della persona, limitando così le potenzialità dello strumento, ma fornisce uno strumento in grado di evolvere parallelamente all'evolversi delle esigenze della persona, uno strumento che permette alla persona di evolvere utilizzandolo, uno strumento che non si limita a un set chiuso di performance, ma che consente lo sviluppo e la sperimentazione in diverse direzioni, uno strumento che fa guadagnare conoscenza alla persona e che si adatta alla sua conseguente evoluzione; uno strumento insomma che non solo abilita a fare, ma abilita ad evolvere.

In questo modo vengono fornite alle persone delle affordances in grado, allo stesso tempo, di soddisfare le proprie esigenze produttive, e di far crescere la loro consapevolezza sul funzionamento degli ecosistemi naturali, puntando così ad impattare sulla attuale visione della natura (scaturita dal paradigma dominante) e conseguentemente sulle abitudini sostenibili.

# 11 Fonti



## 11.1 Consulenti

**Marco Cataffo,**
studente PhD in "Design, Produzione e Management" al Politecnico di Torino, correlatore di tesi, il quale mi ha guidato in tutto il percorso di ricerca, trasmettendomi la sua conoscenza.

**Comunità di:**
- Arduino
- Arduino IoT Cloud
- Blynk
- Acquaponica
- Acquariofilia

## 11.2 Bibliografia

*Agenzia Europea dell'Ambiente. (2012). Acqua e agricoltura, prospettive ed esigenze.*

*Anderson C. (2013). Makers.*

*Artiola J., Pepper I. L., & Brusseau M. L. (2004). Environmental Monitoring and Characterization.*

*Benke K., Tomkins B. (2017). Future Food-Production Systems: Vertical Farming and Controlled-Environment Agriculture.*

*Bistagnino L. (2008). Il guscio esterno visto dall'interno.*

*Bistagnino L. (2016). Design Sistemico, 2a edizione.*

*C. Peano, F. Sottile. (2017). Agricoltura slow.*

*Capra F. & Luisi P. L. (2014). The Systems View of Life.*

*Capra F. (1996). La rete della vita.*

*Charny B. (2001). "Microsoft Raps Open Source Approach".*

*Cirilli A.I., Diaferio Azzellino V., Iacovino R., Pucillo S. Politecnico di Torino. (2018). PULT Fiction, L'equilibrio tra uomo e tecnologia per un'agricoltura sostenibile.*

*Climate Watch, the World Resources Institute (2020).*

*Controlled Environment Agriculture Center. University of Arizona. (2015).*

*Convertini E. (2018). Le Smart Technologies alla base della Quarta Rivoluzione Industriale.*

*Dati FAO sull'agricoltura urbana nel mondo. (2019).*

*Documento del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. (2017). Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia.*

*FAO. (2014). Small-scale aquaponic food production.*

*Favareau, D., Cobley, P., Kull, K. (2012). A More Developed Sign.*

*Fosfuri A., Giarratana M.S., Luzzi A. (2008). La commercializzazione di prodotti software Open Source.*

*Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman.*

*Ganapini W. (2016). Per una lettura sistemica del rapporto tra agricoltura ed ambiente.*

*Ganesh K. (2010). Modern General Knowledge.*

*Gatto S. (2013). Applicazione delle tecnologie di Agricoltura di Precisione nella coltivazione del Mais in una azienda cerealicola-zootecnica.*

*Gibson J.J. (1979). The ecological approach to visual perception.*

*Handa M. L. (1987). Peace Paradigm.*
*Kuhn T. S. (1962). The Structure of Scientific Revolutions.*

*L. von Bertalanffy. (1968). Teoria Generale dei Sistemi.*

*Lahart J. (2009). Taking an Open-Source Approach to Hardware.*

*Lahart J. (2009). Tinkering Makes Comeback Amidst Crisis.*

*Letteriello F., Politecnico di Torino. (2020). La multifunzionalità dell'agricoltura urbana.*

*Lovelock J. & Margulis L. (1970). "Ipotesi di Gaia".*



*Lowder S. K., Skoet J. & Raney T. (2016). The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide.*

*Mancuso S., Viola A. (2013). Verde Brillante.*

*McClintock N. (2010). Why farm the city? Theorizing urban agriculture through a lens of metabolic rift.*

*Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. (1992). Beyond the limits.*

*Millennium Development Goals, ONU.*

*Moore G.E., Brock D. (2006). Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation.*

*Nieves López I. (2013). Il ruolo dell'agricoltura urbana nelle relazioni tra istituzioni e cittadini nell'Europa contemporanea.*

*Praeger D. (2007). Our love of sewers: a lesson in path dependence.*

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

*Roots E. F. (1997). Inclusion of different knowledge systems in research.*

*Rum A., Scarpa T. Politecnico di Torino. (2020). Accrocchio, accessibilità e scalabilità di pratiche agroecologiche alla micro scala.*

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

*Toso D., Politecnico di Torino. (2015). Visione sistemica dell'acqua.*

*Tumino A. (2019). Internet of Things: gli oggetti intelligenti prima di ogni "cosa".*

*UNESCO, (2008). Vital Water Graphics: An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters.*

*Valpreda F., Cataffo M. (2018). Beyond Participatory Design for Service Robotics.*

*Voas J., Miller K.W., Costello T. (2010). Free and Open Source Software.*

*Wagman J.B., Blau J.C. (2019). Perception as Information Detection, Reflections on Gibson's Ecological Approach to Visual Perception.*

## 11.3 Sitografia


*http://aquapioneers.io/aquaponics-kit/*

*http://denkovi.com/userfiles/productlargeimages/product_715.jpg*

*http://feder.bio/la-storiadel-biologico-dal-bio-1-0-al-3-0/*

*http://scs.entecra.it/sementi_biologiche.html*

*http://sun-light.com.sg/image/cache/data/CONNECTOR/dc/bAR-REL%20jACK%20FEMAIL-448x249.jpg*

*http://wiki.sunfounder.cc/index.php?title=I%C2%B2C_LCD1602*

*http://www.agricolturaorganica.org/*

*http://www.aiabinpiemonte.it/*

*http://www.automazione.ingre.unimore.it/pages/corsi/materiale-didattico/ITSC0607/ITSC10-Sensori.pdf*

*http://www.cittaconquistatrice.it/evoluzioni-nellagricoltu-ra-urbana-in-ambiente-controllato/*

*http://www.futurix.it/2011/03/kitchen-nano-garden-lorto-pensile-in.html*

*http://www.mdpi.com/journal/sensors*

*http://www.nomisma.it/index.php/it/*

*http://www.sinab.it/*

*http://www.uniroma2.it/didattica/MA2/deposito/SENSORI_ELCH.pdf*

*https://blog.osservatori.net/it_it/smart-technologies-quarta-rivoluzione-industriale*

*https://blynk.io/*

*https://books.google.it/books?id=UjMHDAAAQBAJ&pg=PA220&lp-g=PA220&dq=Justin+Lahart,+Taking+an+Open-Source+Approach+to+Hardware&source=bl&ots=lgc1FsgWNf&sig=ACfU3U0GrmfwwLUOYhXz7t_dAsgIB-OwQw&hl=it&sa=X&ved=2ahUKEwin97CAn7DyAhXf_7sIHR4cDm8Q6AF6BAgREAM#v=onepage&q&f=false*





*https://cdn-reichelt.de/bilder/web/xxl_ws/A300/KY-019.png*

*https://citizensense.net/*

*https://create.arduino.cc/iot/dashboards/*

*https://create.arduino.cc/iot/devices*

*https://ec.europa.eu/agriculture/organic/organicfarmin-g/what-is-organic-farming/producing-organic_it*

*https://economiacircolare.com/*

*https://efanews.eu/it/item/900-g7-il-biologico-comemodel-lo-di-sistemi-agricolisostenibili.html*

*https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_software#Open-source_software_licensing*

*https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source-software_movement#Strengths*

*https://images-eu.ssl-images-amazon.com/images/I/4113keuEl0L.jpg*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Acquaponica*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Artigiano_digitale*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Attuatore*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Coltura_senza_suolo*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Comunit%C3%A0_virtuale*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Fab_lab*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Front-end_e_back-end*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Hardware_libero*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Internet_delle_cose*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Over-the-air*

*https://it.wikipedia.org/wiki/Sensore*

*https://prod-giuntialpunto-static.giunti.stormreply.com/images/l/41FEhndNZxL._SL500_.jpg*

*https://sdgs.un.org/*

*https://spectrum.ieee.org/the-making-of-arduino*

*https://store.arduino.cc/arduino-mkr-wifi-1010*

*https://webthesis.biblio.polito.it/13247/1/tesi.pdf*

*https://www.3lements.it/acquago*

*https://www.aiablombardia.it/sovescio/*

*https://www.aquasprouts.com/*

*https://www.arduino.cc/en/Main/HardwarePictures*

*https://www.coking-hacks.com/documentation/tutorials/open-quarium-aquaponics-fish-tank-monitoring-arduino.html*

*https://www.eea.europa.eu/it/articles/acqua-e-agricoltura-prospettive-ed-esigenze*

*https://www.foodweb.it/*

*https://www.kickstarter.com/projects/2077260917/harvestgeek-brains-for-yourgarden*

*https://www.performancemanagementreview.org/alfabetizzazi%20-ne-digitale-educazione-al-di%20gitale-cultura-del-digitale/*

*https://www.smatorino.it/*

*https://www.treccani.it/enciclopedia/agricoltura/*

*https://www.undp.org/blogs/how-cities-can-fight-food-loss-and-waste*

*https://www.weturtle.org/dettaglio-tutorial/11/tutorial-sensore-ad-ultrasuoni-hcsr04.html*



*https://www2.unccd.int/actions/global-land-outlook-glo*

*Population Reference Bureau. (2013) World Population Factsheet. www.pbr.org*

*Precision Ag Definition, International Society of Precision Agriculture. www.ispag.org*

Politecnico di Torino

Dipartimento di Architettura e Design

Tesi di Laurea Magistrale in Design Sistemico
Anno Accademico 2020-2021

# Abilitazione all'utilizzo di pratiche agricole tecnologiche sostenibili su scala individuale